

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten



Kongressband 2015 Göttingen

Vorträge zum Generalthema:

Böden – Lebensgrundlage für Pflanze und Tier



2015
Internationales
Jahr des Bodens

Der Kongress wurde durchgeführt in Zusammenarbeit mit

Georg-August-Universität Göttingen

LUFA Nord-West, Oldenburg



Verband Deutscher Landwirtschaftlicher
Untersuchungs- und Forschungsanstalten e. V.



Kongressband 2015 Göttingen

Vorträge zum Generalthema:

**Böden –
Lebensgrundlage
für Pflanze und Tier**

VDLUFA-Schriftenreihe Band 71/2015

VDLUFA-Verlag, Darmstadt

ISBN 978-3-941273-20-7

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

©2015 by VDLUFA-Verlag, Darmstadt

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber:

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer, Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.de

Redaktionskomitee:

Prof. Dr. T. Ebertseder, Dr. B. Brand, Dr. B. Killermann, Dr. L. Nätscher, Dr. K. Severin, Prof. Dr. K.-H. Südekum, Dr. M. Leiterer, Prof. Dr. F. Wiesler

Endredaktion:

Dipl.-Ing. agr. M. Schraml, Obere Langgasse 40, 67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.de
Dr. S. Kirchhof, Stinkbüdelsberg 1, D-24363 Holtsee

Herstellerische Betreuung und Layout:

T. Dräger, Obere Langgasse 40, D-67346 Speyer
Telefon: 06232 / 136121, Fax: 06232 / 136122, E-Mail: info@VDLUFA.de

Die inhaltliche, orthographische und grammatikalische Verantwortung liegt bei den Autoren.

Druck: REISIG Druck & Service, Mittelweg, 92237 Sulzbach-Rosenberg

Inhalt

Grußworte

Grußwort C. Meyer	1
Grußwort E. Pawelzik,	7

Plenartagung

Konsequenzen der Raumordnung in Deutschland für die landwirtschaftliche Bodennutzung H.-J. Seimetz	10
Landwirtschaftlich genutzte Böden aus Sicht der Futtermittel- und Lebensmittelsicherheit H. Schenkel	23

Workshop

UN-Jahr des Bodens – Situation bei Flächenschutz und Bodenfruchtbarkeit in Deutschland S. Pinggen	35
Der Humuszustand der landwirtschaftlichen Böden in Deutschland – Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft A. Freibauer, A. Heidkamp, R. Prietz, C. Vos, BZE Team	50
Wie wirkt sich die Bodennutzung auf das Klima aus? H. Höper, W. Schäfer	58
Bodenverdichtung – Problem und Lösungsansätze R. Brandhuber, M. Demmel	67
Anpassung an den Klimawandel aus Sicht der Tierernährung S. Dänicke	75

Pflanzliche Produktion

Präzisierung des P-Düngebedarfs auf dem Ackerland durch zusätzliche Bodenuntersuchungen W. Zorn, H. Schröter, G. Kießling	86
Bewertung verschiedener Extraktionsverfahren zur Prognose des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen in Böden deutscher Weinanbaugebiete N. Herwig, T. Strumpf	94
Optimierung der Kaliumdüngung auf Basis von Vorrat und Verfügbarkeit K. Oltmer, A. Reijneveld, K. Broelsma, K. Oerlemans	104
Dauerversuche – museales Relikt oder wissenschaftliche Herausforderung? W. Merbach, F. Herbst, L. Schmidt	112
Dauerfeldversuche – unverzichtbare Grundlage der Agrar- und Umweltforschung. M. Körschens	122
Wirkung differenzierter organischer und mineralischer Düngung auf Ertrag, N-Saldo und Humusgehalt im Boden - Ergebnisse aus dem Düngerdüngungsversuch L28 in Bad Salzungen nach 50 Jahren W. Zorn, H. Schröter	131
Ergebnisse deutscher Forschungsarbeiten über Ammoniakemissionen aus mineralischen Düngemitteln vor dem Hintergrund des nationalen Emissionsinventars H. Döhler	141
Ersatz von Mais/Getreide durch Soja auf Ertrag, Erlös, Treibhausgas-Emissionen und CO ₂ -Vermeidungskosten in 3 Regionen in Österreich G. Dersch, T. Moser, L. Schaller, K. Mechtler, B. Amon	149
N ₂ O-Emission auf einem ackerbaulich genutzten Lößboden im Thüringer Becken S. Knoblauch, G. Kießling, F. Hengelhaupt	156
Analyse des Nitratbelastungspotentials landwirtschaftlicher Betriebssysteme – am Beispiel von Betrieben in der Region Hohenthann (Niederbayern) F.J. Forster, K.-J. Hülsbergen	165
Nitratauswaschung nach Körnerraps in Abhängigkeit vom Strohmanagement und der Stoppelbearbeitung T. Appel, F. Fritsch	170
P-Verfügbarkeit aus co-silierten und co-kompostierten Klärschlammkarbonisaten M. Nick, S. Bereswill, K. Friedrich, T. Appel	178

Freisetzung von Phosphor aus Recycling-Produkten mit Klärschlamm C. Keupp, B. Göbel, D. Horn, D. Steffens, T. Appel	187
Phosphorverfügbarkeit mineralischer Recycling-Produkte aus der Klärschlammaufbereitung in Kombination mit Bioeffektoren, Ergebnisse aus Gefäß- und Feldversuchen I. Wollmann, K. Möller	196
Untersuchungen zum Einfluss stabilerer N-Dünger auf die Verfügbarkeit und Aufnahme von Mangan in Weizen M. Dreyer, B. Görlach, K.H. Mühling	206
Wie beeinflusst der gestiegene Ertrag der Zuckerrübe deren Nährstoffaufnahme? K. Bürcky, T. Hetterich, J. Heyn, D. Horn, D. Koch	213
Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen M. Westerschulte, C. Federolf, H. Pralle, D. Trautz, H.-W. Olf	216
Prüfung alternativer Labormethoden mit dem Ziel der Bewertung der N-Düngerwirkung organischer Dünger F. Ebertseder, E. Homeier, D. Lohr, K. Fischer-Kaiser, G. Henkelmann, Ch. Haas, S. von Tucher, H. Heuwinkel	228
Einfluss der Aufbereitung von Gärresten auf Zusammensetzung, Düngewirkung und N ₂ O-Emissionen nach Ausbringung I. Petrova, P. Seiz, C. Pekrun, K. Möller	238
Spezifische Wirkung organischer Düngung: Wie wirkt sich der positive Effekt auf den Corg-Gehalt im Boden auf den Ertrag und auf die Nährstoffverwertung aus? K. Schweitzer, B. Kroschewski, M. Baumecker	249
Kann der pflanzenbürtige Kohlenstoffeintrag in den Boden aus Ertragsdaten ermittelt werden? S. Höcker, H. Beßler, C. Engels	257
Kohlenstoff * 1,72 = Humus? J. Zimmer, A. Bauriegel, B. Kroschewski	266
Der Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (DüV) trägt kaum dazu bei, die P-Belastung der Umwelt zu mindern N. Claassen, W. Römer, K. Dittert	274
Einfluss einer langjährigen P-Düngung auf Erträge und Dynamik der CAL-P-Gehalte in einem Lösslehm Boden W. Römer, R. Hilmer, N. Claassen, N. Nöhren, K. Dittert	279
Wie harmonisch ist die Nährstoffversorgung der landwirtschaftlich genutzten Böden in Baden-Württemberg? W. Übelhör, H. Hartwig	286

Phosphorbilanzierung unterschiedlicher Systemebenen des Ackerlandes H. Sommer, G. Leithold	294
Zur Schwefelbilanzierung des Ackerlandes H. Sommer	298
Versuchsergebnisse von zwei bayerischen Kalkdüngungsversuchen auf Grünland M. Diepolder, S. Raschbacher	300
Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen aus co-silierten bzw. co-kompostierten Klärschlammkarbonisaten im Gefäßversuch K. Friedrich, S. Bereswill, M. Nick, T. Appel	308
Schwermetallstatus Thüringer Ackerböden – Langzeit-Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach Klärschlammverordnung V. König	316
Impact of Rice Cultivation on some Physical Properties of the Soil and Water Crop Consumption at the North of Nile Delta, Kafrelsheikh, Egypt M.M. Saffan, A. Abou El-Khir	325
Erosionsschutz und Wasserrückhalt auf landwirtschaftlichen Flächen mit Hilfe von bewirtschaftungsintegrierten Verwallungen N. Seidel, E. Müller, S. Peschke, W. Schmidt, S. Schütze	338
Bodenfeuchte bei Pflugbearbeitung, Mulch- und Direktsaat H. Flaig, E. Düll	350
Abschätzung des mineralisierbaren Stickstoffs in ackerbaulich genutzten Böden mithilfe von Kenngrößen T. Appel, R. Beisecker	358
Konservierung von Nach-Ernte Nmin durch Untersaaten in maisreichen Fruchtfolgen T. Makary, E. Ehrhart, C. Essich, W. Moll, T. Müller	366
Überprüfung der Bewertung von Grün- und Strohdüngung in der VDLUFA-Humusbilanzmethode T. Dannehl, G. Leithold, C. Brock	372
Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft T. Dreysse	378
Bestimmung der Kohlenstoffeinträge und deren Unsicherheiten auf die landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft C. Weiser, BZE-Team	386

Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion in Nordostdeutschland

G. Ebel, G. Barthelmes 396

Tierische Produktion

Spurenelementgehalte in Fleckviehkühen: Ergebnisse aus Ganzkörperanalysen

M. Steyer, T. Ettle, H. Spiekers, M. Schuster, S. Mikolajewski, M. Rodehutschord 404

Keimbelastung von Hafer aus den Landessortenversuchen

W. Wagner 412

Methodische Aspekte zur Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung des equinen Hufhornes als möglicher Parameter zur Beurteilung der Hufhornqualität

A. Sünder, N. Gerndt, S. Neumann, F. Liebert 419

Proteinwerte von am deutschen Markt gehandelten Ergänzungsfuttermitteln für Pferde

K.-H. Grünwald, K.-H. Südekum, A. Zeyner 427

Influence of combined effect of temperature stimulation during the last days of incubation and of the protein-energy concentration in feed on growing performance of cockerels of different origin

I. Halle, M. A. Lieboldt, M. Henning, B. Tzschentke 434

Die Wirkung des Einsatzes von druckhydrothermisch behandelten Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) auf die Leistung von Milchkühen

S. Dunkel, K. Aschhoff, K. Trauboth, M. Strube 438

Automatische Messung der Wiederkaudauer zur Prognose des Abkalbezeitpunktes

K. Halli, C. Koch, S. Hoy 447

Bewertung nachhaltiger Rinderfütterung mittels des Indikatorensystems „REPRO Tiermodul“

A. Rauen, K.-H. Südekum 455

Untersuchung der Kongenerenprofile von Dioxinen in Futtermitteln

J. Kowalczyk, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt 463

Fusarientoxine in Mais der Ernte 2014 – Übersicht der Ergebnisse aus dem Bundesgebiet

A. Töpfer 471

Untersuchungen zur standortspezifischen Variation von Kupfer- und Zinkgehalten in Grobfuttermitteln im Freistaat Sachsen O. Steinhöfel, G. Riehl, F. Förster	478
NIRS zur Analyse von Methionin und Cystein in feinsamigen Leguminosen H. Sommer, A. Sundrum	487
Neutral- und Säure-Detergenzien-Faser in Futtermitteln – ohne Veraschung (aNDF, ADF) oder mit Veraschung (aNDFom, ADFom)? F. Schöne, E. Herzog	491
Ammoniumbestimmung aus dem erweiterten Hohenheimer Futterwerttest – ein Vergleich von Analysemethoden S. Kardel, T. Gorniak, J. Hummel, H. Spiekers, K.-H. Südekum	500
γ -Aminobuttersäure in Grassilagen Untersuchungen zur Variation und Korrelation zu ausgewählten N-haltigen Fraktionen O. Steinhöfel, C. Kuhnitzsch, W. Richardt, B. Pieper, U. Korn, A. Zeyner	509
Beziehungen zwischen Verdaulichkeit, ruminaler Abbaubarkeit und Ertrag von Silomais-Ganzpflanzen verschiedener Sorten L. Gruber, G. Terler	517
Anpassung der Beweidung auf Almen und Alpen auf Grund des fortschreitenden Klimawandels S. Steinberger, H. Spiekers	525
Optimierung der Weide- und Tierleistung von Jungrindern im System Kurzrasenweide 2012-2014 S. Eisenhardt, M. Pries, C. Berendonk, A. Verhoeven, S. Hoppe	532
Untersuchungen zu Silierbarkeit und Futterwert von Sojabohnen-Ganzpflanzensilage J. Ostertag, T. Ettle, M. Schuster, H. Spiekers	540
Einfluss aerober Lagerung vor und nach der Silierung auf die Qualität von Mais-silage D. Brünin, K. Gerlac, K. Weiß, K.-H. Südekum	548
Nebenprodukte der Fasergewinnung aus Hanf – Futtermittel im Sinne eines ganzheitlichen Produktionssystems B. Wagner, M. Spolders, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt	556
Keimbelastung von Erbsen und Bohnen aus den Landessortenversuchen W. Wagner	564
Fütterung heimischer Körnerleguminosen als thermisch behandeltes Gemisch bei langsam wachsenden Masthähnchen C. Nülken, U. Abraham, H. Kluth	572

Untersuchungen zur Methioninwirksamkeit im Masthähnchenfutter – I. Einfluss steigender Methioningehalte und veränderter Methionin zu Cystin-Verhältnisse A. Sünder, C. Wecke, F. Liebert	579
Untersuchungen zur Methioninwirksamkeit im Masthähnchenfutter – II. Einfluss steigender Cystin-Gehalte bei konstantem Methionin zu Cystin-Verhältnis C. Wecke, A. Sünder, F. Liebert	586
Sortenvergleich von Körnererbsen aus Thüringen für die Schweinefütterung A. Heinze, K. Rau, E. Herzog	594
Einfluss einer intensiven Milchaustauscherfütterung und Buttersäure auf Leistungsparameter von Kälbern der Rasse DH C. Gerbert, D. Frieten, C. Koch, F.-J. Romberg, G. Dusel, K. Eder, H.M. Hammon	600
Detergenzienfaser-Analyse: Erfahrungen, Besonderheiten und Ausblick. Gerätespezifische Einflüsse S. Kehraus, K.-H. Südekum	607
Detergenzienfaser-Analyse: Erfahrungen, Besonderheiten und Ausblick. Methoden- und futtermittelspezifische Einflüsse S. Kehraus, K.-H. Südekum	617
Untersuchungen zum Rohproteinbedarf von Mastbullen der Rasse Fleckvieh in der Mittelmast T. Ettle, A. Obermaier, P. Edelman	625
Einsatz von Ackerbohnen in der Milchviehfütterung T. Jilg	633
Bestimmung des energetischen Futterwertes von 36 Einzelfuttern M. Pries, A. Menke, L. Steevens	641
Schwefelgehalte in Futtermitteln für Milchkühe – Auswirkungen auf die Rationsgestaltung T. Bonsels, K.-H. Grünewald	649
Wirkung eines tanninhaltigen Silierzusatzes auf Nährstoffverdaulichkeit und Energiegehalt von Weidelgras- und Luzernesilagen H. Kluth, S. Roscher, O. Steinhöfel, A. Zeyner	657
Nährstoffgehalt und ruminale Abbaubarkeit von Mais-Restpflanze und Mais-Kolben in Abhängigkeit von Sorte und Vegetationsstadium G. Terler, L. Gruber	663

Saatgut

Erhaltungssorten, Amateursorten, Erhaltungsmischungen, Populationen F. Trautwein	671
Nachweis von gentechnisch veränderten Bestandteilen in konventionellem Saatgut – amtliche Methoden in Deutschland und EU-Konzepte O. Goerlich, U. Busch ,.....	676
Echtheitsbestimmung bei der Lägerrispe (<i>Poa supina</i>) B. Voit, S. Vana, B. Killermann	682
Entwicklung von quantitativen und qualitativen Nachweismethoden für Brand- krankheiten (<i>Tilletia spp.</i>) bei Weizen mittels qPCR M.K. Grundler, B. Killermann, B. Voit, L. Niessen	686
Bessere Arbeitshaltung in der Saatgutuntersuchung S. Sørensen, S. Prøver, R. T. Fabricius	690

Analytik

Nachweis der Gleichwertigkeit zweier Analysenverfahren: Bestimmung von Wasser- und Rohaschegehalt, nach dem Methodenbuch III und einem automa- tisierten Verfahren H. Horst	692
Zerstörungsfreie Erfassung der Kartoffel-Trockenmasse mittels Nah-Infrarot- spektroskopie N.U. Haase	700
Untersuchungen zur Messgenauigkeit der Milchwahnhstoffbestimmung und Kon- sequenzen für die Interpretation der Proteinversorgung von Milchrindern W. Richardt, M. Delling, H. Scholz	706
Dietary burden calculation for aquaculture diets: A linear programming ap- proach J. Klein, M. Klein, C. Schlechtriem	713
Review zu den offiziellen Bestimmungsmethoden für Selen: Untersuchung zum Verhalten der Selenspezies bei dem Aufschluss und der Detektion T. Kapp, Y. Babskaya	719
Transfer von poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) aus kontaminierten Böden in Nutzpflanzen A. Trenkle	727

PFT-Belastung von hessischen Bioabfällen und Klärschlämmen (2011-2015) sowie das Aufnahmeverhalten von Kulturpflanzen nach PFT-Applikation im Bodenmodellversuch H. Schaaf, S. Georgii, T. Stahl	745
Qualitätssicherung in der Analytik – Verdeckter Ringversuch mit Kultursubstraten D. Lohr, E. Meinken	753
Sorptionsisothermen – Ein geeignetes Verfahren zur Charakterisierung des Phosphatspeichervermögens von Biokohlen? D. Lohr, E. Meinken	760
Bodenenzymologische Untersuchungen auf Thüringer Böden R. Neumann, J. Schönlebe	768
Woran starben die Bienen? Auf der Suche nach Rückständen von Pflanzenschutzmitteln G. Bischoff, K. Jänicke, H. Nowak, J. Pistorius	773
Autorenindex	773
Adressliste der korrespondierenden Autoren	776

Grußwort anlässlich des 127. VDLUFA-Kongresses vom 15. bis 18.09.2015 an der Georg-August Universität Göttingen

C. Meyer

Landwirtschaftsminister

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Sehr geehrter Herr (VDLUFA-) Präsident Prof. Dr. Franz Wiesler, sehr geehrte Mitglieder des VDLUFA-Vorstands, sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen, verehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer an diesem 127. VDLUFA-Kongress! Das Jahr 2015 ist nach Beschluss der Generalversammlung der Vereinten Nationen (UN) zum Internationalen Jahr des Bodens erklärt worden. Ich freue mich, dass der Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten dies zum Anlass genommen hat und seinen 127. Kongress dem Thema „Böden – Lebensgrundlage für Pflanze und Tier“ widmet. Der Boden erhält insbesondere eine Bedeutung, wenn er zu einem knappen Gut wird. Das zeigt sich beim Wohnungsbau in Ballungsräumen oder zunehmend auch bei den Pachtpreisen landwirtschaftlicher Nutzflächen. Einerseits wird der Boden als so selbstverständlich betrachtet, dass viele Menschen den Boden kaum unter ihren Füßen wahrnehmen. Andererseits jedoch sind die vielen Funktionen des Bodens im wahren Wortsinne grundlegend: Zum Beispiel für unsere Ernährung, für die Wasserversorgung und für den Klimaschutz.

Die globale Bedeutung des Bodens lässt sich zum Beispiel an folgenden Fakten verdeutlichen: Böden sind die Grundlage für unserer Ernährung. Fast alle oder 90 Prozent unserer Nahrungsmittel hängen direkt oder indirekt von gesunden Böden ab. Bereits heute leidet etwa ein Achtel der Weltbevölkerung an Hunger – das sind fast 850 Millionen Menschen. Davon sind 80 Prozent Kleinbauern und Landlose in ländlichen Regionen und die Ursache für den Nahrungsmangel ist fehlendes fruchtbares Ackerland. Über 1,5 Milliarden Menschen in mehr als 110 Ländern sind von der Wüstenbildung, Verschlechterung der Bodenqualität und Dürren betroffen. Europaweit gehen jedes Jahr wenigstens 1.000 km² Fläche durch Bebauung verloren – eine Fläche so groß wie Berlin. Böden sorgen für sauberes Grundwasser. Ein Hektar Boden kann durchschnittlich 1.300 Kubikmeter Grundwasser neu bilden, er bindet die Schadstoffe, hält die Nährstoffe

zurück und reinigt das Wasser. Die fortschreitende Bodendegradierung wirkt sich daher negativ auf die Qualität des Trinkwassers aus. Auch wird nach wie vor die Bedeutung der Böden für das Auftreten und die Intensität von Hochwasserereignissen unterschätzt. Flächenversiegelung aber auch Bodenverdichtungen sind mit ursächlich für Überflutungen. Böden sind aber auch gigantische Kohlenstoffspeicher. Weltweit enthalten sie rund 10-mal mehr Kohlenstoff als Wälder (360 Milliarden Tonnen) und 5-mal mehr als die Atmosphäre (800 Milliarden Tonnen). Allein in den Trockengebieten ließen sich durch eine nachhaltigere Bodennutzung jährlich 1 bis 2 Milliarden Tonnen Kohlenstoff (3,3 bis 6,97 Milliarden Tonnen CO₂) zusätzlich speichern. Durch Landnutzungsänderungen wie die Umwandlung von Grünland in Ackerland können innerhalb weniger Jahre bis zu 40 % des Humus verloren gehen und als zusätzliches Kohlendioxid unser Klima beeinträchtigen.

Unser Boden ist in Gefahr, das sagen uns die genannten Zahlen. Hinsichtlich der Bodenschutzstrategien auf europäischer Ebene wird leider nach wie vor gesagt, dass nachhaltiger Bodenschutz bereits durch andere Politikfelder sichergestellt ist. Im Ergebnis heißt das aber oft, dass nur Mindeststandards festgelegt werden. Das zeigen u.a. die Erosionsschutzregelungen im Rahmen von Cross Compliance. Als Rückschritt für den Bodenschutz auf der europäischen Ebene muss daher auch die Rücknahme des Vorschlags für eine Bodenrahmenrichtlinie vom Frühjahr dieses Jahres durch die EU-Kommission gesehen werden.

Erfreulich hingegen ist, dass das 7. Umweltaktionsprogramm (UAP) der EU vorsieht, dass die Mitgliedsstaaten so bald wie möglich Vorschläge erarbeiten sollen, wie sich Bodenqualitätsfragen mithilfe eines zielorientierten und risikobasierten Ansatzes innerhalb eines verbindlichen Rechtsrahmens regeln lassen könnten. Mit dem Ziel, dieser Verpflichtung nachzukommen, hat die EU KOM eine Expertengruppe eingerichtet, in der Deutschland durch Mitarbeiter des BMEL (Herr Dr. Bollmann), des BMUB (Herr Bieber) und des niedersächsischen MU (Herr Dr. Düwel) vertreten sein werden.

Die Wichtigkeit, gerade beim Bodenschutz auf der europäischen Ebene zu handeln, zeigt auch das Risiko der Cadmium-Anreicherung im Boden durch Cadmium-haltige anorganische Phosphatdünger. Bereits im Jahr 2002 konnten wissenschaftlichen Studien (europäischer wissenschaftlicher Ausschuss für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt (CSTEE)) zeigen, dass ab einer Konzentration von 20 mg Cadmium / kg Phosphat in anorganischen Phosphatdüngern

eine Cadmium-Akkumulation in den meisten EU-Böden zu erwarten ist. Dieser Wert von 20 mg/kg wurde als möglicher Grenzwert für Cadmium in Dünger für die gesamte EU diskutiert, um das Risiko des Übergangs von Cadmium in die Nahrungskette zu verringern. Tatsächlich enthalten aber die aktuellen europäischen Rechtsvorschriften über Düngemittel (insbesondere der VO (EG) Nr. 2003/2003) immer noch keine Grenzwerte für den Gehalt an Cadmium. Die in der Deutschen Düngemittelverordnung festgelegte Kennzeichnungspflicht für Düngemittel ab 20 mg Cadmium/kg und der Cadmium-Grenzwert von 50 mg Cadmium/kg Phosphatdünger können daher praktisch kaum greifen, da die überwiegende Zahl der phosphathaltigen Düngemittel als EU-Düngemittel zugelassen werden. Vor diesem Hintergrund begrüßt die niedersächsische Landesregierung, dass dem aktuellen Ankündigungen der GD Umwelt der EU zu entnehmen ist, dass die GD Binnenmarkt, Industrie, Unternehmertum und KMU vor der Aufgabe steht, die europäische Düngemittelverordnung zu überarbeiten.

Dass das Thema Bodenschutz auf der politischen Ebene sehr ernst genommen wird, zeigen auch die von den Amtschef-, den Umweltminister- und den Agrarministerkonferenzen zu Beginn dieses Jahres gefassten Beschlüsse. Die Bundesregierung wird darin aufgrund umfangreicher Vorschläge aufgefordert, den Bodenschutz zu verstärken und die dafür erforderlichen Instrumente wirksamer zu gestalten. Maßnahmen zum Schutz kohlenstoffreicher Böden, der Schutz von Dauergrünland sowie Maßnahmen zur Minderung von Wasser- und Winderosion und zur Sicherung von Wasserschutz- und Überschwemmungsgebieten stellen Kernforderungen der Länder gegenüber dem Bund dar.

Sehr geehrte Damen und Herren, ich denke, Sie sind mit mir einer Meinung, wenn ich feststelle, dass dieser VDLUFA-Kongress mit seinem vielfältigen Programm die entscheidenden Grundlagen liefern kann, um für die zukünftigen Bodenschutzstrategien zu den richtigen Entscheidungen zu finden. In Plenartagungen, in öffentlichen Sitzungen, in Workshops und im Rahmen von Posterpräsentationen dieses Kongresses werden zum Beispiel die folgenden Themen behandelt

- Boden als Ressource für eine nachhaltige Pflanzen- und Tierproduktion
- Konsequenzen der Raumordnung in Deutschland für die landwirtschaftliche Bodennutzung
- Schutz vor Bodenerosion und Präzisierung des Düngebedarfs
- Dauerversuche als Grundlage für Agrar- und Umweltforschung und für die landwirtschaftliche Praxis.

Damit und mit den weiteren Fachinhalten greift der Kongress das gesamte Spannungsfeld auf, welches sich im Rahmen der vielfältigen Landnutzung für den Boden-, den Gewässer- und den Klimaschutz und nicht zuletzt auch für die Zukunftssicherung unserer heimischen Landwirtschaft ergibt.

Der Abschlussbericht des VDLUFA-Forschungsprojektes „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden“ macht die hohe Humusreproduktionsleistung von Stroh (80-100 kg Humus-C pro t Substrat) deutlich, die höher liegt als bei allen anderen organischen Düngern. Die Strohdüngung trägt damit wesentlich zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit bei. Daher muss die Strohverbrennung für energetische Zwecke verlässlich so geregelt werden, dass der Humusgehalt der Ackerflächen nicht negativ beeinflusst wird. Auch noch einmal besonders hinweisen möchte ich auf die unveränderte Aktualität eines bereits 2012 von der VDLUFA im Arbeitskreis Nachhaltige Nährstoffhaushalte erarbeiteten Positionspapiers zur Novellierung der Düngeverordnung. Bereits dieses VDLUFA Positionspapier hat gezeigt, wie wichtig verbindliche Regelungen zum Beispiel bei der Nährstoffbilanzierung, bei Grenzwerten zulässiger Stickstoff- und Phosphatüberschüsse, bei der Festlegung von zulässigen Stickstoff-Höchstfrachten über organische Düngemittel und Maßnahmen zur Verminderung der Ammoniakemissionen im Betrieb und auf den landwirtschaftlichen Flächen sind.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen hat sich in seinem Sondergutachten vom Januar dieses Jahres ebenfalls mit dem Thema Stickstoff und dem für dieses gravierende Umweltproblem dringend erforderlichen Lösungsstrategien befasst. Die negativen Auswirkungen von Stickstoffemissionen auf die menschliche Gesundheit, auf Biodiversität sowie auf Klima- und Gewässerschädigung müssen demnach durch eine Halbierung der weltweiten Düngemittelproduktion aus Luftstickstoff (120 Mio. t) zukünftig vermieden werden. Und auch für Deutschland empfiehlt der SRU die Entwicklung von Strategien zur Erreichung der festgelegten Stickstoff Minderungsziele, die für Deutschland mindestens auf die Halbierung der Stickstoffeinträge auf den Ebenen Boden, Wasser und Luft ausgerichtet sein müssen.

Der Nährstoffbericht der Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2013/14, der mir im März vorgelegt wurde, zeigt, dass aufgrund der hohen Viehbesatzdichten im Weser-Ems Bereich bereits jetzt schon rund 65.000 ha Landwirtschaftsfläche fehlen, um die organischen Düngemittel, wie Gülle, Hühnertrockenkot und Gärreste so auszubringen, dass es dem Pflanzenbedarf und dem Boden-

schutz entspricht. Der von der Landwirtschaftskammer festgestellte jährliche Überschuss bei der Stickstoffdüngung in Höhe von rund 67.000 t ist erkennbar zu hoch und der Boden kann seine Schutzfunktion für die Gewässer in weiten Teilen Niedersachsens bereits jetzt nicht mehr wahrnehmen. Erkennbar wird das zum Beispiel daran, dass 47% der niedersächsischen Grundwasserkörper entsprechend rund 700.000 ha Landwirtschaftsfläche den Qualitätsvorgaben der EG Wasserrahmenrichtlinie an das Grundwasser nicht genügen, da dort die Nitratwerte der Messstellen über dem Grenzwert von 50 mg/l liegen.

Ich bin sicher, dass von den Präsentationen und von den Dialogen auf diesem Kongress ein starkes Signal ausgehen wird, dafür dass weitere Lösungsstrategien für den zukünftigen Bodenschutz erforderlich sind – und vor allem, dass diese Lösungen praxistauglich sein können und im Einvernehmen zwischen allen Nutzer unserer vielleicht wertvollsten Ressource – dem Boden – auch erreichbar sind.

Lassen Sie mich schließen mit einigen sehr „plastischen und vielleicht auch amüsanten Vergleichen“, wonach der Erhalt des Bodens ganz besonders auch für den Erhalt von Lebensqualität für uns und unsere Nachfahren steht und weshalb wir zum Bodenschutz verpflichtet sind:

1. Im Alten Land besteht mit über 11.000 ha das größte geschlossene deutsche Obstbaugebiet. Fast jeder dritte Apfel stammt von hier. Auf einem Quadratmeter Boden können rund 2 Liter Apfelsaft gewonnen werden.
2. Im Weser-Leine-Bergland wird im Übergangsbereich zwischen den flachgründigen und oft erodierten Böden zwischen den Höhenzügen und den Lössbecken vermehrt Raps angebaut. Auf einem Quadratmeter Boden können bis zu 150 Milliliter Rapsöl produziert werden.
3. Der Spargel ist auf über 4.000 ha die wichtigste Gemüseart in Niedersachsen und er wird vor allem auch in der Nienburger Geest angebaut. Auf einem Quadratmeter Acker werden rund 500 Gramm Spargel geerntet.
4. Weizen ist das wichtigste niedersächsische Brotgetreide und es wird vor allem auch auf den ertragreichen Böden der Lössbörde von Osnabrück bis Helmstedt angebaut. Auf einem Quadratmeter Weizenacker „wachsen“ etwa 13 Brötchen.
5. Auf den Ackerböden der Lüneburger Heide wird gut die Hälfte der deutschen Kartoffeln angebaut. Möglich geworden ist das durch gezielte Mineraldüngung und künstliche Bewässerung. Pro Quadratmeter werden etwa 4,5 Kilogramm Kartoffeln geerntet, das sind etwa 40 Portionen Pommes Frites.

6. In der Hildesheimer Börde werden auf rund 30% der Ackerfläche Zuckerrüben angebaut. Pro Hektar werden über 70 Tonnen Rüben mit einem Zuckergehalt von rund 20% geerntet. Auf jedem Quadratmeter Zuckerrübenacker lässt sich der Zucker für 15 Tüten Gummibärchen (200 Gramm) erzeugen.

Grußwort anlässlich des 127. VDLUFA-Kongresses vom 15. bis 18.09.2015 an der Georg-August Universität Göttingen

E. Pawelzik,

Dekanin

Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen

Sehr geehrter Herr Präsident Wiesler, liebe Kolleginnen und Kollegen, meine Damen und Herren,

Im Namen der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität begrüße Sie recht herzlich zum 127. VDLUFA-Kongress in Göttingen.

Die Wahl des Kongressortes ist nicht zufällig gewählt, denn wir begehen in diesem Jahr die Geburtstagsjubiläen von Wilhelm Henneberg, Gustav Kühn und Franz Lehmann, die im 19. Jahrhundert in Göttingen gewirkt und den Ruhm des Standortes Göttingen-Weende maßgeblich begründet haben.

Auch das Generalthema des Kongresses „Böden - Lebensgrundlage für Pflanze und Tier“ ist hochaktuell und der Kongress reiht sich damit in eine Vielzahl von Veranstaltungen und Initiativen anlässlich des von der Generalversammlung der Vereinten Nationen erklärten „Internationalen Jahres des Bodens 2015“ ein. Boden als wesentliche Ressource der Produktion von Lebens- und Futtermitteln ist entscheidend für die globale Ernährungssicherung. Darüber hinaus dient er in zunehmend der Produktion von nachwachsenden Rohstoffen, was zu einer Konkurrenz der Flächennutzung führt. Böden sind aber auch selbst Lebensraum für eine Vielzahl von Organismen, sie binden Nährstoffe, filtern Schadstoffe und sind als Wasserspeicher wichtig für den Hochwasserschutz.

Aufgrund dieser lebensnotwendigen Funktionen und der Tatsache, dass weltweit immer mehr wertvolle Böden u.a. durch Erosion und Versalzung, aber auch durch fortschreitende Urbanisierung verloren gehen, sollte es ein wichtiges Anliegen aller damit befassten Akteure sein, Böden zu erhalten und nachhaltig zu nutzen. Die auf dieser Tagung gesetzten Schwerpunkte, die Böden als Ressource für eine nachhaltige Pflanzen- und Tierproduktion, einschließlich

der Produktion sicherer Lebensmittel, betrachten, bilden so eine solide Grundlage für den wissenschaftlichen Austausch und ein Forum für die Diskussion zwischen Vertretern von Wissenschaft, Praxis und Politikberatung. Dieser wissenschaftliche Austausch zwischen verschiedenen Akteuren wird sich in dem gemeinsamen Workshop mit der Deutschen Gesellschaft für Pflanzenernährung fortsetzen und Gelegenheit bieten, den Wissenstransfer zu fördern und Kontakte und Schnittmengen in den fachlichen Interessen zu erkennen und zu fördern.

Meine Damen und Herren,

lassen sich mich kurz einige Ausführungen zur Fakultät für Agrarwissenschaften machen. Die Agrarwissenschaften in Göttingen bearbeiten wichtige Zukunftsfragen, wie die nachhaltige Sicherung der Ernährungsgrundlagen, Ausgleich und Gerechtigkeit bei der Nutzung globaler Ressourcen und die Entwicklung eines für Niedersachsen bedeutenden Wirtschaftszweiges. Vor diesem Hintergrund sind Forschung und Vermittlung im Bereich bio-ökonomischer und sozial-ökologischer Fragestellungen prägende Kennzeichen unserer Fakultät. Dies bedeutet auch, dass die Aktivitäten der Fakultät dem Dualismus von Grundlagenforschung mit hoher wissenschaftlicher Wirkung und der anwendungsbezogenen Forschung sowie ihrem Transfer gerecht werden müssen. Viele Fragen der Agrarwissenschaften haben globalen Charakter und sind wie die Agrarwirtschaft selbst nur im internationalen Kontext zu verstehen, so dass die Arbeiten der Fakultät auch durch Transdisziplinarität und Internationalität charakterisiert sind. Die Agrarwissenschaften zählen zu den profilgebenden Fakultäten der Universität. Ein großer Vorteil unserer Universität besteht darin, dass es mit der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie eine weitere Fakultät zu Landnutzungsfragen gibt. Dieses Alleinstellungsmerkmal der Universität Göttingen führt zu vielen, für beide Fakultäten nützlichen und fördernden Synergien, wie gemeinsame Verbundprojekte im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung, gemeinsame Studiengänge und Lehrveranstaltungen. In analoger Weise gestaltet sich auch die Kooperation mit dem in räumlicher Nähe befindlichen Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel in Witzenhausen. Statt Konkurrenz sind es Synergien und gegenseitige Ergänzungen, die das enge räumliche Nebeneinander der beiden Fakultätsstandorte kennzeichnen. Die Göttinger Fakultät ist mit ihrem Profil auch für Studierende sehr attraktiv. Innerhalb von 12 Jahren hat sich die Zahl der Studierenden fast verdreifacht und die Studierendenzufriedenheit weist bei entsprechenden bundesweiten Erhebungen für Göttingen vordere bzw. für einzelne

Disziplinen sogar erste Plätze aus.

Meine Damen und Herren,
ich hoffe, dass ich Ihnen in der Kürze der Zeit zeigen konnte, wie unsere Fakultät für die Bearbeitung aktueller und zukünftiger globaler Herausforderungen an die Agrarwissenschaften aufgestellt ist. Mit der fachlichen Schwerpunktsetzung dieses Kongresses auf die nachhaltige und effiziente Nutzung der Ressource Boden im Kontext mit Nährstoffen und Wasser werden sicher viele Impulse für weiterführende wissenschaftliche und anwendungsorientierte Fragestellungen gegeben. In diesem Sinne wünsche ich allen Teilnehmern des VDLUFA-Kongresses fachlich interessante Vorträge und inspirierende Diskussionen und Gespräche.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Konsequenzen der Raumordnung in Deutschland für die landwirtschaftliche Bodennutzung

H.-J. Seimetz

Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd, Neustadt an der Weinstraße

1. Einleitung

Die Steuerung der Bodennutzung bzw. der Flächennutzung ist zentraler Gegenstand der Raumordnung. Die in § 1 Abs. 2 Raumordnungsgesetz (ROG) postulierte raumordnerische Leitvorstellung einer nachhaltigen Raumentwicklung verpflichtet zu einer besonders schonungsvollen und ressourcensparenden Nutzung des Gutes Boden. Auch nach der Bodenschutzklausel in § 1a Abs. 2 Baugesetzbuch (BauGB) soll mit Grund und Boden sparsam umgegangen werden. Insbesondere – so heißt es dort – „sind zur Verringerung der zusätzlichen Inanspruchnahme von Flächen für bauliche Nutzungen die Möglichkeiten der Entwicklung der Gemeinde (...) durch Wiedernutzbarmachung von Flächen, Nachverdichtung und andere Maßnahmen zur Innenentwicklung zu nutzen sowie Bodenversiegelungen auf das notwendige Maß zu begrenzen“ (§ 1a Abs. 2 Satz 1 BauGB).

Die konkurrierenden Ansprüche an die Nutzung des Bodens sind vielfältig und resultieren im Wesentlichen aus den Flächenbedarfen für

- die Siedlungsentwicklung (Wohnen und Gewerbe),
- Verkehrsanlagen,
- den Arten- und Naturschutz,
- die Wasserwirtschaft, insbesondere für Anlagen zum Hochwasserschutz,
- den Abbau oberflächennaher Rohstoffe und
- die Land- und Forstwirtschaft.

Insbesondere die Siedlungs- und Verkehrsflächen dehnen sich stetig aus. Direkte Umweltfolgen der Ausweitung der Siedlungs- und Verkehrsfläche sind der Verlust der natürlichen Bodenfunktionen durch Versiegelung, der Verlust fruchtbarer landwirtschaftlicher Flächen oder der Verlust naturnaher Flächen mit ihrer Biodiversität.

Der Prozess der Suburbanisierung hat zu einem überproportionalen Verlust an landwirtschaftlichen Böden im ländlich strukturierten Raum beigetragen. Dabei

wird die Landwirtschaft vielfach in zweifacher Hinsicht getroffen: Zum einen gehen landwirtschaftliche Böden durch Versiegelung bzw. die entsprechenden baulichen Maßnahmen verloren, zum anderen durch den daraus resultierenden Ausgleichs- und Ersatzbedarf für die Aufrechterhaltung des Naturhaushaltes.

Als wichtigster Indikator für die „Flächeninanspruchnahme“ – häufig wird auch von „Flächenverbrauch“ gesprochen, auch wenn Fläche nicht „verbraucht“ werden kann – wird auf den Begriff der „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ zurückgegriffen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Siedlungs- und Verkehrsfläche einen erheblichen Anteil unbebauter und nicht versiegelter Flächen umfasst. Schätzungen ergeben für die Siedlungs- und Verkehrsfläche einen Versiegelungsgrad von 43 bis 50 %. Andererseits gehen verschiedene Boden beanspruchende Vorhaben im Außenbereich gar nicht in diesen Indikator ein. Dies gilt z. B. für Windkraft- und Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Flächen oder aber auch für den ober- und unterirdischen Leitungsbau quer durch landwirtschaftlich genutzte Böden.

In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie 2002 hat sich die deutsche Bundesregierung zum Ziel gesetzt, die Inanspruchnahme neuer Flächen für Siedlungszwecke von 129 ha pro Tag im Jahr 2000 bis zum Jahr 2020 auf 30 ha pro Tag zu reduzieren. Das ist natürlich ein ehrgeiziger, gegriffener Wert. Der gleitende Vierjahresdurchschnitt für neu in Anspruch genommene Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke lag 2012 bei 74 ha pro Tag (Statistisches Bundesamt, 2014, S. 15). Eine Fortsetzung dieser Entwicklung im bisherigen Tempo reicht nicht aus, das vorgegebene Reduktionsziel bis 2020 zu erreichen.

Wie bereits ausgeführt, entstehen aus den genannten vielfältigen Ansprüchen an die Nutzung des Bodens erhebliche Flächennutzungskonflikte. Daher ist es notwendig, dass der Staat vermittelnd für die Ordnung und Entwicklung des Raumes tätig wird. Soweit dieses vermittelnde Eingreifen des Staates im überörtlichen, d. h. übergemeindlichen Raummaßstab erfolgt, wird dieses staatliche Handeln als „Raumordnung“ bezeichnet.

2. Aufgaben der Raumordnung

Im § 1 Abs. 1 Raumordnungsgesetz (ROG) wird der Raumordnung die Aufgabe zugewiesen, den Gesamttraum der Bundesrepublik Deutschland und seine Teil-

räume durch zusammenfassende, überörtliche und fachübergreifende Raumordnungspläne zu entwickeln, zu ordnen und zu sichern. Raumordnung grenzt sich in diesem Sinne von der kommunalen Bauleitplanung ab.

Daraus ergeben sich folgende Aufgaben der Raumordnung:

- Aufstellung von Raumordnungsplänen (Landesentwicklungspläne, Regionale Raumordnungspläne)
- Entwicklung, Ordnung und Sicherung des Gesamttraumes der Bundesrepublik
- Abstimmung unterschiedlicher Anforderungen an die Nutzung des Raumes
- Ausgleich auftretender räumlicher Nutzungskonflikte
- Vorsorge für einzelne Nutzungen und Funktionen des Raumes

Mit der Überfachlichkeit grenzt sich die Raumordnung von den Fachplanungen, u. a. von der Landwirtschaft, ab. Bei ihrem Handeln ist die Raumordnung auf den überfachlichen Ausgleich von Raumnutzungsansprüchen begrenzt. Ein Eingriff in das Fachplanungsrecht ist nur insofern möglich, als dies zum Ausgleich konkurrierender Nutzungsansprüche (Landwirtschaft, Verkehr, Naturschutz, Wasserwirtschaft etc.) erforderlich ist. In diesen Fällen überlagert der Abstimmungsauftrag der Raumordnung grundsätzlich den Zuständigkeitsbereich der Fachplanung. Die Raumordnung ist der Fachplanung insofern übergeordnet.

Noch anders ausgedrückt: Raumordnung ist in einer demokratischen und pluralistischen Gesellschaft Ausdruck des öffentlichen, staatlichen Gestaltungsanspruches gegenüber individuellen Interessen.

Aufgaben der Raumordnung in Bezug auf die Landwirtschaft ergeben sich auch aus den Grundsätzen der Raumordnung in § 2 BauGB.

In den Umweltvorsorgegrundsätzen (§ 2 Abs. 2 Nr. 6 ROG) wird die Bedeutung des Raumes für die Funktionsfähigkeit der Böden, des Wasserhaushalts, der Tier- und Pflanzenwelt sowie des Klimas betont.

Mit der Änderung des ROG 2009 wurde dem Strukturwandel in der Landwirtschaft Rechnung getragen, indem das Erfordernis aufgegeben wurde, dass durch Raumordnung die räumlichen Voraussetzungen dafür geschaffen werden müssten, dass die Landwirtschaft sich als bäuerlich strukturierter, leistungsfähiger Wirtschaftszweig entwickeln kann (so § 2 Abs. 2 Nr. 10 Satz 1

ROG, 1998) (Spannowsky et al., 2010). Nach derzeitiger Regelung soll die Land- und Forstwirtschaft gemäß den Wirtschaftsstrukturgrundsätzen in § 2 Abs. 2 Nr. 4 ROG in ihrer Bedeutung für die Nahrungs- und Rohstoffproduktion erhalten werden. Die Raumordnung soll dies unterstützen, indem sie die landwirtschaftlichen Produktionsflächen sichert.

Die weiteren Funktionen der Landwirtschaft wie die Erhaltung der Kulturlandschaften, der Schutz der natürlichen Lebensgrundlagen in ländlichen Räumen sowie die Pflege und Gestaltung von Natur und Landschaft sind nicht in den Wirtschaftsstrukturgrundsätzen des § 2 Abs. 2 Nr. 4 ROG geregelt. Sie werden thematisch von den Grundsätzen zur Erhaltung und Entwicklung der Kulturlandschaften sowie zur Pflege von Natur und Landschaft in § 2 Abs. 2 Nr. 5 ROG erfasst.

Die Landwirtschaft zählt zu den Freiraumfunktionen, mit denen eine direkte Wertschöpfung verbunden ist. Dementsprechend ist es wichtige Aufgabe der Raumordnung, die räumlichen Voraussetzungen für die Erfüllung der landwirtschaftlichen Produktion und Böden mit guten bis sehr guten Ertragsbedingungen zu sichern (Priebes, 2013).

3. Festlegungen der Raumordnung für die landwirtschaftliche Bodennutzung

Am Beispiel der Landes- und Regionalplanung in Rheinland-Pfalz wird im Folgenden aufgezeigt, welche Festlegungen seitens der Raumordnung für die landwirtschaftliche Bodennutzung getroffen werden.

Das Landesentwicklungsprogramm (LEP IV) Rheinland-Pfalz und die dieses konkretisierenden Regionalpläne enthalten in zweifacher Hinsicht Festlegungen zur Sicherung landwirtschaftlicher Böden: Zum einen werden allgemeine Zielaussagen zur Reduzierung der quantitativen Flächenneuanspruchnahme getroffen, zum anderen wird mit der Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft eine räumliche Flächensicherung betrieben.

3.1 Festlegungen zur Reduzierung der Flächenneuanspruchnahme

Im Sinne einer nachhaltigen Siedlungsentwicklung soll nach dem LEP IV die notwendige Flächenneuanspruchnahme über ein Flächenmanagement

quantitativ und qualitativ verbessert und optimiert werden. Dabei soll der Innenentwicklung ein Vorrang vor der Außenentwicklung eingeräumt werden (LEP IV, S. 79, Z 31). Diese Zielaussage wird in der gerade laufenden 2. Teilfortschreibung des LEP IV nochmals verschärft. So ist von den Kommunen bei einer geplanten Ausweisung neuer, nicht erschlossener Bauflächen im Außenbereich im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung darzulegen, welche Flächenpotenziale im Innenbereich vorhanden sind und aus welchen Gründen diese nicht genutzt werden können, um erforderliche Bedarfe abzudecken (LEP IV, 2. Teilfortschreibung, 2015, Z 31neu). Mit dieser Neuregelung wird das Ziel verfolgt, die quantitative Flächenneuanspruchnahme in Rheinland-Pfalz auf unter 1 ha pro Tag im Jahresdurchschnitt zu drücken.

Die Regionalen Raumordnungspläne greifen die Vorgaben des LEP IV auf, vertiefen diese räumlich und ergänzen sie inhaltlich.

Zur Steuerung der Siedlungsflächenentwicklung sollen gemäß LEP IV in den Regionalen Raumordnungsplänen für die Flächennutzungsplanung Schwellenwerte für den Wohnbauflächenbedarf festgelegt werden. Die Festlegung von Schwellenwerten bewirkt, dass eine Ausweisung zusätzlicher Wohnbauflächen durch die Flächennutzungsplanung der Kommunen nur zulässig ist, wenn ein entsprechendes Wohnbauflächendefizit nachgewiesen wird (Verband Region Rhein-Neckar, 2014, S. 15). Diese Schwellenwerte werden auf der Grundlage der mittleren Variante der Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Landesamtes Rheinland-Pfalz und der bestehenden Flächenreserven begründet (LEP IV, Z 32; S. 79). Die Ermittlung der Flächenreserven erfolgt im Land Rheinland-Pfalz im Rahmen des Projekts „Raum +“, auf das ich im Folgenden noch eingehen werde.

3.2 Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft

Das LEP IV stellt in der Leitbildkarte „Landwirtschaft“ (LEP IV, S. 135) landesweit bedeutsame Bereiche für die Landwirtschaft dar. Diese sollen durch die Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten in den Regionalen Raumordnungsplänen konkretisiert und gesichert werden (LEP IV, S. 134, Z 120).

Grundlage für die Ausweisung in den Regionalplänen bilden in der Regel fachliche Beiträge der Landwirtschaftskammern oder Bodengütekarten anderer

Fachbehörden. Mit Vorrang- und Vorbehaltsgebieten werden konkurrierende Nutzungen (Siedlungs- und Verkehrsflächen, Rohstoffflächen, Flächen für den Naturschutz etc.) abgewehrt, hochwertige landwirtschaftliche Böden erhalten und damit die landwirtschaftlichen Produktionsbedingungen, im Sinne des Auftrages aus dem Raumordnungsgesetz, geschützt (Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 2011, S. 263).

„Vorranggebiete“ besitzen – in der Terminologie der Raumordnung – so genannten „Zielcharakter“. Dies bedeutet, dass alle anderen Flächennutzungen, die der festgelegten Vorrangnutzung entgegenstehen, ausgeschlossen sind. Bezogen auf die Landwirtschaft heißt das, dass zur Sicherung der landwirtschaftlichen Bodennutzung in den „Vorranggebieten für die Landwirtschaft eine außerlandwirtschaftliche Nutzung nicht zulässig ist“ (Verband Region Rhein-Neckar, 2014, S. 78).

Bei der Abgrenzung der Vorranggebiete für die Landwirtschaft werden neben standörtlichen Kriterien (Bodengüte, Hangneigung) auch agrarstrukturelle Aspekte (Betriebsgrößen, Flurstruktur und Schlaggrößen, Großvieheinheiten je ha landwirtschaftliche Nutzfläche etc.) berücksichtigt (Verband Region Rhein-Neckar, 2014, S. 80).

Die Vorranggebiete für die Landwirtschaft umfassen durchaus nennenswerte Größenordnungen. In der Region Rheinhessen (dazu zählen die Städte Mainz und Worms sowie die Landkreise Mainz-Bingen und Alzey-Worms) sind rd. 35 600 ha, das sind 28 % der Regionsfläche, als Vorranggebiet Landwirtschaft festgesetzt. In der Region Rheinpfalz, die auch als „Gemüsegarten Deutschlands“ bezeichnet wird, sind es rd. 67 000 ha oder 27 % der Regionsfläche.

„Vorbehaltsgebiete“ besitzen – in der Terminologie der Raumordnung – so genannten Grundsatzcharakter. Der festgelegten Vorbehaltsnutzung ist im Rahmen der Abwägung mit konkurrierenden Nutzungen ein besonderes Gewicht beizumessen. Dies bedeutet, bezogen auf die Landwirtschaft, dass die „Vorbehaltsgebiete für die Landwirtschaft“ vorwiegend der landwirtschaftlichen Nutzung vorbehalten sind und im Falle fehlender Alternativen nur in unbedingt notwendigem Umfang für andere Zwecke in Anspruch genommen werden dürfen. Vorbehaltsgebiete für die Landwirtschaft entfalten allerdings in der Praxis nur eine geringe Durchschlagskraft. Aus diesem Grund wird in vielen Regionalen Raumordnungsplänen zwischenzeitlich auf die Ausweisung von „Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft“ verzichtet.

Abgesehen von der Festlegung von Vorrang- und/oder Vorbehaltsgebieten für die Landwirtschaft, finden die Steuerungsmöglichkeiten der Raumordnung allerdings sehr schnell ihre Grenzen. Die Raumordnung hat so gut wie keine Möglichkeiten, den tiefgreifenden Strukturwandel, in dem sich die Landwirtschaft nach wie vor befindet, zu beeinflussen. Der Trend zur Vergrößerung und Spezialisierung der Betriebe setzt sich fort. Insbesondere die Anforderungen der Lebensmittelindustrie tragen maßgeblich zur Industrialisierung der landwirtschaftlichen Betriebsabläufe bei. Die Einflussmöglichkeiten der Raumordnung reduzieren sich im Wesentlichen auf die Flächensteuerung, d. h. die Festlegung von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten. Die Raumordnung hat ferner so gut wie keine Möglichkeiten, auf die Art der landwirtschaftlichen Nutzung Einfluss zu nehmen. Solange ordnungsgemäße Landwirtschaft betrieben wird, kann der Landwirt selbst über seinen Produktionsschwerpunkt entscheiden.

4. Konsequenzen aus den Festlegungen der Raumordnung für die landwirtschaftliche Bodennutzung

Die Festlegung von Zielen der Raumordnung, z. B. Vorranggebiete für die Landwirtschaft, entfaltet unmittelbare Bindungswirkung für öffentliche Stellen und für kommunale Gebietskörperschaften.

So haben öffentliche Stellen bei raumbedeutsamen Planungen und Maßnahmen, bei Entscheidungen über die Zulässigkeit raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen sowie bei Entscheidungen über die Zulässigkeit raumbedeutsamer Planungen und Maßnahmen von Personen des Privatrechts, die der Planfeststellung oder der Genehmigung mit der Rechtswirkung der Planfeststellung bedürfen, die Ziele der Raumordnung zu beachten. Grundsätze der Raumordnung, z. B. Vorbehaltsgebiete für die Landwirtschaft, sind in Abwägungsentscheidungen zu berücksichtigen (§ 4 Abs. 1 ROG).

Die Beachtungspflicht bewirkt eine strikte Bindung an das Ziel, d. h., öffentliche Stellen haben das Ziel einzuhalten. In zahlreichen Fachgesetzen kommt die Beachtungspflicht an die Ziele der Raumordnung durch deklaratorische Raumordnungsklauseln („Die Ziele der Raumordnung sind zu beachten“) zum Ausdruck (z. B. im Bundesnaturschutzgesetz, im Fernstraßengesetz oder im Bundesimmissionsschutzgesetz).

Für die Bauleitplanung der Kommunen wird durch § 1 Abs. 4 BauGB eine Anpassungspflicht („Die Bauleitplanung ist an die Ziele der Raumordnung anzupassen“) an die Ziele der Raumordnung eingeführt. Dies bedeutet in der Praxis, dass die Kommunen bei der Ausweisung von Siedlungsflächen für Wohnen und Gewerbe anderweitige Flächennutzungsfestlegungen der Raumordnung strikt zu beachten haben. Konkret: landwirtschaftliche Vorranggebiete scheiden für die weitere Siedlungsentwicklung aus. Ausgenommen von der Anpassungspflicht an die Ziele der Raumordnung sind privilegierte Vorhaben im Außenbereich (§ 35 Abs. 1 BauGB), zu denen auch landwirtschaftliche Betriebe und Einrichtungen zählen, z. B. landwirtschaftliche Aussiedlungen.

Allerdings kann im Einzelfall von der Beachtens- und Anpassungspflicht an die Ziele der Raumordnung begründet abgewichen werden (§ 6 Abs. 2 ROG). Dies erfolgt in der Regel im Rahmen von Zielabweichungsverfahren, in denen darzulegen ist, dass die Abweichung unter raumordnerischen Gesichtspunkten vertretbar ist und die Grundzüge der Planung nicht berührt sind.

Häufig setzen sich Vorranggebiete für die Landwirtschaft in Abwägungsprozessen gegenüber konkurrierenden Nutzungen nur schwer durch. In Zielabweichungsverfahren zieht die Landwirtschaft bisweilen den Kürzeren, insbesondere bei Planungen im siedlungsnahen Bereich. Dabei ergibt sich ein besonderes Spannungsverhältnis für die Regionalplanung dadurch, dass sich Landwirtschaftskammern und Verbände der Landwirtschaft in den Planungsverfahren gegen die Inanspruchnahme landwirtschaftlicher Vorranggebiete aussprechen, die landwirtschaftlichen Grundstückseigentümer selbst jedoch zur Veräußerung ihrer Flächen, auch für nicht landwirtschaftliche Nutzungen, bereit sind oder sogar vorantreiben. Die hohen Wertschöpfungspotenziale, die landwirtschaftliche Nutzflächen als potenzielle Standorte für Windenergieanlagen aufweisen, haben dieses Spannungsverhältnis aktuell noch verschärft.

5. Sicherung der landwirtschaftlichen Bodennutzung durch regionales Flächenmanagement: Das Projekt „Raum+ Rheinland-Pfalz“

Die fortlaufende Inanspruchnahme neuer Flächen für die Siedlungsentwicklung stellt den wichtigsten Belastungsfaktor für das Schutzgut „Boden“ dar.

Die Postulierung des 30 ha-Ziels aus der Nachhaltigkeitsstrategie des Bundes hat in Rheinland-Pfalz eine intensive Diskussion um das Thema „Innenentwicklung“ ausgelöst. Dabei ist sichtbar geworden, dass die meisten Kommunen von der tatsächlichen Flächenneuanspruchnahme für Wohnen und Gewerbe, und noch weniger von ihren Innenentwicklungspotenzialen, überhaupt eine Vorstellung haben. Zu solchen inneren Reserven zählen nicht nur Baulücken, sondern auch Brachflächen, die einer neuen Nutzung zugeführt werden können, sowie Flächen für Nachverdichtungen.

Wer Siedlungsflächenmanagement betreiben will, benötigt Grundlagen, um strategisch handeln und entscheiden zu können. Dieser Prozess wird in Rheinland-Pfalz über ein Flächenmanagement optimiert. Grundlage dafür ist das Projekt „Raum+“.

„Raum+“ ist ein methodischer Ansatz zur räumlichen, quantitativen und qualitativen Erfassung der Innenentwicklungspotenziale sowie deren Verfügbarkeit für eine Nutzung zu Siedlungszwecken.

In enger Zusammenarbeit mit der kommunalen Ebene wurde eine systematische Übersicht über die in den Städten und Kommunen des Landes vorhandenen Innenentwicklungspotenziale und die für die Nutzung dieser Potenziale bestehenden Umsetzungshindernisse (Eigentumsverhältnisse, Altlastensituation, Erschließung etc.) erstellt. Darüber hinaus wurden die rechtskräftigen Flächennutzungspläne der Städte und Gemeinden auf noch nicht realisierte Außenentwicklungspotenziale geprüft. Noch nicht realisierte Außenentwicklungspotenziale sind solche Flächen bzw. Gebiete, die im Flächennutzungsplan als Siedlungsflächen/-gebiete dargestellt sind, für die es jedoch noch keinen Bebauungsplan gibt. Grundsätzlich wurden nur zusammenhängende Flächen mit mehr als 2000 Quadratmetern berücksichtigt. Den einzelnen Kommunen bleibt es unbenommen, für eigene Planungszwecke auch kleinere Brachflächen oder Baulücken zu erheben.

Die Ergebnisse der Erhebung waren für alle Beteiligten überraschend. Insgesamt wurden 18 500 Einzelflächen mit einem Gesamtvolumen von 22 500 ha identifiziert. Davon liegen ca. 8500 Flächen mit rd. 5000 ha innerhalb der Ortslage (so genannte Innenreserven) und ca. 10 000 Flächen mit rd. 17 500 ha außerhalb der Ortslage (so genannte Außenreserven) (MWKEL, 2011, S. 19). Bei den Außenreserven sind 42 % der Fläche im rechtskräftigen Flächennut-

zungsplan als Wohnbaufläche dargestellt, 14 % als gemischte Bauflächen und 44 % als gewerbliche Bauflächen (MWKEL, 2011, S. 41). Für 25 % der erhobenen Innenreserven konnten keine Hinderungsgründe für eine sofortige Aktivierung festgestellt werden. Das bedeutet, dass insgesamt 2300 Flächen mit einer Gesamtfläche von rd. 1300 ha sofort für Siedlungszwecke genutzt werden können (MWKEL, 2011, S. 34).

Für das Projekt „Raum+“ wurde eine internetbasierte Plattform geschaffen, die die dezentrale Erfassung und regelmäßige Aktualisierung der Innenpotenziale durch die einzelnen Kommunen und die Zusammenführung der erfassten Potenziale für die regionale Ebene ermöglicht. Diese Plattform bildet eine gesicherte Planungsgrundlage für eine Mobilisierung der inneren Reserven und ist gleichzeitig Grundlage für ein nachhaltiges Siedlungsflächenmanagement auf örtlicher und regionaler Ebene.

Dem Land steht durch „Raum+“ erstmals eine verlässliche, flächendeckende Übersicht über die Innentwicklungspotenziale zur Verfügung. Da die Informationen auf Angaben der Kommunen beruhen, können sie als kommunal abgestimmt angesehen werden.

Im Rahmen von „Raum+ Monitor“ wird die Erhebung und Bewertung der vorhandenen Siedlungsflächenpotenziale laufend aktualisiert.

Stellt man dem ermittelten Wohnbauflächenbedarf die noch vorhandenen Wohnbauflächenreserven gegenüber, zeigt sich, dass für die weitaus überwiegende Zahl der Kommunen ein erheblicher Wohnbauflächenüberhang besteht bzw. zu erwarten ist. In diesen Kommunen kommt eine über die bereits rechtskräftig dargestellten Bereiche hinausgehende Darstellung zusätzlicher Wohnbauflächen im Rahmen einer Flächennutzungsplanfortschreibung nicht in Betracht. Die Darstellung zusätzlicher Wohnbauflächen ist nur in Kommunen mit einem Wohnbauflächendefizit möglich. In den Regionalen Raumordnungsplänen schlagen sich Wohnbauflächendefizite oder Wohnbauflächenüberhänge in positiven bzw. negativen Schwellenwerten nieder.

Die bisherigen Erfahrungen mit dem Projekt „Raum+“ stimmen optimistisch. Städte und Gemeinden haben erkannt, dass einer angemessenen Innenentwicklung der Vorrang vor der Ausbreitung in die Fläche zu geben ist. Dies kommt Ihnen angesichts der demografischen Entwicklung selbst zu Gute: sie bewah-

ren ihre attraktiven Ortskerne, sie schonen ihre Natur- und Landwirtschaftsflächen sowie ihre Gemeindefinanzen, weil sie keine unnötige neue Infrastruktur schaffen müssen.

6. Fazit und Ausblick

Abschließend sollen die Instrumente der Raumordnung zur Sicherung der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf ihre Wirksamkeit hin überprüft werden.

Die Möglichkeiten der Raumordnung zur Sicherung der landwirtschaftlichen Bodennutzung sind begrenzt.

Raumordnung kann die räumlichen Voraussetzungen dafür, dass die Landwirtschaft ihren verschiedenen Funktionen und Aufgaben gerecht werden kann, nur mit den ihr zur Verfügung stehenden Mitteln schaffen. Dies sind im Wesentlichen die räumliche Flächensteuerung (Ausweisung von Vorranggebieten und Vorbehaltsgebieten) und die Einrichtung eines Flächenmanagements mit darauf basierenden Schwellenwerten für die Wohnbauflächenentwicklung.

Raumordnung kann Nutzungskonflikte frühzeitig sichtbar machen und Nutzungskonflikte verhindern.

Der große Vorteil und Nutzen der Raumordnung für die einzelnen Interessenvertreter besteht vor allem darin, dass die unterschiedlichen Nutzungsvorstellungen sichtbar gemacht werden und Konflikte, die bei einer Einzelfallbetrachtung nicht sichtbar würden, erkennbar werden. Raumordnung bietet damit die Chance, frühzeitig Nutzungsinteressen abzugleichen und Nutzungskonflikte zu verhindern. Dennoch wird die Raumordnung aus Sicht der Landwirtschaft nicht immer als fairer Vertreter unterschiedlicher Interessen gesehen, sondern häufig als Verursacher für die Überplanung landwirtschaftlicher Nutzflächen.

Ich glaube, dass es hier Vorurteile abzubauen gilt. Durch die Festlegung landwirtschaftlicher Vorrangflächen wird die Überwindung landwirtschaftlicher Belange durch entgegenstehende Planungen, wie die Siedlungs- oder Verkehrsentwicklung, deutlich erschwert. Die Raumordnung unterstützt faktisch die planerische Sicherung landwirtschaftlicher Flächen.

Die Landwirtschaft muss einen eigenen Beitrag zur Reduzierung des Flächenverbrauchs leisten.

Bei der Nachfrage nach landwirtschaftlichen Böden sind auch die unterschiedlichen Individualinteressen der betroffenen Landwirte zu sehen. Während die einen durch die Umwandlung in Bauland finanziell profitieren, geht anderen, auf Pachtflächen angewiesenen Betrieben unwiederbringlich Nutzfläche verloren.

Betrachtet man aktuelle Aussiedlungsvorhaben, bekommt man angesichts der Dimension der Projekte (Maschinenhalle, Wohnhaus, Ferienwohnung, Vinothek, Pferdepension etc.) bisweilen Zweifel, ob dies noch unter den Privilegierungstatbestand des § 35 Abs. 1 BauGB fallen kann. In jedem Fall macht sich die Landwirtschaft unglaublich, wenn auf der einen Seite die Erhaltung guter landwirtschaftlicher Böden einfordert wird, auf der anderen Seite Industrieanlagen ähnelnde Aussiedlungsvorhaben in der Vorrangfläche Landwirtschaft realisiert werden.

Die demografische Entwicklung (Bevölkerungsrückgang, Alterung) wirkt sich derzeit (noch) nicht dämpfend auf den Flächenverbrauch aus.

Die Bevölkerungsentwicklung läuft räumlich keineswegs gleichmäßig ab. Schrumpfende und wachsende Städte und Gemeinden liegen räumlich eng beieinander. Stark wachsend sind aktuell vor allem die Großstädte und Städte und Gemeinden in deren engeren Umfeld. Dagegen geht die Bevölkerungszahl in Städten mittlerer Größe und Kleinstädten zurück. Besonders stark schrumpfen Gemeinden in dünn besiedelten ländlichen Gebieten (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2015, S. 9f). Insgesamt steht einer immer größer werdenden Gruppe von schrumpfenden Kommunen eine kleiner werdende Gruppe wachsender Städte gegenüber. In den wachsenden Regionen kann der Wohnungsbedarf und damit die Flächennachfrage nicht allein mit Innenentwicklungspotenzialen gedeckt werden, so dass neue Flächen in Anspruch genommen werden müssen. Demgegenüber stehen schrumpfende Kommunen besonders unter Druck, ihre soziale und technische Infrastruktur an eine veränderte Nachfrage anzupassen, die Daseinsvorsorge zu sichern und die Lebensqualität zu erhalten. Dem Bevölkerungsschwund in schrumpfenden und stark schrumpfenden Gemeinden ist jedoch bisher noch kein angemessener Rückgang beim Flächenverbrauch gefolgt (BBSR, 2015, S.14).

Nach einer aktuellen Studie des Instituts der Deutschen Wirtschaft, Köln, gibt es in den großen Städten und deren Umland viel zu wenig Bauland, während in den ländlichen, strukturschwachen Regionen zu viel neuer Wohnraum geschaffen wird (Frankfurter Allgemeine Zeitung, 20.08.2015). Die Gründe dafür liegen in den niedrigen Baulandpreisen in den strukturschwachen Regionen und in dem derzeitig niedrigen Zinsniveau. Die Flächenneuanspruchnahme in den ländlichen Gebieten trifft insbesondere die Landwirtschaft. Mit der Einrichtung eines Flächenmanagements steuert die Raumordnung hier entgegen.

Wenn wir damit Erfolg haben wollen, ist Akzeptanz auf der kommunalen Ebene ebenso notwendig, wie Zurückhaltung auf Seiten der Landwirtschaft bzw. eine Beschränkung auf das Notwendige, wenn es um eigene Bauvorhaben auf landwirtschaftlichen Flächen geht.

7. Literaturangaben

- Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), 2011: Grundriss der Raumordnung und Raumentwicklung. Braunschweig.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Hrsg.), 2015: Wachsen oder schrumpfen?, BBSR-Analysen Kompakt 12/2015. Bonn.
- Ministerium des Innern und für Sport Rheinland-Pfalz (Hrsg.), 2008: Landesentwicklungsprogramm (LEP IV) Rheinland-Pfalz. Mainz.
- Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (Hrsg.), 2011: Raum+ Rheinland-Pfalz 2010. Die Bewertung von Flächenpotenzialen für eine zukunftsfähige Siedlungsentwicklung. Mainz.
- Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz (MWKEL) (Hrsg.), 2015: Zweite Teilfortschreibung LEP IV. Entwurfsfassung für das Anhörungs- und Beteiligungsverfahren. Mainz.
- Priebs, A., 2013: Raumordnung in Deutschland. S. 142, Braunschweig.
- Spannowsky, W., Runkel, P., Goppel, K., 2010: Raumordnungsgesetz (ROG). Kommentar. München.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.), 2014: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2014. Wiesbaden.
- Verband Region Rhein-Neckar (Hrsg.), 2014: Einheitlicher Regionalplan Rhein-Neckar. Plansätze und Begründung. Mannheim.

Landwirtschaftlich genutzte Böden aus Sicht der Futtermittel- und Lebensmittelsicherheit

H. Schenkel

Universität Hohenheim, Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Stuttgart

Landwirtschaftliche genutzte Böden sind Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen (NN, 1998, Pepper et al., 2009). Im Hinblick auf die landwirtschaftliche Nutzung stehen die Funktionen als Standort für Futter- und Nahrungspflanzen sowie die Regulierung des Wasserhaushaltes im Vordergrund. Hierbei soll nicht übersehen werden, dass aus dem Boden auch Gefahren für die Gesundheit von Tier und Mensch erwachsen können z.B. durch mikrobielle Erreger wie Clostridium botulinum oder Listerien (FAO, 2008) oder Mangel oder Intoxikationen mit Spurenelementen wie z. B. dem Selen (Suttle, 2010).

Der Risikoforscher Ortwin Renn (Renn, 2014) formuliert es in seinem Buch „Das Risikoparadox“ folgendermaßen: Zum einen stellen Bestandteile der Natur Rohstoffe dar, die als Material für Herstellungsprozesse bestimmter Güter und Dienstleistungen gebraucht werden. Man spricht hier von Quellenfunktion der natürlichen Umwelt. Andererseits dient die natürliche Umwelt als Auffangbecken für Abfälle. Dies wird als Senkenfunktion bezeichnet. Hier wird die Fähigkeit bestimmter natürlicher Systeme zur Aufnahme und zum Aufbau einzelner, begrenzt zugeführter Stoffe ausgenutzt. Wenn die Senkenkapazität überschritten ist, kommt es zu einer Anreicherung von Stoffen in den entsprechenden Umweltmedien wie Luft, Wasser und Boden.

Der Boden als Senke

Böden können durch anthropogene Aktivitäten über sehr unterschiedliche Eintragspfade mit unterschiedlichen unerwünschten Stoffen befrachtet werden. Herausragende Eintragspfade stellen die Nass- und Trockendeposition aus der Atmosphäre dar. Für manche Stoffe konnte im Rahmen von Luftreinhaltemaßnahmen erhebliche Erfolge erzielt werden (Umweltbundesamt, 2015a). Dies trifft vor allem für Punktquellen zu. Bei diffusen Quellen ist dies erheblich schwie-

riger. Manche dieser Stoffe können über sehr weite Distanzen verfrachtet werden. Weitere Einträge können über Düngemittel und Bodenverbesserungsmittel unterschiedlicher Art erfolgen (Chaney, 2012; Umweltbundesamt, 2015b). In manchen Gebieten stellt auch das Beregnungs- oder Bewässerungswasser eine wichtige Eintragsquelle dar. Auch Pflanzenschutzmittel können anthropogene Eintragsquellen darstellen. Diese Einträge sind insbesondere bei den anorganischen Elementen Zusatzlasten zu den nativen Gehalten, die im Wesentlichen durch das bodenbildende Ausgangsgestein bestimmt werden (LABO, 2003, Utermann et al., 2008). Man kann aber auch die Einträge durch den Vulkanismus hier hinzuzählen.

In der Bilanzierung stehen diesen Einträgen Austräge über Oberflächen und Sickerwasser, die Erosion oder das Ausgasen flüchtiger Stoffe gegenüber. Über die Pflanzen kann eine Abfuhr von der Fläche erfolgen. Im Boden selbst kann eine Festlegung über verschiedene biotische oder abiotische Prozesse stattfinden. Organische Substanzen können metabolisiert werden. Die biologische Halbwertszeit bekannter unerwünschter Stoffe kann über erhebliche Zeiträume variieren (Sinkkonen et al., 2000, Wang et al., 2010, Kwon et al., 2014).

Böden als Eintragsquelle in Nahrungskette

In der Tabelle 1 sind für einige Stoffe die dominierenden Aufnahmefade bei landwirtschaftlichen Nutztieren zusammengestellt.

Tab.1: Aufnahmefade an einigen unerwünschten Stoffen bei landwirtschaftlichen Nutztieren

Stoff	Boden	Futter	Sonstige
As	x	xx	
Pb	xx	x	
Cr	xx	x	Beschäftigungsmaterial
Hg		xx	Beschäftigungsmaterial
Th		xx	
Ni		xx	
PCB	xx		Beschäftigungsmaterial
DIPCB/Dioxine	xx		Beschäftigungsmaterial
PFC	x	x	
PAH	xx		

Der Eintrag unerwünschter Stoffe aus dem Boden in die Nahrungskette erfolgt auf verschiedenen Pfaden. Neben dem Pfad Boden-Nahrungs- oder Futterpflanze spielt zum Beispiel die direkte Aufnahme von Bodenpartikel durch Tier und Mensch zum Teil eine wichtige Rolle. Dies trifft insbesondere für lipophile organische Stoffe zu, bei denen die Wurzelaufnahme nur gering ist, wobei hier ein unterschiedliches Aufnahmeverhalten einzelner Pflanzenarten bekannt ist (Hülster, 1994; Hülster et al., 1994).

Über den Transfer verschiedener Stoffe in der Nahrungskette liegen zwischenzeitlich eine Vielzahl von Einzelinformationen vor. Auch eine Reihe von EDV gestützten Modellen wurden entwickelt. Eine ausführliche Darstellung würde den Rahmen dieses Beitrages sprengen. In der Tabelle 2 sind daher nur einige wenige Arbeiten zusammen gestellt.

Tab.2: Ausgewählte Arbeiten zur Darstellung von unerwünschten Stoffen in Nahrungsketten

Stoff	Autoren	
Schwermetalle	Gall et al., 2015	Transfer of heavy metals through terrestrial food webs
Arzneistoffe	Chitescu et al 2015	Modelling the transfer of pharmaceuticals through food production system
Phtalate, Dioxine	Fierens et al., 2014	Transfer of phtalates and polychlorinated di-benzo-dioxins and dibenzofurans into agricultural products
PFC	Van Asselt et al, 2013	Transfer of perfluorooctane sulfonic acid from contaminated feed to dairy milk
Cadmium	Van der Fels-Klerk et al, 2011	Modelling cadmium in the feed chain and cattle organs
Organische Kontaminanten	Czub und McLachlan, 2004	A food chain model to predict the levels of lipophilic organic contaminants in humans

Zur Problematik der Modellierung sei nochmals Renn (2014) zitiert: Wir wissen heute mehr über Risiken als je zuvor. Mit den Hilfsmitteln der Stochastik können wir Risiken besser und treffender beschreiben als jede Generation vor uns. Diese neuen Methoden können zwar keine Gewissheiten erzeugen und eindeutig messbare Ursache Wirkungsketten aufzeigen, aber sie geben uns wichtige Einblicke in die relativen Gefährdungen und vermitteln uns verwert-

bare Erkenntnisse über die Wahrscheinlichkeiten ihrer Verursachung. Systematische Risiken sind in der Regel nicht durch lineare Modelle von Ursache und Wirkungsketten beschreibbar, sondern folgen häufig stochastischen und chaotischen Wirkungsbeziehungen.

Maßnahmen

Die Maßnahmen um die Belastung von Tier und Mensch gegebenenfalls herabzusetzen oder weitgehend zu eliminieren sind sehr unterschiedlich. Im Vordergrund steht die Minimierung des Eintrags unerwünschter Stoffe in die Böden. Im Hinblick auf verschiedene Punktquellen (z. B. Emissionen aus Verbrennungs- oder Industrieanlagen) sind in den letzten Jahren beträchtliche Erfolge erzielt worden. Schwieriger ist es Einträge aus diffusen Quellen zu reduzieren. Hier entscheidet oft eine Betrachtung des Aufwandes in Relation zu den erzielbaren Effekten.

Im Hinblick auf die Austräge sind zwei unterschiedliche Strategien zu unterscheiden: Die eine wäre die Remediation, also der Anbau spezieller Akkumulatorpflanzen, die dem Boden verstärkt die in Frage stehenden Stoffe entziehen und die dann beseitigt werden.

Die andere Strategie ist das Bemühen um einen verstärkten Abbau organischer unerwünschter Stoffe im Boden bzw. die Festlegung in der Bodenmatrix. Auch bei anorganischen Stoffen wird häufig auf eine Minderung des Transfers aus dem Boden in die Pflanze gesetzt, z. B. durch Änderung des pH-Wertes oder die Zugabe absorbierender Stoffe wie bestimmte Biokohlen (Zhang und Ok, 2014, Novak et al., 2016)

Beispiele für weitere Maßnahmen wären die Bemühungen um eine Minderung der Aufnahme erdiger Verunreinigungen (Staatl. Betriebsgesellschaft Sachsen, 2015; Resch et al., 2015) oder die Nutzung bisheriger sogenannter sekundärer Dünger wie Klärschlamm weniger als Dünger sondern zur Rückgewinnung wertvoller Inhaltstoffe (Klärschlamm) (Peccia und Westerhoff, 2015).

Cadmium

Nachdem die EFSA (2009) und die JEFCA (2011) sich für eine sehr deutliche Reduktion der tolerierbaren Cadmiumaufnahme des Menschen ausgespro-

chen haben, hat sich die Diskussion um eine Reduktion des Cadmium Eintrages in die Nahrungskette wieder intensiviert (BfR, 2009). Eine der raschen Reaktionen war die Einführung von Grenzwerten für Säuglingsnahrung und Folgenahrung sowie für Kakao und Schokoladenerzeugnisse im Lebensmittelbereich (NN, 2014).

Im Düngemittelbereich gibt es national die bekannten Regelungen im Rahmen der Düngemittelverordnung NN, 2012), während man sich im Rahmen der europäischen Union noch zu keiner Regelung entscheiden konnte. Das Scientific Committee on Health and Environmental Risks (2015) befasste sich vor kurzen mit der möglichen Akkumulation in europäischen Ackerböden. In Übereinstimmung mit den Arbeiten von Six und Smolders (2014) wurde herausgestellt dass zu den wichtigsten Faktoren zur Beurteilung zählen, von welchen Cadmium-Gehalt in den Ackerböden ausgegangen werden muss, wie hoch der atmosphärische Eintrag anzusetzen ist, wo der mittlere Cadmiumgehalt in den Wirtschafts- und Mineraldüngern anzusetzen ist. Aber auch wichtige Einflussfaktoren wie der Gehalt an organischer Substanz im Boden, der pH-Wert des Boden (Bestimmungsmethode !) hat Einfluss ebenso wie die Fruchtfolge und die jeweiligen Erträge. Six und Smolders (2014) kommen aufgrund ihrer Berechnungen zu dem Ergebnis, dass in Getreide-Kartoffel Fruchtfolgen im Schnitt in den nächsten 100 Jahren mit einem Rückgang der mittleren Cadmiumbelastung der Böden von 15 % zu rechnen ist. Dies allerdings mit einer weiten Spannweite (P10-P90: 12 % Anstieg bis 64 % Rückgang) und großen regionalen Unterschieden.

Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Neben den Schwermetallen finden halogenierte, vorwiegend chlorierte, Kohlenwasserstoffe als Verunreinigung in landwirtschaftlich genutzten Böden große Beachtung. Genannt seien hier vor allem die Dioxine und Furane sowie die polychlorierten Biphenyle. Weitere Verbindungsgruppen sind die polybromierten Flammschutzmittel oder die polyfluorierten Kohlenstoffe.

In der Diskussion wird dabei häufig übersehen, dass abiotische und biotische Chlorierung auch ohne anthropogenen Einfluss in der Natur entsprechende Verbindungen gebildet werden, die zum Teil ähnlich oder identisch aufgebaut sind, wie die Kontaminanten anthropogenen Ursprungs und denen z. T. bei ein-

zelen Organismen wichtige biologische Funktionen zukommen. Zusammenfassende Darstellungen sind u. a. bei Vetter (2006) und Gribble (2004) zu finden. Bei den genannten polychlorierten Kohlenwasserstoffen vorwiegend anthropogenen Ursprungs ist auf Grund der ausgeprägten Lipophilie die Aufnahme aus dem Boden über die Wurzel in die Pflanzen nur gering. Ausnahmen können einige wenige Pflanzenfamilien darstellen (Hülster, 1994; Hülster et al., 1994). Der Eintrag in die Nahrungskette, insbesondere über den Pfand landwirtschaftliche Nutztiere erfolgt daher im Wesentlichen über die Auflagerung von Staub und Bodenpartikeln auf die Pflanzenoberfläche oder die direkte Aufnahme von Bodenpartikeln. Hierzu gibt es eine Reihe von Erhebungsuntersuchungen z. B. an Weidetieren (Mutterkühen) oder freilaufenden Legehennen. Unterstützt werden diese Ergebnisse auch durch gezielte Transferversuchen (Fütterungsversuche) (Weber et al., 2014; Ungemach, 2013; Gude, 2008; Kjestra et al., 2007; De Vries et al., 2006).

In einer intensiven Diskussion ist derzeit das Transferverhalten der perfluorierten Kohlenstoffe (Blaine et al., 2014), insbesondere der kurzkettigen Verbindungen. Neuere Untersuchungen liegen dazu insbesondere von Krippner et al. (2014) und Trenkle (2015) vor.

Eine besondere Form halogener Verbindungen können auch Antibiotika aus Bodenbakterien sein. So konnte z. B. gezeigt werden, dass unter Umständen Chloramphenicolvorkommen in Feldfrüchten auch bodenbürtiger pilzlicher Herkunft sein können und nicht nur aus der illegalen Anwendung des Antibiotikums herrühren (Berendsen et al., 2015).

Global Climatic Change

Eine Reihe von Arbeitsgruppen beschäftigt sich inzwischen auch mit den Auswirkungen des Klimawandels auf das Verhalten unerwünschter Stoffe in landwirtschaftlich genutzten Böden und den Schadstofftransfer in der Nahrungskette. In einer zusammenfassenden Arbeit des Umweltbundesamtes (2011) wird herausgestellt dass ein Klimawandel unter anderem Veränderungen der Gehalte und Vorräte an organischer Bodensubstanz, Veränderungen des Bodenwasserhaushaltes, eine zunehmende Erosionsgefährdung, ein höheres Risiko von Bodenverdichtungen und Veränderungen der Biodiversität im Boden mit sich bringt. Der Gehalt an organischer Substanz beeinflusst entscheidend

die Mobilität pflanzenverfügbarer Schadstoffe im Boden. Horn (2014) hat vor kurzen drauf verwiesen, dass eine verstärkte Schrumpfung von Boddenaggregaten eine veränderte Zugänglichkeit von Austauschflächen und damit veränderte Speicherkapazität für Schadstoff nach sich zieht.

Der Klimawandel wird aber aufgrund eines verstärkten Auftretens von Zoonosen und anderen Schaderregern zu Veränderungen im Auftreten von Mykotoxinen, zu Änderungen im Einsatz von Veterinärpharmaka und/oder Pestiziden führen. Einen Überblick hierfür geben unter anderen Studien der FAO (2008) und Tirado et al. (2010).

Rechtssetzung

Betrachtet man die Rechtsetzung entlang der Futter- und Nahrungsmittelproduktion anhand ausgewählter unerwünschter Stoffe (Tab. 3) fällt auf dass für einige Stoffe nur Grenz- oder Höchstwerte nur in einigen Teilbereichen bestehen. Die Gründe hierfür sind vielfältig, sei es dass bislang nur unzureichende Daten vorliegen oder das Schutzziel Gesundheit von Mensch und Tier nicht an oberster Priorität steht.

Tab.3: Rechtliche Regelungen (Höchst- und Grenzwerte) in verschiedenen Bereichen der Nahrungskette

	As	Pb	Cd	Cr	Hg	Th	Ni	Sn	PCB6	PCB Dioxine	PFC
Boden	X	X	X		X	X	X		X		
Düngemittel	X	X	X	X ²	X	X	X			X	X
Futtermittel	X	X	X		X				X	X	
Lebensmittel	X ¹	X	X		X ⁴			X ³		x	

Reisprodukte (anorg. As)

Cr gesamt und Cr VI

Sn anorganisch

EFSA TWI Hg gesamt und Hg organisch

Die europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat in den letzten Jahren eine Reihe von wissenschaftlichen Stellungnahmen veröffentlicht mit unterschiedlichen Schwerpunkten. So stand zum Teil das Futtermittel, zum Teil das Lebensmittel und/oder das Wasser im Vordergrund. Des Weiteren ist bemerkenswert dass sich die Stellungnahmen nur auf bestimmte Spezies ein-

zelner Elemente (z. B. As, Hg) konzentrierte oder aus strukturähnlichen Verbindungen nur einzelne Leitsubstanzen ausgewählt wurden (z. B. PFOA und PFOS aus den PFC). Die Gründe sind unterschiedlich, sei es dass diese Bindungsform besonders relevant für die Gesundheit sind oder für die anderen Substanzen noch keine ausreichenden Kenntnisse vorliegen.

Festzuhalten ist, dass die festgelegten Grenz- oder Höchstwerte keineswegs unmittelbare toxikologische Bedeutung haben, sondern in der Regel deutlich tiefer angesiedelt sind. Die Motive sind dabei höchst unterschiedlich. So spielen bei der Herleitung zum Teil Aspekte der analytischen, technischen oder wirtschaftlichen Machbarkeit eine Rolle. In vielen Fällen beruhen die Werte auch auf der Häufigkeitsverteilung der ermittelten Werte aus Monitoringstudien, in dem ein bestimmtes Perzentil als Grenzwert festgelegt wurde. Problematisch ist die Situation wenn für einen Stoff im Rahmen der einzelnen Bereiche der Nahrungskette unterschiedliche Ableitungskriterien herangezogen wurden und keine Orientierung an den jeweiligen Transferraten z. B. Boden-Bewuchs-Tier-Mensch standfand.

Literaturangaben

- Berendsen, B., Zuidema, T., de Jong, J., 2015: The natural occurrence of chloramphenicol in crops. RIKILT Report 2015.009.
- BfR, 2009 BfR-Statusseminar: Cadmium – Neue Herausforderungen für die Lebensmittelsicherheit (3. 7.2009).
- Blaine, A.C., Rich, C.D., Sedlacko, E.M., Hundal, L.S., Kumar, K., Lau, C., Mills, M.A., Harris, K.M., Higgins, C.P., 2014: Perfluoroalkyl acid distribution in various plant compartments of edible crops grown in biosolids-amended soils. *Environ.Sci. Technol.* 48,7858-7865.
- Chaney, R., 2012: Food safety issues for mineral and organic fertilizers. *Adv. Agronomy* 117,51-116.
- Chitescu, C.L., Nicolau, A.I., Römkens, P., van der Fels-Klerx, H.J., 2014: Quantitative modelling to estimate the transfer of pharmaceuticals through the food production system. *J. Environm. Sci. Health Part B.* 49, 457-467.
- Czub, G., Mc Lachlan, M.S., 2004: A food chain model to predict the levels of lipophilic organic contaminants in humans. *Environm. Toxicol. Chem.* 23, 2356-2366.

- De Vries, M., Kwakkel, R. P., Kijlstra, A., 2006: Dioxins in organic eggs. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 54, 207-221.
- EFSA, 2009: Scientific opinion: Cadmium in food. Scientific opinion of the panel on contaminants in the food chain. *EFSA Journal* 980, 1-139.
- FAO, 2008: Climate change: Implication for food safety. Rome.
- Fierens, T., Cornelis, C., Standaert, A., Sioen, I., De Henauw, S., van Holderbeke, M., 2014: Modelling the environmental transfer of phthalates and polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans into agricultural products: The EN-forc model. *Environm. Res.* 133, 282-293.
- Gall, J.E., Boyd, R.S., Rajakurana, N., 2015: Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environm. Monit. Assess.* 187, 201-222.
- Gribble, G.W., 2004: Natural organohalogenes. *Science Dossier, EURO Chlor.*
- Gude, K., 2008: Untersuchungen zur Minimierung von Risiken für die Lebensmittelsicherheit bei Nutzung dioxinbelasteter Grünlandflächen für die Rind- und Schaffleischproduktion. Dissertation, Tierärztl. Hochschule, Hannover.
- Horn, R., 2014: Kann durch gezielte Düngung die Wasserspeicherung und Bodenstabilität auch in Zeiten der Klimawandels aufrecht erhalten werden? In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hrgr.): Tagungsbericht: Wandel der Produktionsbedingungen – was ändert sich für die Düngung. S. 35-45.
- Hülster, A., 1994: Transfer von polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und Dibenzofuranen (PCDD/PCDF) aus unterschiedlich stark belasteten Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen, Dissertation, Universität Hohenheim.
- Hülster, A., Müller, J.F., Marschner, H., 1994: Soil-plant transfer of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans to vegetables of the cucumber family (curcubitaceae). *Environm. Sci. Technol.* 28, 1110-1115.
- JEFCA, 2011: Cadmium. Safety evaluation of certain food additives and contaminants. *WHO Food Additives Series* 64, 305-390.
- Kijlstra, A., Traag, W.A., Hoogenboom, A.P., 2007: Effect of flock size on dioxin levels in eggs from chickens kept outside. *Poultry Sci.* 86, 2042-2048.
- Krippner, J., Brunn, H., Falk, S., Georgii, S., Schubert, S., Stahl, T., 2014: Effects of the chain length and pH on the uptake and distribution of perfluoroalkyl substances in maize (*Zea mays*). *Chemosphere* 94, 85-90.

- Kowalczyk, J., 2014: Übergang von Perfluorooctansäure (PFOA) und Perfluorooctansulfonsäure (PFOS) aus kontaminierten Futtermitteln in ausgewählte Gewebe des Mastschweins und der Legehennen. Dissertation. Humboldt-Universität, Berlin.
- Kwon, B.G., Lim, H.-J., Na, S.-H., Choi, B.I., Shim, D.-S., Chung, S.-Y., 2014: Biodegradation of perfluorooctanesulfonate (PFOS) as an emerging contaminant. *Chemosphere* 109, 221-225. (s.auch Avendano, S.M., Zhong, G., Lin, J., 2015: Letter to the editor. *Chemosphere* 138, 1037-1038; Kwon, B.G. 2015: Reply *Chemosphere* 138, 1039-1044).
- LABO, 2003: Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. überarb. und erg. Auflage.
- NN, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundesbodenschutzgesetz-BBodSchG), Bundesgesetzblatt I, 502.
- NN, 2012: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung – DüMV) BGBII, 2482-2596.
- NN, 2014: Verordnung (EU) Nr. 488/2014 der Kommission vom 12. Mai 2014 zur Veränderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Cadmium in Lebensmitteln. *Amtsbl. EU* L138, 75-79.
- Novak, J., Ro, K., Ok, Y.S., Sigua, G., Spokas, K., Uchimiya, S., Bolan, N., 2016: Biochars multifunctional role as a novel technology in the agricultural, environmental, and industrial sectors. *Chemosphere*, 142, 1-3.
- Peccia, J., Westerhoff, P., 2015: We should expect more out of our sewage sludge. *Environm. Sci. Technol.* 49, 8271-8276.
- Pepper, L.L., Gebra, C.P., Newby, D.T., Rice, C.W., 2009: Soil: A public health threat or savior? *Crit. Rev. Environm. Sci. Technol.* 39, 416-432.
- Renn, O., 2014: Das Risikoparadox. Warum wir uns vor dem Falschen fürchten, Fischers Taschenbuch, 2. Aufl.
- Resch, R., Frank, P., Stögmüller, G., Tiefenthaller, F., Peratoner, G., Adler, A., Gasteiner, J., Pötsch, E.M., 2015: Futtermittelschmutzung mit Erde – Ursachen, Erkennung und Auswirkungen. Österreich. Arbeitsgem. Grünland u. Futterbau.
- Scientific Committee on Health and Environmental Risks, 2015: Opinion on new conclusions regarding future trends of cadmium accumulation in EU arable soils.
- Sinkkonen, S., Paasivirta, J., 2000: Degradation half-times of PCDDs, PCDFs and PCBs for environmental fate modeling. *Chemosphere* 40, 943-949.

- Six, L., Smolders, E., 2014: Future trends in soil cadmium concentration under current cadmium fluxes to European agricultural soils. *Sci. Total Environ.* 485-486, 319-328.
- Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, 2015: Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden, Nossen.
- Suttle, N.F., 2010: Mineral nutrition of livestock, 4th Ed, CABI Int., Wallingford.
- Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Frank, J.M., 2010: Climate change and food safety: A review. *Food Res. Int.* 43, 1745-1765.
- Trenkle, A., 2015: Übergang von poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) vom Boden in Lebens- und Futtermittel. 18.6. 2015 Karlsruher Futtermitteltag.
- Umweltbundesamt, 2011: Boden. Themenblatt: Anpassung an den Klimawandel.
- Umweltbundesamt, 2015a: Daten>Luftbelastung>Schadstoffemissionen in Deutschland (www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung; zuletzt abgerufen 16.11.2015).
- Umweltbundesamt, 2015b: Umweltbelastende Stoffeinträge aus der Landwirtschaft. Möglichkeiten und Maßnahmen zu ihrer Minderung in der konventionellen Landwirtschaft und im ökologischen Landbau.
- Ungemach, L.C., 2013: Die Dioxinbelastung von Schlachtrindern aus einer Färsenvornutzung auf exponiertem Grünland nach einer Ausmast mit unbelastetem Futter. Dissertation, Tierärztl. Hochschule, Hannover.
- Utermann, J., Fuchs, M., Düwel, O., 2008: Flächenrepräsentative Hintergrundwerte für Arsen, Antimon, Beryllium, Molybdän, Kobalt, Selen, Thallium, Uran und Vanadium in Böden Deutschlands aus länderübergreifender Sicht. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- Van Asselt, E.D., Kowalczyk, J., van Eijkeren, J.C.H., Zeilmaker, M.J., Ehlers, S., Fürst, P., Lahrssen-Wiederholt, van der Fels-Klerx, 2013: Transfer of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) from contaminated feed to dairy milk. *Food Chem.* 141, 1489-1495.
- Van der Fels-Klerx, Römkens, P., Franz, E., van Raamsdonk, L., 2011: Modeling cadmium in the feed chain and cattle organs. *Biotechnol Agrin. Soc. Environ.* 15 (S1), 53-59.
- Vetter, W., 2006: Marine halogenated natural products of environmental relevance. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 188, 1-57.

- Wang, C., Wang, F., Wang, F., Bian, Y., Yang, X., Jinag, X., 2010: PAHs biodegradation potential of indigenous consortia from agricultural soil and contaminated soil in two-liquid-phase bioreactor (TLPB). *J. Hazardous Mat.* 176, 41-475.
- Weber, R., Albrecht, M., Ballschmiter, K., Berger, J., Bruns-Weller, E., Kamphues, J., Körner, W., Malisch, R., Nöltner, T., Schenkel, H., Severin, K., Vossler, C., Wahl, K., 2014: Safe food production from beef – minimizing TEQ-levels in meat by tracking PCB sources. *Organohalogen Compounds* 76, 815-818.
- Zhang, M., Ok, Y.S., 2014: Biochar soil amendment for sustainable agriculture with carbon and contaminant sequestration. *Carbon Management* 5, 255-257.

UN-Jahr des Bodens – Situation bei Flächenschutz und Bodenfruchtbarkeit in Deutschland

S. Pingen

Leiter des Fachbereichs Umwelt/Ländlicher Raum des Deutschen Bauernverbandes

Das Jahr 2015 wurde von den Vereinten Nationen zum Internationalen Jahr der Böden erklärt. Ziel der Vereinten Nationen ist es, mit dem Jahr der Böden die Aufmerksamkeit einerseits auf Probleme für das natürliche Ökosystem Boden zu lenken. Andererseits soll die Bedeutung fruchtbarer Böden als wichtigste Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft hervorgehoben werden. Böden bilden weltweit die Grundlage für über 90 % der produzierten Nahrung. In Anbetracht dessen führt der Schutz der Böden eher ein Schattendasein im Vergleich zum Schutz von Klima und Artenvielfalt. In vielen Regionen der Welt ist die Fruchtbarkeit der Böden unter anderem durch Überweidung, Erosion, Wüstenbildung oder Versalzung gefährdet. Demgegenüber liegt in Deutschland die größte Herausforderung für den Bodenschutz in der Reduktion des „Flächenfraßes“, also des Flächenverbrauchs durch Versiegelung, Überbauung und infrastrukturelle Maßnahmen.

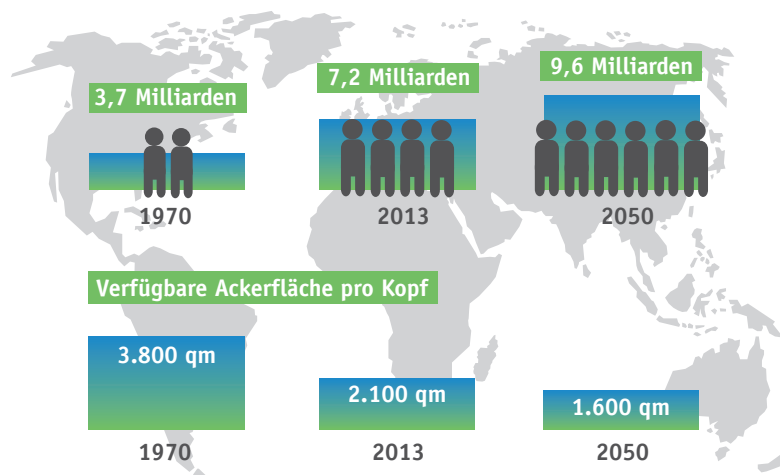
Weltweiter Bedarf an Biomasse steigt

Landwirtschaftliche Böden sind Lebensgrundlage aller Menschen und Existenzgrundlage für die Landwirtschaft. Der Schutz der Böden, der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit und damit der nachhaltigen Nutzbarkeit sind Kernanliegen der Landwirte. Während der Bedarf an landwirtschaftlichen Produkten für eine bis 2050 auf 9 Milliarden wachsende Weltbevölkerung stetig zunimmt, gehen weltweit landwirtschaftliche Nutzflächen verloren. Standen in den 1970er-Jahren noch ca. 3.800 qm Ackerfläche pro Kopf für die Produktion von Nahrungs- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen zur Verfügung, so werden es voraussichtlich 2050 nur noch 1.600 qm sein. Unabhängig davon steigt nicht nur der Bedarf an Nahrungs- und Futtermitteln, sondern auch an nachwachsenden Rohstoffen. Zudem führen auch die Veränderungen der Verzehrsgewohnheiten in Entwicklungs- und Schwellenländern in Form eines steigenden Konsums an tierischen Produkten zu einem höheren Bedarf an landwirtschaftlichen Produkten. In Anbetracht einer nicht vermehrbaren Ressource Boden und

vor dem Hintergrund rückläufiger verfügbarer Ackerflächen pro Kopf ist daher eine hochproduktive und effiziente Landbewirtschaftung dringend geboten. Die Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen FAO fordert in diesem Sinne eine nachhaltige Intensivierung als Strategie für eine nachhaltige Entwicklung in der Landwirtschaft, die nach dem Prinzip „mit weniger mehr erzeugen“ grünes Wachstum generiert.

Welternährung

Weltweit schrumpft die Ackerfläche pro Kopf



Quellen: FAO, DBV-Berechnungen

© Situationsbericht 2015/Gr61-6

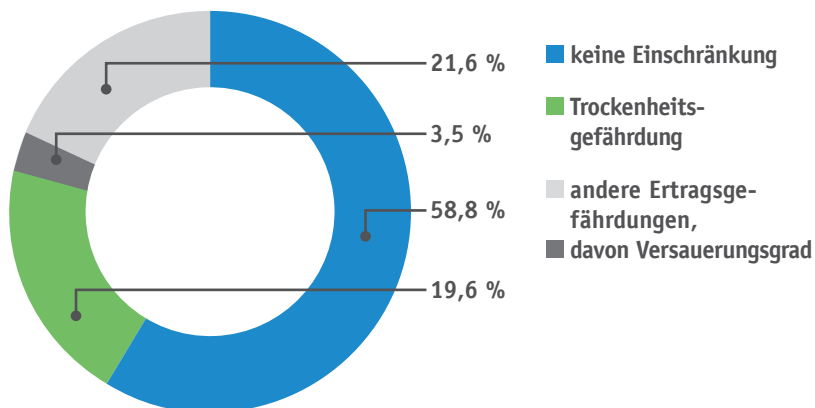
Abb. 1: Weltweit schrumpft die Ackerfläche pro Kopf. Die Weltbevölkerung wird bis 2050 auf über 9 Milliarden Menschen anwachsen.

Deutschland hat fruchtbare Böden

Eine Untersuchung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, das Müncheberger soil quality rating (SQR), stellt eine bundesweit einheitliche und international vergleichbare Karte zur Bodengüte der Ackerböden in Deutschland dar. Dargestellt wird die potentielle Ertragsfähigkeit der deutschen Ackerböden. Insgesamt stellen sich die Ergebnisse des Soil Quality Rating für Deutschland positiv dar: Auf einer Skala von 0 bis 100 weist der errechnete (flächengewichtete) bundesweite Mittelwert mit 64 Punkten eine überdurchschnittliche potentielle Fruchtbarkeit der deutschen Böden aus – besonders für Getreide. Auf 25 Prozent der Flächen herrscht sogar ein hohes

oder sehr hohes Ertragspotential. Hierbei handelt es sich zwar um eine Darstellung des potentiellen Ertragsniveaus und nicht um eine statistisch abgesicherte Erhebung der tatsächlichen Erträge. Bezüglich eines statistisch abgesicherten Monitoring besteht in Deutschland jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf.

Potentielle Fruchtbarkeitseinschränkungen der deutschen Böden



Quelle: soil quality rating

Abb. 2: Das Müncheberger soil quality rating weist für Deutschland eine überdurchschnittliche potentielle Fruchtbarkeit der deutschen Böden aus.

Nach dem Boden-Qualitäts-Ranking besteht auf knapp 60 Prozent der Böden überhaupt keine Einschränkung der Fruchtbarkeit. Sofern eine Einschränkung der Fruchtbarkeit besteht, so wird das Ertragspotential vor allem durch Trockenheitsgefährdung und durch fehlende Gründigkeit der Böden begrenzt (Abb. 2). Knapp 20 Prozent der Flächen leiden unter Trockenheitsgefährdung, zumeist aufgrund natürlicher Gegebenheiten. 21,6 Prozent der Flächen werden durch anderweitige Faktoren eingeschränkt. Fakt ist aber, dass Deutschland über produktive, gute Böden verfügt und in Verbindung mit einem gemäßigten Klima als ein bevorzugter Produktionsstandort im weltweiten Vergleich anzusehen ist. Hierin liegt auch eine besondere Verantwortung, das hohe Ertragspotential landwirtschaftlicher Böden in Deutschland zu nutzen und nicht auf Produktivität zu verzichten.

Situationsbericht Boden belegt gute Qualität der Böden

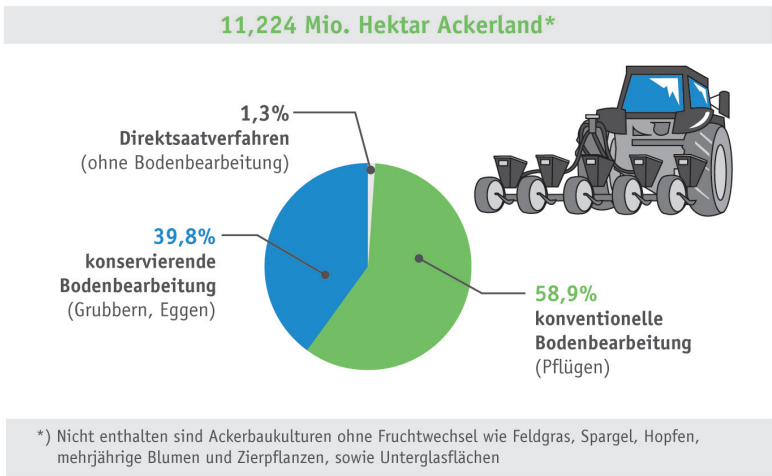
Zum Auftakt des UN-Jahres der Böden hat der Deutsche Bauernverband den Situationsbericht Boden veröffentlicht. Der Bericht mit dem Titel „Moderne Landwirtschaft – Gesunde Böden“ stellt Daten und Fakten über Böden in Deutschland, deren Zustand und praktische Maßnahmen der Landwirte zum Bodenschutz dar und weist auf die internationale Verantwortung der landwirtschaftlichen Nutzung in Deutschland hin. Landwirtschaftlich genutzte Böden sind in Deutschland heute fruchtbarer als noch vor einigen Jahrzehnten. Die auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Landwirtschaft in Deutschland sorgt für eine hohe Ertragskraft und Produktivität der Böden. Für die Landwirte sind Bodenschutz und Bodenqualität existenzielle Anliegen. Die Landwirte sind in der Lage, mit nachhaltigen Bewirtschaftungsmethoden und Bearbeitungstechniken den Humusgehalt abzusichern und Bodenverdichtungen als auch Erosion zu vermeiden.

Die Ertragshöhe der Böden, der Humusgehalt sowie eine Reihe von weiteren Indikatoren weisen auf eine gute Qualität der Böden in Deutschland hin. Auch tragen Landwirte auf vielfältige Weise zum Erhalt und zur Verbesserung der Bodenqualität bei, indem sie etwa neue Technik einsetzen oder auf bodenschonendere Bearbeitungsverfahren oder nachhaltige Düngung setzen. Eine pflanzen- und standortgerechte Düngung hat die Produktivität und die nachhaltige Nutzbarkeit der Böden in Deutschland in den vergangenen Jahrzehnten verbessert. Anders als beispielsweise im Gewässerschutz liegt jedoch kein repräsentatives Monitoring für den Zustand des Bodens in Deutschland oder der EU vor. So existieren zu bestimmten negativen Erscheinungen des Bodenzustandes (Erosion, Bodenverdichtung, etc.) vor allem theoretische Gefährdungsabschätzungen. Es fehlen jedoch repräsentative Daten über den tatsächlichen Zustand der Böden. Unabhängig davon können Gefahrenabschätzungen für den Landwirt nützlich sein, um noch genauer Maßnahmen ergreifen zu können, um die Qualität des Bodens zu sichern und zu verbessern.

Ackerböden haben im Mittel gute Humusversorgung

Auch hinsichtlich der Gefährdungen der Qualität landwirtschaftlicher Böden ist in Deutschland festzustellen, dass potentielle Probleme wie Verdichtung, Erosion und Verlust organischer Substanz nur von regionaler Bedeutung sind.

Bodenbearbeitungsverfahren auf Ackerland 2010

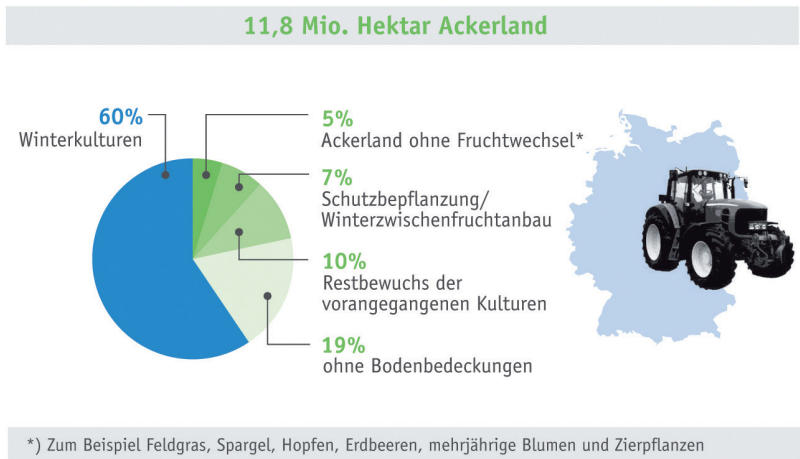


Quelle: Statistisches Bundesamt, Landwirtschaftszählung 2010 ©Situationsbericht 2015/Gr22-3

Abb.3: Bodenbearbeitungsverfahren auf Ackerland.

Bodenbedeckung und Erosionsschutz

auf Ackerflächen (Oktober 2009 bis Februar 2010)



Quelle: Statistisches Bundesamt, Landwirtschaftszählung 2010 ©Situationsbericht 2015/Gr22-4

Abb. 4: Maßnahmen der Landwirte im Bereich Bodenbedeckung und Schutz vor Erosion.

Dies bestätigen ebenfalls die Karten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe über potentielle Gefährdungen der Böden in Deutschland. Bundesweit weisen hiernach rund ein Drittel der Ackerfläche eine mittlere bis sehr hohe Erosionsgefährdung durch Wasser auf, bei Winderosion sind lediglich 10 % der Ackerböden potentiell gefährdet. Um zu vermeiden, dass aus den potentiellen Gefährdungen tatsächliche Bodenschädigungen entstehen, setzen die Betriebe viele ackerbauliche und technische Maßnahmen um.

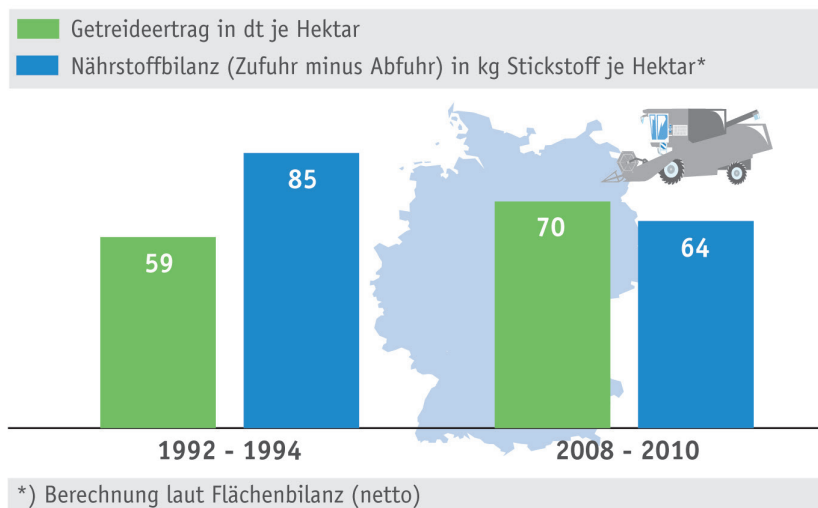
Unter anderem Untersuchungen der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung kommen zu dem Schluss, dass nach aktuellen Untersuchungen der Humusstatus der deutschen Böden als gut bis sehr gut einzuschätzen ist. Das zeigen sowohl die Corg - Bestimmungen in Dauerfeldversuchen als auch unterschiedliche Ergebnisse von deutschlandweiten Humusbilanzierungen in landwirtschaftlichen Betrieben. Grund hierfür sind seit langem erprobte und bewährte Verfahren der Landwirtschaft zum Humusaufbau, mit denen die optimale Humusversorgung der Ackerböden nachweislich gesichert wurde und gesichert wird. Hierzu zählen unter anderem geeignete Fruchtfolgerotationen, der Einsatz von Wirtschaftsdüngern, Stroh und Kompost sowie der Zwischenfruchtanbau. Humusbilanzierungen in deutschen Betrieben zeigen, dass bewirtschaftungsbedingte Humusverluste in der Regel ersetzt werden. Darüber hinaus kommen Ebertseder et al. (2010) nach Auswertung von über 40.000 Untersuchungen von 1996 bis 2008 zu der Schlussfolgerung, dass sich die Humussituation in den betrachteten 13 Jahren nicht verschlechtert hat. Prof. Körschens verweist zudem darauf, dass die Humusversorgung der Ackerböden in Deutschland nach Berechnungen von Humusbilanzen nach dem VDLUFA-Standpunkt „Humusbilanzierung“ (Breitschuh und Gernand, 2012) im Mittel gut, teilweise auch sehr gut ist.

Gestiegene Leistung mit weniger Umweltauswirkungen

Die Landwirtschaft in Deutschland hat in den letzten Jahrzehnten enorme Produktionsfortschritte erzielt. Diese Ertragsfortschritte der zurückliegenden Jahre sind bei gleichzeitiger Effizienzverbesserung im Düngemittel- und Pflanzenschutz eingesetzt worden. Das geht nur mit gesunden Böden in gutem Zustand. Noch in den 1950er Jahren sind knapp 3 Tonnen Weizen von einem Hektar in Deutschland geerntet worden. Heute wird fast dreimal soviel geerntet. Neben leistungsfähigeren Sorten und optimierter Bestandsführung ist die verbesserte Bodenqualität die Ursache für diese Ertrags- und Qualitäts-

fortschritte. Allein zwischen 1990 und 2014 ist es den Landwirten gelungen, durch verbesserte Pflanzenzüchtung, neuere Technik und exakte Düngung die Ertragsleistung von Getreide um 37 Prozent, von Kartoffeln um 73 Prozent, von Ölfrüchten um 50 Prozent und von Zuckerrüben um 48 Prozent zu steigern. So können immer mehr Menschen von einem Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche ernährt werden. 10 Personen, die ein Landwirt 1949 ernähren konnte, stehen 2012/13 rund 144 Personen gegenüber. Bei Weizen konnte im 20. Jahrhundert der Ertrag je Hektar verfünffacht werden. Nur hierdurch konnten trotz abnehmender Flächen mehr Erträge erwirtschaftet werden. Trotz des deutlichen Anstiegs der Erträge pro Hektar haben diese Leistungssteigerungen nicht zu größeren Umweltauswirkungen geführt. Im Gegenteil, sie wurden mit einer immer schonenderen Produktionsweise realisiert. So sanken die Nährstoffüberschüsse bei gleichzeitig steigendem Flächenertrag. Dies entspricht dem Auftrag der Agenda 21, dem Programm der Vereinten Nationen für eine nachhaltige Landwirtschaft, die Produktivität auf vorhandenen Flächen zu steigern, aber gleichzeitig etwaige Umweltauswirkungen zu reduzieren. Diese Form der Ökoeffizienz wird auch der Schlüssel für die wachsenden Herausforderungen für die Landwirtschaft sein.

Öko-Effizienz in der deutschen Landwirtschaft



Quelle: Deutscher Bauernverband

©Situationsbericht 2015/Gr22-2

Abb. 5: Ökoeffizienz in der Landwirtschaft, ein Vergleich der Entwicklung der Getreideerträge in dt pro Hektar zu den Nährstoffbilanzüberschüssen in kg Stickstoff je Hektar.

Flächenverbrauch ist größte Gefährdung für Böden in Deutschland

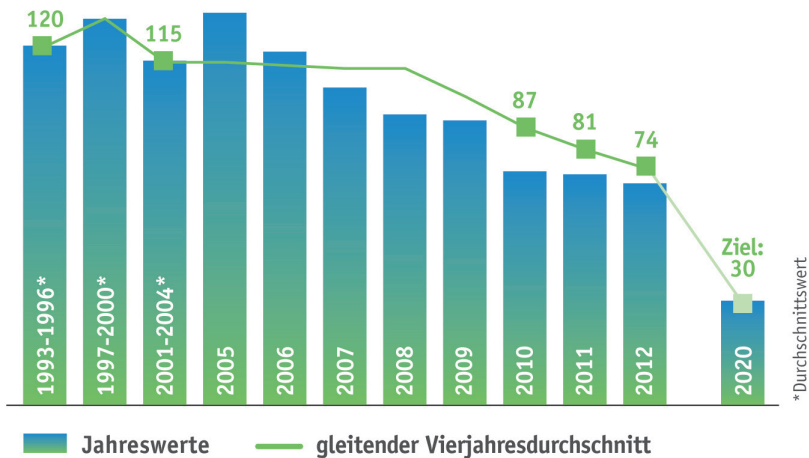
In Deutschland wurden im Jahr 2012 von jedem Bürger im Durchschnitt 2.230 qm landwirtschaftliche Fläche genutzt. Für Äcker stehen nur rund 1.500 qm für jeden Bürger zur Verfügung. Rund 600 qm pro Bürger fallen auf das Grünland, welches nur über Wiederkäuer und die Nutzung tierischer Produkte in der Nutzung gehalten werden kann. Genauso viel Fläche wie das Grünland nehmen heute bereits Siedlungs- und Verkehrsflächen in Anspruch – Tendenz weiter steigend. Gegenüber rund 130 ha täglicher Inanspruchnahme noch in den 1990er – Jahren ist der tägliche Flächenverbrauch zwar rückläufig. Heute gehen aber immer noch 73 ha pro Tag für Siedlungen und Verkehr verloren. Dennoch sind die Schritte zu gering, um im Jahr 2020 das 30-Hektar-Ziel noch erreichen zu können. Trotz einer schrumpfenden Bevölkerung werden Flächen in einem erheblichen Ausmaß versiegelt. Während es gelungen ist, den Energieverbrauch vom Wirtschaftswachstum zu entkoppeln, ist beim Flächenverbrauch das Gegenteil der Fall: Selbst in Regionen mit Bevölkerungsrückgang werden viele Flächen neu versiegelt. Zusätzlich fallen auch durch den Naturschutz landwirtschaftliche Flächen aus der Produktion oder werden stark in der Bewirtschaftung eingeschränkt. In Anbetracht der Tatsache, dass die Erreichung des 30 Hektar-Ziel im Jahr 2020 nicht mehr erreichbar sein wird, sind Bund und Länder gefordert, den Schutz landwirtschaftlicher Flächen und die Reduzierung des Flächenverbrauchs wieder auf die politische Agenda zu setzen.

Dimension des Flächenverbrauchs gewaltig

Seit 1992 sind rund 865.000 ha landwirtschaftliche Flächen in Deutschland verloren gegangen, über 790.000 ha wurden alleine für Siedlungen und Verkehr in Anspruch genommen. Damit gingen landwirtschaftliche Nutzflächen von der Größenordnung der Nutzfläche von Rheinland-Pfalz und dem Saarland dauerhaft verloren. Durch die geringere Anbaufläche in Deutschland fehlt rechnerisch alle 10 Jahre eine komplette Getreideernte. Und um die 73 Hektar pro Tag noch greifbarer zu machen, lohnt die Umrechnung in den Brotbedarf eines durchschnittlichen Bürgers in Deutschland. Auf den 73 Hektar, die täglich in Anspruch genommen werden, könnte soviel Weizen produziert werden, um den jährlichen Bedarf von 8.000 - 9.000 Menschen zu decken (bei Durchschnittsertrag von 7,6 t Getreide pro Hektar, 9.500 Broten a 1 kg pro Hektar und einem Jahresdurchschnittsbedarf an Brot in Höhe von 84 kg). Jährlich geht dadurch eine Fläche verloren, auf der der Brot-Jahresverbrauch von über 3 Millionen Menschen

Täglicher Flächenverbrauch in Deutschland

Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in Hektar je Tag



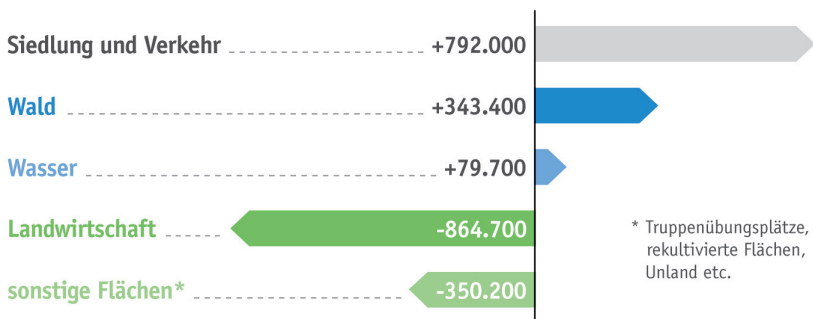
Quelle: Statistisches Bundesamt

© Situationsbericht 2015-Gr21-3

Abb. 6: Täglicher Flächenverbrauch durch Siedlungs- und Verkehrsmaßnahmen in Deutschland.

Flächenverluste der Landwirtschaft

Flächenveränderung in Hektar, Deutschland 1992 - 2012



Quelle: Statistisches Bundesamt

© Situationsbericht 2015-Gr21-2

Abb. 7: Flächenverluste in der Landwirtschaft in der Zeit von 1992-2012.

erzeugt werden könnte. Bei einem täglichen Flächenverbrauch von 73 Hektar geht zudem die Fläche von knapp neun durchschnittlichen landwirtschaftlichen Betrieben verloren. Oder anders ausgedrückt, die Fläche von 104 Fußballfeldern wird täglich in Anspruch genommen. Jeden Tag wird die Fläche für mehr als 1.600 Einfamilienhaus-Grundstücke (bei 450 Quadratmeter je Grundstück) neu als Siedlungs- und Verkehrsfläche in Anspruch genommen.

Landwirtschaft fordert seit Jahren „Stoppt Landfraß“

Seit mehreren Jahren wird von Seiten der Landwirtschaft der Flächenverbrauch durch Versiegelung, Überbauung und infrastrukturelle Maßnahmen kritisiert und Maßnahmen zum Schutz landwirtschaftlicher Böden eingefordert. Im Jahr 2006 hat der Deutsche Bauernverband gemeinsam mit Umweltverbänden, wie dem NABU, dem DVL und dem BUND, mit dem Bundesamt für Naturschutz und dem Umweltbundesamt in einer gemeinsamen Broschüre unter der Überschrift „Entsiegelung bei Neuversiegelung – Eingriffsregelung optimiert anwenden!“ gemeinsame Forderungen zur Verringerung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr aufgestellt. Zudem fordert der Berufsstand seit 2011 mit einer Initiative für ein Gesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Flächen die Änderung von diversen Gesetzen zur Stärkung des Gebotes der Flächenschonung. Schließlich war die Kampagne „Stoppt Landfraß“ in Medien und Politik präsent und hat mit der Petition des Deutschen Bauernverbandes an den Deutschen Bundestag zum Flächenschutz ein starkes Signal an die Politik für einen verbesserten Flächenschutz gerichtet. Über 212.000 Bürgerinnen und Bürger forderten mit ihrer Unterschrift gesetzliche Maßnahmen zur Senkung des Flächenverbrauchs und zum Schutz landwirtschaftlicher Flächen. Hiernach muss der Erhalt landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland und weltweit Priorität erlangen. Böden müssen für die landwirtschaftliche Produktion geschützt, effizient zur Erfüllung der vielfältigen Aufgaben genutzt und Nutzungskonkurrenzen vermieden werden. Der Deutsche Bauernverband spricht sich dafür aus, den Verbrauch für außerlandwirtschaftliche Zwecke einzudämmen und das Flächenrecycling sowie die Entsiegelung zu fördern. Die Innenentwicklung von Kommunen muss Vorrang vor dem Bauen „auf der Grünen Wiese“ haben.

Thema Flächenschutz ist angekommen – Umsetzung bleibt schwierig

Politik, Medien und Öffentlichkeit unterstützen grundsätzlich die Forderungen der Landwirtschaft, in der Sache kommt das Thema Reduzierung des Flächen-

verbrauchs aber nur schwer voran. Auch die Regierungsfractionen der Großen Koalition haben das Thema Flächenschutz im Koalitionsvertrag festgehalten. Das 30-Hektar-Ziel aus der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie, nach dem bis 2020 die Flächeninanspruchnahme auf höchstens 30 Hektar pro Tag sinken soll, wird auch von der Großen Koalition unterstützt. Zentrales Projekt der Großen Koalition ist die Durchführung eines Modellversuchs mit Flächenzertifikaten. Das 30 ha-Ziel soll hierbei mit Hilfe eines ökonomischen Handelsinstruments umgesetzt werden. Der DBV unterstützt zwar neben der Notwendigkeit gesetzlicher Anpassungen im Sinne des Flächenschutzes grundsätzlich auch die Erprobung eines ökonomischen Instruments zur Reduzierung des Flächenverbrauchs. Jedoch sollte der Flächenverbrauch nicht nur nach ökonomischen Maßstäben betrachtet werden. Ansonsten würden Metropolregionen unvermindert Flächen in Anspruch nehmen und Regionen mit weniger Kapitalkraft die Flächenzertifikate abkaufen. Zur Sicherung der Entwicklungsmöglichkeiten für den ländlichen Raum müssen daher Leitplanken geschaffen werden.

Umweltministerium auch für Baugesetz zuständig

Einen Impuls für den Schutz landwirtschaftlicher Flächen vor der Inanspruchnahme durch Siedlungen und Verkehr haben sich die Landwirte von dem geänderten Zuschnitt des Bundesumweltministeriums versprochen. Seit der Bundestagswahl ist das BMUB auch für das Thema Bauen zuständig. Somit ist das BMUB sowohl für das umweltpolitische Thema Flächenverbrauch als auch das Baugesetzbuch für alle Baumaßnahmen im Innenbereich selbst zuständig. Der von Bundesumweltministerin geplante Aktionsplan Flächenschutz muss aus Sicht der Landwirtschaft daher eine Neubelebung der Flächendebatte bringen. Zwar konnte mit der letzten Novelle des Baugesetzbuches in der letzten Legislaturperiode eine gewisse Stärkung der Innenentwicklung von Gemeinden erreicht werden. Gemeinden müssen nun innerörtliche Potentiale zur Innenentwicklung prüfen. Nicht umgesetzt wurde aber, dass Kommunen erst dann das Bauen auf der grünen Wiese möglich sein soll, wenn alle innerörtlichen Potentiale ausgeschöpft sind. Hierfür sollten verpflichtend Brachflächen- und Baulückenkataster geführt werden. Im Rahmen einer weiteren Novelle des Baugesetzbuches sollte dies umgesetzt werden, um dem Thema Innenentwicklung, Brachflächenrecycling und Baulückenschließung mehr Nachdruck zu verleihen. Nach wie vor fordert der Deutsche Bauernverband ferner die Einführung eines gesetzlich verankerten Gebotes zum Erhalt landwirtschaftlicher Flächen. Ebenso wie beim Wald soll auch die landwirtschaftliche Nutzfläche aufgrund der

vielfältigen Funktionen erhalten werden und dieses Ziel gesetzlich verankert werden.

Virtuelle Landnutzung – ein Problem oder Ausdruck globaler Arbeitsteilung?

Während das Internationale Jahr der Böden der geeignete Anlass gewesen wäre, die Debatte um die Reduzierung des Flächenverbrauchs neu aufzunehmen, wurde Anfang des Jahres sowohl vom Bundesumweltministerium als auch von Umweltverbänden die „virtuelle Landnutzung“ im Ausland durch Importe nach Deutschland in den Fokus der Diskussion gestellt. Nicht nur, dass damit das größte ungelöste Problem für die Böden in Deutschland, der Flächenverbrauch und der Verlust von Produktionsflächen, außen vor bleibt. Die Kritik am Internationalen Handel mit Lebens- und Futtermitteln sowie nachwachsenden Rohstoffen ist auch nicht berechtigt. Deutschlands Bauern erreichen auf 17 Millionen Hektar Acker- und Grünland einen Selbstversorgungsgrad bei Nahrungsmitteln von etwa 90 Prozent, wodurch sich die „virtuelle Landnutzung“ in Drittstaaten in Grenzen hält. Wichtig hierbei ist auch, dass den Importen auch die Exporte gegenüber gestellt werden müssen. Internationaler Handel mit Agrarprodukten ist keine Einbahnstraße. Zudem ist der internationale Handel auch Ausdruck unterschiedlicher Vorzughigkeiten im Anbau von Nahrungs- und Futtermitteln. So wäre aufgrund der unterschiedlichen Ertragserwartung für Weizen und Soja von Deutschland und Brasilien der Flächenbedarf wesentlich höher, würde die Europäische Union und Deutschland die benötigten Eiweißfuttermittel selbst erzeugen oder aber Brasilien Weizen statt Soja erzeugen. Zudem können mit dem internationalen Handel auch positive Effekte verbunden sein, wie eine Studie des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung belegt, wonach sich durch globalen Handel mit Nahrungsmitteln große Mengen Wasser in der Landwirtschaft weltweit einsparen lassen.

Den virtuellen Landimport zu beanstanden muss im Gegenzug dazu führen, der heimischen Landwirtschaft mehr Flächennutzung zuzugestehen bzw. den Verlust von Produktionsflächen zu begrenzen. Zukünftig wird es daher umso mehr darauf ankommen, bei allen politischen Entscheidungen, die die Produktion einschränken oder verdrängen, entstehende Verlagerungseffekte zu vermeiden. Um die Versorgung mit Lebens- und Futtermitteln in Deutschland und Europa sicherzustellen und die Abhängigkeit von Importen zu reduzieren, gilt es in erster Linie, die eigenen Produktionsflächen vor der Inanspruchnahme für andere Zwecke zu schützen und produktiv zu nutzen.

Kein Bedarf für europäische Bodenrahmenrichtlinie

Nicht zuletzt seit dem die EU-Kommission ihren Vorschlag für eine Bodenrahmenrichtlinie zurückgezogen hat, wird vereinzelt die Forderung nach einem neuen Anlauf für eine europäische Bodenrahmenrichtlinie geäußert. Dabei wird verkannt, dass diese Richtlinie selbst bei den Umweltministern der EU über acht Jahre nicht mehrheitsfähig war. Zudem wird ausgeklammert, dass in Deutschland und Europa eine Vielzahl von Bodenschutz-Regelungen besteht, wie etwa das allgemeine Umwelt-, das Dünge-, Wasser-, Abfall- und Baurecht sowie bei der Luftreinhaltung, die direkt oder indirekt auf die Qualität landwirtschaftlicher Böden wirken. Angesichts dessen können die in dem früheren Richtlinienentwurf geplanten bürokratischen europäischen Schutzpläne und Auflagen der Vielzahl der Bodentypen und der unterschiedlichen Herausforderungen in keiner Weise gerecht werden. Bodenschutz ist zielführender über bestehende nationale Gesetze und die Eigenverantwortung der Bauern sicherzustellen. Wirkungslos bleiben würde eine europäische Bodenschutzrichtlinie ohnehin beim Flächenverbrauch, weil hierfür die EU nicht über die erforderliche Regelungskompetenz verfügt.

Neuer Anlauf für Bundeskompensationsverordnung erforderlich

Flächenschonung muss auch in besonderem Maße für die Naturschutzkompensation gelten. Seit 2010 ist dies sogar gesetzlich vorgeschrieben. Sowohl die letzte Bundesregierung, als auch die aktuelle Große Koalition scheitern mit dem Entwurf einer Bundeskompensationsverordnung am Widerstand der Bundesländer. Dabei hätte hiermit ein wichtiger Schritt zur Anwendung der bereits seit dem Jahr 2010 im Bundesnaturschutzgesetz verankerten stärkeren Flächenschonung bei der neuen Eingriffsregelung getan werden können. Der Deutsche Bauernverband hatte den Prozess zur Schaffung einer Bundeskompensationsverordnung unterstützt. Voraussetzung war aber, dass die Bundeskompensationsverordnung nicht hinter die Vorgaben der weiter entwickelten Eingriffsregelung zurückfällt. Hierzu zählt etwa, dass produktionsintegrierte Kompensationsmaßnahmen und die Entsiegelung prioritär verankert werden, dass Eingriffe in das Landschaftsbild beispielsweise durch Windräder oder Hochspannungsmasten nicht mehr in Fläche ausgeglichen werden und insgesamt die Punktesysteme eines Biotopwertverfahrens den Aspekt der Flächenschonung berücksichtigen. Kritisch zu sehen waren aber die Bestrebungen vieler Bundesländer, die Bundeskompensationsverordnung in Bezug auf

den Flächenschutz weiter auszuhöhlen und hinter den Stand des Bundesnaturschutzgesetzes zurückzufallen. Akzeptanz in der Landwirtschaft hätte die Verordnung aber nur finden können, wenn sie einen echten Fortschritt bei der Flächenschonung und der kooperativen Naturschutzkompensation gebracht hätte. Aufgrund des Scheiterns der Bundeskompensationsverordnung müssen sich Bund und Länder nun fragen lassen, wie sie die Entsiegelung von Industrie- und Gewerbebrachen als sinnvollsten Naturschutzausgleich für eine Neuversiegelung voranbringen wollen, wenn sie die bundeseinheitliche Verordnung verwässern, ausbremsen und beispielsweise den Entsiegelungsbonus streichen.

Jahr des Bodens sollte Auftakt für Bewusstseinsbildung für produktive Böden sein

Das Internationale Jahr der Böden hat einen Beitrag dazu geleistet, die Bedeutung der Lebensgrundlage Boden zu betonen und die Notwendigkeit der Reduzierung des Flächenverbrauchs zu verdeutlichen. Um die Versorgung mit Lebens- und Futtermitteln in Deutschland und Europa sicherzustellen und die Abhängigkeit von Importen zu reduzieren, gilt es in erster Linie, die eigenen Produktionsflächen in Deutschland vor der Inanspruchnahme für andere Zwecke zu schützen und produktiv zu nutzen. Hinsichtlich der Qualität der Böden ist eine realistische Beschreibung erforderlich, das Monitoring muss dringend verbessert werden. Da die Landwirte ein eigenes Interesse am Schutz ihrer Produktionsgrundlage haben, muss der Bodenschutz auf der Fläche gemeinsam mit den Landwirten über neue Technik und angepasste Bewirtschaftungsverfahren vorangebracht werden. Das Ordnungsrecht ist hierbei wenig hilfreich. Erforderlich ist aber auf gesetzlichem Wege ein Erhaltungsgebot für landwirtschaftliche Flächen. Alle unterschiedlichen Flächennutzungsansprüche müssen auf den Prüfstand und dem Gebot der Flächenschonung gerecht werden. Zukünftig müssen zudem alle politischen Entscheidungen daraufhin überprüft werden, ob sie zu einer Einschränkung oder Beendigung der landwirtschaftlichen Nutzung führen und damit Verlagerungseffekte zur Folge haben und die Abhängigkeit von Importen steigern.

Literaturangaben

- Breitschuh, T. und Gernand, U. (2012): Humusbilanzierung in landwirtschaftlichen Betrieben; Bericht zum Projekt „Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Boden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen. BLE-Forschungsprojekt (AZ 514-06.01-2808HSO169).
- DBV (2015): Situationsbericht Boden – Moderne Landwirtschaft – Gesunde Böden. www.bauernverband.de
- Ebertseder, T. et al (2010): Auswertung von Bodenuntersuchungsdaten zur Ableitung von Einflussfaktoren auf die Humusgehalte von Boden, VDLUFA Schriftenreihe 66, S. 361-372.
- Körschens, M., Breitschuh, G. und Eckert, H. (2013): Wie viel Humus braucht der Boden? Agrar-Fakten Humus, Stand: 01. Juni 2013.

Der Humuszustand der landwirtschaftlichen Böden in Deutschland – Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

A. Freibauer, A. Heidkamp, R. Prietz, C. Vos, BZE Team
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig

1. Politischer Rahmen

Eine vorsorgende Humuswirtschaft sichert die pflanzenbaulichen Erträge und dient gleichzeitig dem Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel, weil Humus Wasser speichert und hilft, die Auswirkungen von extremen Wetterereignissen auf Böden zu puffern. Die „Bodenzustandserhebung Landwirtschaft“ misst, wie viel Humus in den landwirtschaftlichen Böden Deutschlands steckt. Sie ist eine einmalige Inventur der Vorräte an organischem Kohlenstoff in den Agrarböden Deutschlands. Organischer Kohlenstoff ist quasi gleich bedeutend mit Humus, denn Humus besteht zu über der Hälfte aus organischem Kohlenstoff.

Anlass des Projekts war aber nicht der Bodenschutz, sondern der Klimaschutz. Denn Deutschland ist im Rahmen internationaler Klimaschutzabkommen verpflichtet, über die Kohlenstoffvorräte in den Böden und deren Änderung zu berichten. Die bislang vorhandenen Daten zu Agrarböden hatten sich aber als zu alt, uneinheitlich und unvollständig erwiesen, um die Einflüsse des Menschen von den natürlichen Einflüssen des Standorts und des Klimawandels auf die Bodenkohlenstoffvorräte zu trennen. 2008 beauftragte das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft daher das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz mit einer systematischen Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. Die Endergebnisse sollen Ende 2018 in die nationale Emissionsberichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll münden.

Seit 2013 kann sich Deutschland die Kohlenstoffspeicherung in Böden auch als Klimaschutzmaßnahme unter dem Kyoto-Protokoll anrechnen, wenn es den Erfolg mit nationalen Daten nachweisen kann. Umgekehrt fordern Kohlenstoffverluste aus Böden nun aber auch zum politischen Handeln auf.

Seit 2014 muss Deutschland darüber hinaus durch europäische Rechtspflichten (Entscheidung EU/529/2013) Maßnahmen zum Klimaschutz in landwirtschaftlichen Böden entwickeln und Fortschritte an die Europäische Kommission melden. Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft liefert eine flächenrepräsentative Beschreibung des Ausgangszustands, vor dessen Hintergrund die Wirksamkeit zukünftiger Maßnahmen bewertet werden kann.

2. Methodik der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft untersucht Böden unter Acker, Grünland, Sonderkulturen und Gartenbau. Auf einem systematischen Raster von acht mal acht Kilometern werden über Deutschland verteilt über 3000 Beprobungspunkte einmalig standardisiert beprobt. In zahlreichen Bundesländern kooperiert das Projekt dabei mit den geologischen Diensten und Landesämtern. Das Projekt läuft im Zeitraum 2011-2018 und liefert erstmals einheitliche, harmonisierte, flächenrepräsentative nationale Daten zu den organischen Kohlenstoffvorräten in deutschen Agrarböden und ihren Steuergrößen (Bach et al., 2011). Die Methodik ist vergleichbar mit den beiden abgeschlossenen Bodenzustandserhebungen im Wald.

An jedem Beprobungspunkt wird in einem 1 m tiefen Schurf der Boden detailliert nach Bodenkundlicher Kartieranleitung KA5 (AG Boden, 2005) beschrieben und Proben in mehreren Bodentiefen entnommen. Bohrkernproben im Umkreis von zehn Metern um das Loch erfassen zusätzlich die kleinräumige Variabilität des Bodens.

Im projekteigenen Labor werden die Proben getrocknet, gesiebt und analysiert. Die Analysen umfassen die in Tabelle 1 gelisteten Kenngrößen, die nach DIN-Verfahren bzw. konsistent mit der Bodenzustandserhebung Wald gemessen werden. Die Bodenproben werden in einer Bodenprobenbank am Thünen-Institut für weitere Analysen und Forschungsfragen archiviert.

Die beteiligten Landwirte werden zeitnah über die Ergebnisse der Gelände- und Laborarbeiten informiert.

Tab.1: Im Labor gemessene Kenngrößen und analytische Normen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

Kenngröße	Norm
Probenaufbereitung	DIN ISO 19720
Gesamter organischer Kohlenstoff TOC	DIN ISO 10694:1995
Gesamter anorganischer Kohlenstoff TIC	DIN ISO 10694:1995
Gesamter Stickstoff TN	DIN ISO 13878
pH (H ₂ O)	DIN ISO 10390:2005
pH (0,01 M CaCl ₂)	DIN ISO 10390:2005
Elektrische Leitfähigkeit (H ₂ O)	DIN EN 27888
Bodenart	DIN ISO 11277/BZE A2.5
Trockenrohdichte	DIN ISO 11277/BZE A2.5
Grob-/Feinbodenfraktion	BZE A2.8

Weltweit einmalig für eine Bodenzustandserhebung wird für jeden Beprobungspunkt die Bewirtschaftung der letzten Jahre erfragt. Dazu macht der landwirtschaftliche Bewirtschafter in einem detaillierten Fragebogen Angaben zur Betriebsausstattung und -struktur und Details zur Fruchtfolge, Erträgen, Bodenbearbeitung und Düngung des beprobten Schlages (siehe Weiser, 2015).

Mit Stand vom Oktober 2015 sind ca. drei Viertel der Beprobungspunkte beprobt. Der Arbeitsfortschritt und erste Ergebnisse können verfolgt werden unter http://web-gis-ak.vti.bund.de/cartoweb_bze/htdocs/client.php?project=BZE.

3. Kohlenstoffvorräte in den Oberböden

Oberböden wurden definiert als die Tiefenstufe 0-30 cm. Diese Tiefenstufe entspricht der deutschen Berichtspflicht unter der Klimarahmenkonvention und dem Kyoto-Protokoll.

Im Mittel der bisher ausgewerteten gut 2000 Beprobungspunkte lagen die organischen Kohlenstoffvorräte der Oberböden unter Acker bei 60 t C/ha und unter Grünland bei 100 t C/ha (Abb. 1). Während der Ackerwert genau den bisher verwendeten Schätzwert der nationalen Emissionsberichterstattung (Umweltbundesamt, 2014) trifft, liegt der Grünlandwert deutlich über der aktuellen

Schätzung von 77 t C/ha. Die Gründe für die unerwartet hohen C-Vorräte unter Grünland sind noch nicht geklärt. Doch Grünlandstandorte sind meist relativ nass bzw. liegt Grünland öfter in feucht-kühlen Lagen. Vergleicht man Acker und Grünland innerhalb einer Bodenklasse, liegen die organischen Kohlenstoffvorräte unter Ackerböden um 20 bis 30 Prozent unter denen der Grünlandböden. Dies entspricht in etwa dem Erwartungswert, wie viel organischer Kohlenstoff beim Grünlandumbruch zu Acker verloren geht (Poeplau et al., 2011).

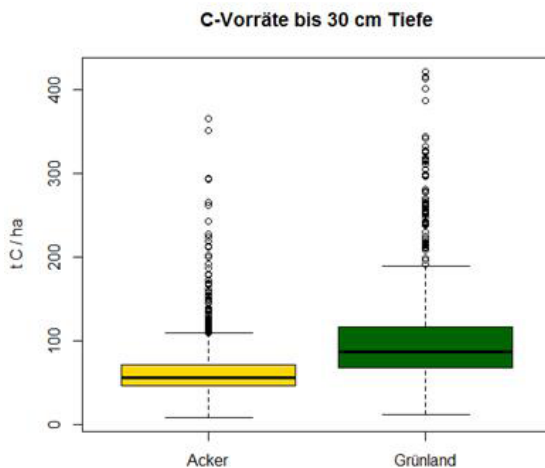


Abb. 1: Organische Kohlenstoffvorräte der Oberböden unter Acker und unter Grünland der bisher ausgewerteten Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (nicht flächenrepräsentativ für Deutschland)

4. Tiefenverteilung der Kohlenstoffvorräte und Unterböden

Die Tiefenverteilung der organischen Kohlenstoffvorräte in Mineralböden (Abb. 2) folgt dem erwarteten Verlauf. Unter Ackernutzung ist der Kohlenstoff im Pflughorizont gut vermischt. Mit zunehmender Tiefe zeigt sich ein abnehmender Kohlenstoffgradient. Im Grünland ist die Kohlenstoffdichte in den obersten Zentimetern am höchsten und nimmt mit der Tiefe in etwa exponentiell ab.

Im Mittel der bisher ausgewerteten Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft liegen die Kohlenstoffvorräte unter Grünland in allen Tiefenstufen gleich oder höher als unter Acker (Abb. 2).

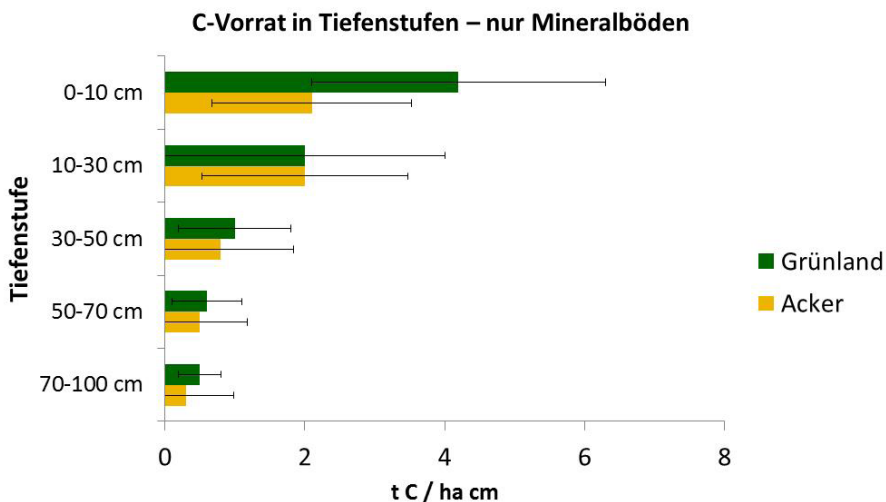


Abb.2: Organische Kohlenstoffvorräte nach Tiefenstufen unter Acker und unter Grünland der bisher ausgewerteten Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (nicht flächenrepräsentativ für Deutschland)

5. Kohlenstoffvorräte nach Bodenklassen

Innerhalb der Äcker bzw. Grünländer variieren die organischen Kohlenstoffvorräte erheblich. Dafür sind vor allem die Standortbedingungen verantwortlich, wie z. B. Ausgangssubstrat, Solummächtigkeit, Klima und der Grad der Bodenentwicklung. Die Bodenklasse kann einen Teil der Variabilität erklären (Abb. 3), doch variieren die organischen Kohlenstoffvorräte auch innerhalb einer Bodenklasse noch stark. Die organischen Kohlenstoffvorräte der häufigsten Bodenklasse Braunerden liegen im mittleren bis unteren Bereich der Kohlenstoffvorräte aller Bodenklassen. Die tiefgründig humosen Marschen, Gleye und Auenböden haben meist 100 bis 200 t C/ha organische Kohlenstoffvorräte im oberen Meter. Auch Podsole erreichen meist diesen Bereich, v. a. aufgrund außergewöhnlich hoher Konzentrationen von organischem Kohlenstoff im Oberboden. Da sich diese hohen Konzentrationen langfristig unter landwirtschaftlicher Bewirtschaftung bei sandiger Textur erhalten haben, müssen hier stabile Humusverbindungen vorliegen, die mit den klassischen Stabilisierungsmechanismen durch Ton-Humuskomplexe oder Aggregation nicht erklärt werden können.

Landwirtschaftliche Moorböden liegen bei 600 t C/ha organischem Kohlenstoff (Abb. 3). Davon gehen jährlich im Mittel 8 t C/ha durch Torfzehrung verloren (Umweltbundesamt, 2014).

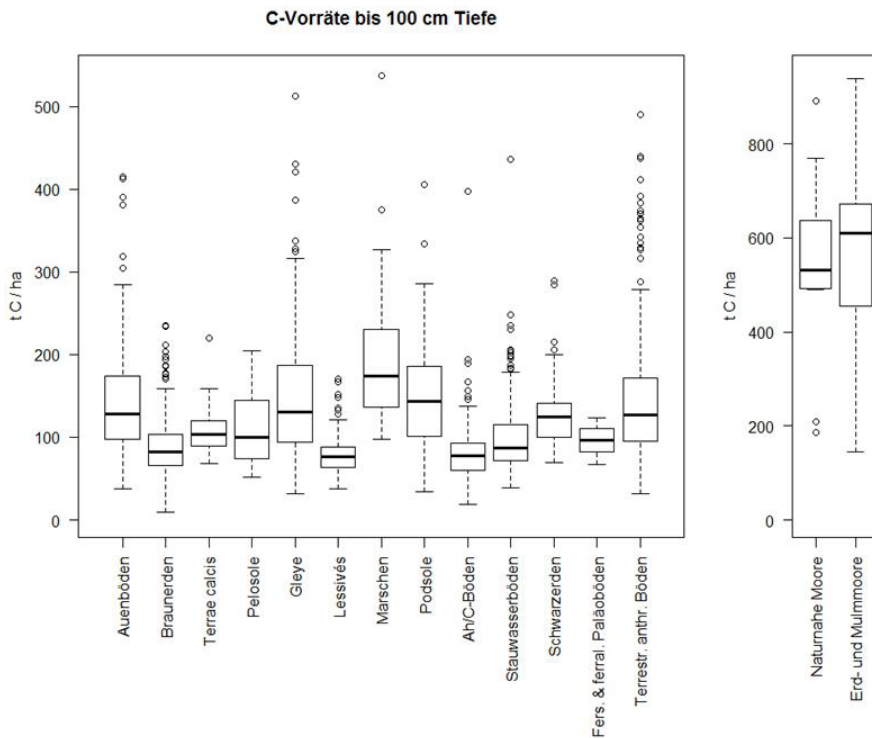


Abb.3: Organische Kohlenstoffvorräte nach Tiefenstufen unter Acker und unter Grünland der bisher ausgewerteten Beprobungspunkte der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (nicht flächenrepräsentativ für Deutschland)

Die Grabungen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft stießen sehr viel häufiger als erwartet auf tiefgründige anthropogene Eingriffe wie Tiefpflügen, Tieffräsen, Tiefumbruch, Aufschüttungen und Drainagen. Diese Eingriffe vergraben organischen Kohlenstoff aus dem Oberboden in der Tiefe, wo er langfristig zu erhöhten Kohlenstoffvorräten beiträgt.

6. **Ausblick auf weitere Arbeiten**

Dank der hervorragenden Kooperation mit den Landwirten und Landesämtern liegt bereits ein einmaliger homogener Datensatz für große Teile Deutschlands in sehr guter Qualität und Vollständigkeit vor. Die gezeigten Zwischenergebnisse bestätigten regionale Untersuchungen und Erwartungen zu den organischen Kohlenstoffvorräten und Steuergrößen weitgehend, brachten aber auch einige Überraschungen, v.a. bei anthropogen stark veränderten Böden.

Neben den Standardanalysen sind weitere Untersuchungen nötig, um die Stabilisierungsmechanismen des organischen Kohlenstoffs zu verstehen und um abzuschätzen, welcher Anteil der Kohlenstoffvorräte in Böden vom Menschen im Sinne einer Humuswirtschaft für den Klimaschutz beeinflusst werden kann.

Kohlenstoffreiche Böden sind besonders vulnerabel, aber bisher in Bodenkohlenstoffmodellen ungenügend berücksichtigt. Ein Schwerpunkt der Datenauswertung und paralleler Forschung ist es daher, die Kulisse dieser besonders von Kohlenstoffverlusten betroffenen Böden zu definieren und festzustellen, ob Klima- oder Nutzungswandel für weitere Risiken sorgen.

Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft ist eine einmalige Beprobung, die räumlich repräsentativ den Status Quo der landwirtschaftlichen Böden beschreibt. Es bleibt eine große Herausforderung, von dieser Einmalbeprobung zu einer Trendschätzung der Kohlenstoffvorräte zu kommen. Dank der landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsdaten können aber Verfahren der Humusbilanzierung angewendet werden (Dreyse, 2015). Diese gilt es im Sinne einer standortspezifischen Humusbilanzmethode weiter zu entwickeln. Das kann die Bodenzustandserhebung allerdings alleine nicht leisten, sondern muss mit Langzeitdaten aus Dauerversuchen und Bodendauerbeobachtungsflächen kombiniert werden.

7. **Literaturangaben**

AG BODEN, Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. 2005. Bodenkundliche Kartieranleitung 5, verbesserte und erweiterte Auflage. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2005.

- Bach, M., Freibauer, A., Siebner, C., Flessa, H., 2011: The German Agricultural Soil Inventory: sampling design for a representative assessment of soil organic carbon stocks. *Proced Env Sci* 7:323-328.
- Dreyse, T., 2015: Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 378-385.
- Wesemael, B. van, Schumacher, J., Gensior, A., 2011: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone - carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17(7):2415-2427, doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02408.x
- Umweltbundesamt, 2014: Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2012. *Climate Change* 24/2014.
- Weiser, C., BZE-Team, 2015: Bestimmung der Kohlenstoffeinträge und deren Unsicherheiten auf die landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 386-395.

Wie wirkt sich die Bodennutzung auf das Klima aus?

H. Höper, W. Schäfer

Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover

1. Einleitung

Die Erdatmosphäre trägt wesentlich dazu bei, dass es auf der Erde Temperaturen gibt, die Leben ermöglichen. Durch den Treibhauseffekt wird ein Teil der solaren Energie zurückgehalten. Verantwortlich dafür sind neben Aerosolen, Wolken und Ozon die Treibhausgase. Durch menschliche Aktivität wurden seit Beginn der Industrialisierung die Gehalte an Treibhausgasen in der Atmosphäre wesentlich erhöht. Dies betrifft vor allem die Gase Kohlendioxid, Methan und Lachgas. Hauptursache für die Freisetzung von Treibhausgasen ist die Verbrennung fossiler Energieträger. Aber auch die Landnutzung und Landnutzungsänderungen verursachen global etwa 20 % der Emissionen, vor allem durch Waldrodungen (Denman et al., 2007).

Böden stehen in einem intensiven Austausch mit der Atmosphäre. Bodenhumus ist gespeichertes Kohlenstoffdioxid. Darüber hinaus können Böden atmosphärisches Methan und Lachgas verbrauchen, aber auch freisetzen. Im Hinblick auf den Klimaschutz ist daher zu beachten, dass Veränderung im Bodenhumusgehalt sich auch auf den Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre auswirken. Auch gilt es zu prüfen, inwieweit die Bodennutzung sich auf die Freisetzung weiterer Treibhausgase auswirkt. Der Beitrag hat zum Ziel, die wesentlichen Aspekte der Bodennutzung in ihren Auswirkungen auf die Treibhausgasflüsse zu priorisieren und Handlungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

2. Definitionen und Einheiten

Für eine zusammenfassende Bewertung werden die Treibhausgase mit ihrem globalen Treibhauspotenzial gewichtet. Dies bezieht die strahlungsabsorbierende Wirkung und die Lebensdauer der Gasmoleküle ein und gibt die Klimawirkung relativ zum CO₂ an. So hat Methan eine 25-fache und Lachgas eine 298-fache Klimawirkung verglichen mit Kohlendioxid (Forster et al., 2007).

Da sich die Klimawirkung auf das Molekül bezieht, erfolgt die Angabe der Einheit molekül- und nicht atombezogen (t CO₂ statt t C). Die Einheit des globalen Treibhauspotenzials ist t CO₂-Äquivalente (kurz: t CO₂-Äq.). Die Einheit t CO₂ bezieht sich allein auf die Freisetzung von CO₂.

3. Treibhausgasemissionen aus Böden

Entwässerte Moore sind die größte Quelle für Treibhausgase aus Böden. Dies bezieht sich sowohl auf die Höhe der jährlichen Emissionen als auch auf die Dauer der Emissionen. Ackerbaulich genutzte Moore setzen gut 30 t CO₂-Äq./ha/a frei, im Extremfall sogar über 50 t (Drösler et al., 2011). Moorgrünland mittlerer oder hoher Nutzungsintensität emittiert jährlich zwischen 25 und 30 t CO₂-Äq./ha/a (Drösler et al., 2011). Den größten Anteil nimmt Kohlendioxid als Produkt der Torfmineralisation ein. Darüber hinaus wird Lachgas freigesetzt, das sowohl bei der Nitrifikation als auch bei der Denitrifikation entweichen kann. Entwässertes aber extensiv genutztes Grünland emittiert etwa 20 t CO₂-Äq./ha/a (Drösler et al., 2011). Die Treibhausgasemissionen der entwässerten Moore dauern an, bis der über dem Wasser liegende Torfanteil mineralisiert ist. Dies kann, je nach Torfmächtigkeit und Wasserverhältnissen über hundert Jahre sein (Höper und Schäfer, 2012). Die jährlichen Treibhausgasemissionen aus Mooren machen bundesweit etwa 4,3 % der Gesamtemissionen aus (Umweltbundesamt, 2014).

Eine zweite wichtige Quelle für Treibhausgase ist der **Grünlandumbruch**, d. h. die Umwandlung von Grünland in Ackerland. In den ersten Jahren findet ein erheblicher Humusabbau statt, der sich in CO₂-Emissionen und, aufgrund der Stickstoffmineralisation und der Freisetzung von Nitrat, auch in erhöhten Lachgasemissionen niederschlägt. Auf hydromorphen Böden, d. h. auf Standorten, die natürlicherweise von hohen Wasserständen geprägt sind und auf denen meist Entwässerungsmaßnahmen dem Grünlandumbruch vorgeschaltet sind, können 60 % des initialen Humusvorrates in der Ackerkrume abgebaut werden (Burghardt, 1982; Strebel et al., 1988). Poeplau et al. (2011) haben Ergebnisse aus 45 Studien zu den Auswirkungen des Grünlandumbruches auf den Humusvorrat der Böden im gemäßigten Klimaraum zusammengetragen. Im Mittel der Standorte kommen sie dazu, dass 36 % des initialen Vorrates an organischem Kohlenstoff freigesetzt wird und dass diese Freisetzung etwa 17 Jahre andauert. Bei einem initialen C-Vorrat von 115 t/ha ergibt sich eine Freisetzung

von 151,8 t CO₂/ha bzw. 8,9 t CO₂/ha/a. Nach Roth et al. (2012) ist in den ersten 2 Jahren eine erhöhte Lachgasfreisetzung von 3 t CO₂-Äq./ha/a zu erwarten, umgelegt auf 17 Jahre 0,4 t CO₂-Äq./ha/a. Aus der Summe von CO₂ und Lachgas ergibt sich somit eine mittlere Freisetzung von 9,3 t CO₂-Äq./ha/a über einen Zeitraum von 17 Jahren. Bundesweit wurden die jährlichen Emissionen aus Grünlandumbruch in 2012 auf 0,36 % der Gesamtemissionen Deutschlands beziffert (Umweltbundesamt, 2014).

Die **Bewirtschaftung** der Mineralböden ist dagegen unter Praxisbedingungen weitgehend CO₂-neutral. Ergebnisse aus der Boden-Dauerbeobachtung in Niedersachsen und Bayern zeigen, dass die Humusgehalte in der Ackerkrume auf den meisten Standorten in den vergangenen 15 bis 20 Jahren konstant geblieben sind oder dass sich die Anzahl der Standorten mit abnehmenden Gehalten mit der mit zunehmenden Gehalten in etwa die Waage hält (Beck, 2011; Fortmann et al., 2012). Abnehmende Humusgehalte lassen sich teilweise mit Grünlandumbruch vor zwei bis drei Jahrzehnten in Verbindung bringen (Fortmann et al, 2012). Die CO₂-Freisetzung auf zwei solcher Standorte betrug zwischen 1997 und 2010 2 t CO₂/ha/a. Auch kann eine bewusste oder schleichende Krumenvertiefung zu einer Abnahme der Gehalte in der Krume führen. In diesem Fall bleiben jedoch die Vorräte in der vertieften Krume zunächst konstant bzw. nehmen mit der Zeit sogar zu, so dass es nicht zu einer Nettofreisetzung von CO₂ sondern sogar zu einer Festlegung von CO₂ kommt (vgl. Kap. 4).

Die Umstellung der **Fruchtfolge** hin zu einem höheren Anteil an Hackfrüchten kann zu einer Abnahme der Humusgehalte im Boden führen. So führte der Kartoffelanbau zu einer Abnahme um 12 % im Vergleich zu reinen Getreidefruchtfolge (Merbach, 2006). Nimmt man einen Ausgangsvorrat von 60 t C/ha in der Krume an und legt man die Humusverluste auf 10 Jahre um, ergibt sich eine mittlere jährliche Freisetzung von 2,6 t CO₂/ha/a. Für Mais ergeben sich widersprüchliche Ergebnisse. In einem Dauerfeldversuch in Halle wurde unter Maismonokultur eine Abnahme der Humusgehalte in der Krume um 7 % im Vergleich zur Roggenmonokultur festgestellt. In Kanada wurde in 2 Dauerfeldversuchen eine Verminderung um 1 bis 3 % durch Maismonokultur im Vergleich zu einer Maisfruchtfolge beobachtet (Gregorich et al, 2001; Bolinder et al, 1999). Unter den o. a. Annahmen ergibt sich eine Emission von 0,4 bis 1,5 t CO₂/ha/a über 10 Jahre. Dänische Untersuchungen kommen allerdings zu dem Ergebnis, dass es nach 14 Jahren Maismonokultur auf 4 Standorten mit meist sandiger Bodenart zu einer Zunahme der Humusgehalte und damit zu einer Festlegung von

0,4-1,5 t CO₂/ha/a gekommen ist (Kristiansen et al., 2005). Entscheidend für die Veränderungen sind die Ausgangssituation, die Referenz sowie die Bodenverhältnisse.

Im nationalen Treibhausinventarbericht wird die CO₂-Bilanz von Mineralböden als neutral geführt (Umweltbundesamt, 2014).

Eine relevante Größe der Treibhausgasemissionen stellt die **Lachgasfreisetzung aus Mineralböden** dar. Nach dem Bericht des Umweltbundesamtes (2014) machen direkte und indirekte N₂O-Emissionen von Mineralböden etwa 3,6 % der Gesamtemissionen Deutschlands aus. Die direkten Emissionen lassen sich der organischen und mineralischen Stickstoffdüngung und dem Stickstoffumsatz von Ernterückständen zuweisen. Die indirekten Emissionen entstehen nach dem Eintrag von Stickstoff aus der Düngung oder aus bodenbürtigen Prozessen in Grund- und Oberflächengewässern, vor allem aufgrund eines unvollständigen denitrifikativen Abbaus (Umweltbundesamtes, 2014). Die direkte N₂O-Freisetzung wird auf Ackerböden sehr stark von saisonalen klimatischen Faktoren (Temperaturen und Niederschläge), vom Boden und von der Kulturart beeinflusst (Dechow und Freibauer, 2011). Die Höhe der Stickstoffdüngung hat einen gewissen Einfluss. Im Mittel werden in Deutschland über alle Standorte etwa 0,9 % des gedüngten Stickstoffs als N₂O freigesetzt, bei einer Düngung von 200 kg N entspricht dies einer Treibhausgasfreisetzung von 0,8 t CO₂-Äq./ha/a.

4. Möglichkeiten zur Minderung der Treibhausgasemissionen und zur CO₂-Festlegung

Die Treibhausgasemissionen auf landwirtschaftlich genutzten Moorböden werden primär durch den Wasserstand und sekundär durch die Nutzungsintensität (v. a. Stickstoffdüngung) beeinflusst (Drösler et al., 2011). Eine Emissionsminderung kann daher durch **Vernässungs- und Extensivierungsmaßnahmen** erreicht werden. Durch eine vollständige Vernässung könnten die Emissionen auf nahezu null gesenkt werden (Minderung um 20 bis 50 t CO₂-Äq./ha/a), eine landwirtschaftliche Nutzung im herkömmlichen Sinne ist dann nicht mehr möglich. Berücksichtigt man die Grenzen der Befahr- und Beweidbarkeit, d. h. stellt man Wasserstände von mindestens 35 bis 40 cm unter Flur in den Sommermonaten ein, lässt sich eine Emissionsminderung um 8 bis 15 t CO₂-Äq./ha/a

unter Beibehaltung der landwirtschaftlichen Nutzung erreichen. Durch eine Nutzungsextensivierung können die Emissionen in ähnlicher Größenordnung reduziert werden, jedoch mit erheblichen Folgen für die landwirtschaftliche Produktion.

Durch langjährige **organische Düngung** können die Humusgehalte im Boden erhöht und damit CO₂ aus der Atmosphäre gebunden werden. So zeigen Feldversuche, dass durch Gülledüngung, Stroheinarbeitung oder Gründüngung die Humusgehalte im Median der Versuche um 7 % im Vergleich zur mineralisch gedüngten Variante erhöht werden. Bei regelmäßiger Stallmistzufuhr steigen die Gehalte im Median um 22 % an (Höper und Schäfer, 2012). Unter der Annahme eines Humusvorrates in der Kontrolle von 60 t C/ha (0-30 cm) und einer C-Festlegung über 15 Jahre ergeben sich jährliche Raten der CO₂-Festlegung von 1,0 bzw. 3,2 t CO₂-Äq./ha/a. Nach Erreichen eines neuen, bewirtschaftungsabhängigen Humusgleichgewichtes ist das Verfahren der organischen Düngung aufrechtzuerhalten, ohne dass sich eine weitere C-Festlegung ergibt. Wird die organische Düngung eingestellt, werden die zuvor festgelegten Mengen an C wieder als CO₂ freigesetzt.

Die **reduzierte Bodenbearbeitung** wird häufig als Möglichkeit gesehen, den Humusgehalt in Böden zu erhöhen. In einer Metastudie hat Alvarez (2005) die Differenzen der Vorräte an organischem Kohlenstoff in der Ackerkrume (0-30 cm) zwischen Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung (nicht wendend oder Direktsaat) und Varianten mit wendender Bodenbearbeitung in ihrer zeitlichen Entwicklung aus 76 Feldstudien ausgewertet. Es zeigte sich eine hohe Streuung und vielfach auch abnehmende Kohlenstoffvorräte durch reduzierte Bodenbearbeitung. Im Mittel aller Versuche wiesen die Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung einen um 2,1 t C/ha höheren Kohlenstoffvorrat in der Ackerkrume auf als die mit konventioneller Bearbeitung (Alvarez, 2005). Verteilt auf 10 Jahre bedeutet dies eine jährlich CO₂-Festlegung von 0,8 t CO₂-Äq./ha/a. Statistisch ergibt sich aus einer Trendanalyse, dass etwa 30 Jahre nach Einführung der reduzierten Bodenbearbeitung ein neues Humusgleichgewicht erreicht wird. Der Vorrat an organischer Substanz läge dann im Mittel aller Standorte bei reduzierter Bodenbearbeitung um 12 t C/ha höher als bei konventioneller. Die mittlere jährliche CO₂-Festlegung über 30 Jahre beträgt dann 1,5 t CO₂-Äq./ha/a. Allerdings gibt es Hinweise, dass die klimakühlende Wirkung der CO₂-Festlegung im Boden durch eine erhöhte N₂O-Freisetzung aufgehoben oder überkompensiert werden kann (Six et al., 2004; Li et al., 2005). Außerdem

kann die CO₂-Festlegung unter reduzierter Bodenbearbeitung durch eine einmalige wendende Bearbeitung wieder zunichte gemacht werden.

Durch eine **Krumenvertiefung** kann nachhaltig der Kohlenstoffvorrat im Boden erhöht werden. Nieder und Richter (2000) untersuchten in Südostniedersachsen 120 Standorte, auf denen in den 1970er und 1980er Jahren eine Krumenvertiefung stattgefunden hatte. Sie stellten fest, dass durch die Vertiefung der Krume im Mittel von 27 auf 35 cm, innerhalb von 25 bis 30 Jahren die Kohlenstoffvorräte in den Braunerden im Mittel um 19-25 t C/ha und in den Parabraunerden um 9-16 t C/ha angestiegen sind. Dieses entspricht einer jährlichen CO₂-Festlegung von 2,3-3,7 t CO₂/ha/a bei den Braunerden und 1,3-1,9 t CO₂/ha/a bei den Parabraunerden. Die Einlagerung von Kohlenstoff in den Unterboden ist weitgehend irreversibel so dass sich das Verfahren für eine nachhaltige Festlegung von CO₂ eignet. Allerdings ist zu beachten, dass es auf strukturlabilen Standorten zu Unterbodenverdichtungen kommen kann.

5. Schlussfolgerungen

Durch die Nutzung der Böden werden klimarelevante Gase freigesetzt. Die wichtigsten Ursachen sind die Entwässerung und landwirtschaftliche Nutzung der Moore und der Grünlandumbruch zu permanentem Ackerland, die zu CO₂- und N₂O-Emissionen führen, sowie die mineralische und organische Düngung, die direkte und indirekte N₂O-Emissionen auslöst. In Summe führen diese drei Nutzungsaspekte zu Treibhausgasemissionen in Höhe von etwa 8 % der Gesamtemissionen Deutschlands. Von untergeordneter Bedeutung bzw. ohne Bedeutung ist dagegen die Nutzung der Mineralböden als Acker oder Grünland für die CO₂-Emission, da die Humusgehalte der Böden im Mittel als konstant angesehen werden. Die Möglichkeit, durch organische Düngung, Anbau von Zwischenfrüchten oder reduzierte Bodenbearbeitung die Humusgehalte nachhaltig zu erhöhen und dadurch CO₂ festzulegen sind begrenzt. Auch wird durch diese Maßnahmen ein labiler Humuspool im Boden aufgebaut, der nach Unterlassung der Maßnahmen sofort wieder abgebaut wird. Potenziell negative Auswirkungen erhöhter Humusgehalte auf die Grundwasserqualität sind zu beachten, als dadurch die Stickstoffmineralisation gefördert und Nitrat zu Zeiten freigesetzt wird, in denen es von Kulturpflanzen nicht vollständig aufgenommen werden kann. Wichtige und effiziente Maßnahmen wären Wasserstandsanehebungen auf Moorstandorten, um die Torfmineralisation zu reduzieren oder gar

zu stoppen. Die Krumenvertiefung kann zudem eine Maßnahme sein, um Kohlenstoff im Unterboden festzulegen und somit Kohlendioxid zu binden. Auch sollte das Düngungsmanagement im Hinblick auf eine Reduzierung der Lachgasemissionen optimiert werden.

6. Literaturangaben

- Alvarez, R., 2005: A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management* 21, 38-52.
- Beck, R., 2011: Humusgehalte Bayerns – Humuszehrung oder Humusmehrung?. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.). *Den Boden fest im Blick – 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern*. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, 60-62.
- Bolinder, M.A., Angers, D.A., Giroux, M., Laverdiere, M.R., 1999: Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea Mays* L.). *Plant and Soil* 215, 85-91.
- Burghardt, W., 1982: Entwicklung der Rohdichte, C- und N-Gehalte von Bodenaggregaten einer Knick-Brackmarsch nach Grünlandumbruch. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 34, 199-204.
- Dechow, R., Freibauer, A., 2011: Assessment of German nitrous oxide emissions using empirical modelling approaches. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91, 235-254.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C., Zhang, X., 2007: Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., (Hrsg.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Drösler, M., Freibauer, A., Adelman, W., Augustin, J., Bergman, L., Beyer, C., Chojnicki, B., Förster, C., Giebels, M., Görlitz, S., Höper, H., Kantelhardt, J., Liebersbach, H., Hahn-Schöfl, M., Minke, M., Petschow, U., Pfadenhauer, J., Schaller, L., Schägner, P., Sommer, M., Thuille, A., Wehrhan, M., 2011: Klimaschutz durch Moorschutz in der Praxis. Ergebnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Klimaschutz – Moornutzungsstrategien“ 2006-2010. vTI-Arbeitsberichte 4/2011. 21 S.
- Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., Van Dorland, R., 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L., (Hrsg.): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA.
- Fortmann, H., Rademacher, P., Groh, H., Höper, H., 2012: Stoffgehalte und -vorräte im Boden und deren Veränderungen. In: Höper, H.; Meesenburg, H. (Hrsg.): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Niedersachsen. Geo-Berichte 23, 48-69.
- Gregorich, E.G., Drury, C.F., Baldock, J.A., 2001: Changes in soil carbon under long-term maize in monoculture and legume-based rotation. Canadian Journal of Soil Science 81, 21-31.
- Höper, H., Schäfer, W., 2012: Die Bedeutung der organischen Substanz von Mineralböden für den Klimaschutz. Bodenschutz 3/2012, 100-108.
- Kristiansen, S.M., Hansen, E.M., Jensen, L.S., Christensen, B.T., 2005: Natural ¹³C abundance and carbon storage in Danish soils under continuous silage maize. European Journal of Agronomy 22, 107-117.
- Li, C., Frolking, S., Butterbach-Bahl, K., 2005: Carbon sequestration in arable soils is likely to increase nitrous oxide emissions, offsetting reductions in climate radiative forcing. Clim. Change 72, 321-338.
- Merbach, W., 2006: 125 Jahre „Ewiger Roggen“ in Halle – ein museales Relikt ? In: Merbach, W. (Hrsg.). Festschrift zum Internationalen Symposium „Ernährungs- und Umweltforschung im 21. Jahrhundert – der Wert von Dauerfeldversuchen“. Verlag Grauer, Beuren-Stuttgart, 47-55.
- Nieder, R., Richter, J., 2000: C and N accumulation in arable soils of West Germany and its influence on the environment – Developments 1970 to 1998. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 65-72.

- Poeplau, C., Don, A., Vesterdal, L., Leifeld, J., van Wesemael, B., Schumacher, J., Gensior, A., 2011: Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. *Global Change Biology* 17, 2415-2427.
- Roth, G., Helfrich, M., Well, R., Flessa, H., 2012: Impact of two different types of grassland-to-arable-conversion on nitrous oxide emission and nitrate leaching. In: Richards, K.G., Fenton, O., Watson, C. J. (Eds). *Proceedings of the 17th Nitrogen Workshop – Innovations for sustainable use of nitrogen resources. 26th-29th June 2012, Wexford, Ireland*, 122-123.
- Six, J., Ogle, S. M., Breidt, F. J., Conant, R. T., Mosier, A. R., Paustian, K., 2004: The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practiced in the long term. *Global Change Biol.* 10, 155-160.
- Strebel, O., Böttcher, J., Eberle, M., Aldag, R., 1988: Quantitative und qualitative Veränderungen im A-Horizont von Sandböden nach Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 151, 341-347.
- Umweltbundesamt, 2014: *Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2014 Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2012*. *Climate Change* 24/2014, 963 S.

Bodenverdichtung – Problem und Lösungsansätze

R. Brandhuber, M. Demmel

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

1. Böden befahren heißt Böden verdichten

Landwirtschaftlich genutzte Böden sind Wuchsraum für Kulturpflanzen und gleichzeitig Fahrbahn für Landmaschinen. Jeder Quadratmeter Boden wird jährlich teils mehrmals überrollt. Spurmuster von Arbeitsvorgängen können mit GPS eindrücklich visualisiert werden (Duttmann et al., 2013), insbesondere die räumliche Differenzierung der Überrollhäufigkeit.

Die regelmäßige mechanische Beanspruchung von Acker- und Grünlandböden bedingt charakteristische Bodengefügeausprägungen, die im Fall der Ackerböden durch Tiefe und Intensität der Grundbodenbearbeitung weiter differenziert sind. Die mechanisch stark beanspruchten Böden in Vorgewenden, Einfahrten und Fahrgassen kennzeichnet ein Gefüge mit hoher Packungsdichte und geringer Porosität. In der eigentlichen Produktionsfläche finden sich dagegen überwiegend Gefügeausprägungen, die eine hinreichende Ertragsfähigkeit ermöglichen und Puffer- und Filterfunktionen ausreichend sicherstellen. Dies belegen Ergebnisse von bodenphysikalischen Untersuchungen in verschiedenen Bundesländern, siehe z. B. Brandhuber (2005) für Bayern, Brunotte et al. (2008) für Niedersachsen, Cramer et al. (2006) für Nordrhein-Westfalen und Isensee und Schwark (2006) für Schleswig-Holstein. Einschränkend ist anzumerken, dass repräsentative bodenphysikalische Bestandaufnahmen aus den letzten 10 Jahren nicht vorliegen. Die Erfahrungen von Fachleuten, die häufiger Böden mit dem Spaten aufgraben, sprechen ebenfalls für die Einschätzung, dass Böden mit sehr ungünstigen Gefügemerkmalen Ausnahme und nicht Regel sind.

Es sind also offensichtlich keine flächendeckenden Schadverdichtungen vorhanden. Unstrittig ist jedoch das Gefüge der landwirtschaftlich genutzten Böden messbar und sichtbar geprägt ist durch das bewirtschaftungsbedingte Befahren (Verdichten) und Bearbeiten (Lockern).

2. Ertragsminderung durch Bodenverdichtung?

Aus der Literatur ist bekannt, dass in Feldversuchen provozierte Bodenverdichtungen langfristig zu Ertragsminderungen führen. Deren Spannweite ist entsprechend der unterschiedlichen Versuchsbedingungen und Böden groß. Einbußen von 5 bis 10 % können als typisch angesehen werden (Demmel et al., 2011).

An der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurden in den letzten Jahren Forschungsprojekte durchgeführt mit Ergebnissen zur Empfindlichkeit von Kulturen gegenüber im Rahmen der Bewirtschaftung üblicher mechanischer Bodenbelastung.

In einem On-Farm-Research-Ansatz wurde auf Ackerschlägen von drei pfluglos wirtschaftenden Betrieben ein Regelfahrspursystem etabliert. Der Fahrverkehr wurde auf dauerhafte Fahrtrassen verlegt, die weiterhin als Produktionsfläche dienen und ca. 40 % der Anbaufläche einnehmen. Erträge (und Bodeneigenschaften) wurden auf den befahrenen und nicht mehr befahrenen Anbauflächen über einen Zeitraum von fünf Jahren erfasst. Alle drei Betriebe bauten Winterweizen an. Die Erträge von Winterweizen unterschieden sich nicht (Tab. 1).

Tab. 1: Erträge von Winterweizen in einem Regelfahrspurverfahren

Betrieb	Jahr	Befahren	Unbefahren
		Ertrag, dt/ha	
2	2010	83	75
1	2011	83	81
3	2011	61	64
1	2012	83	82
2	2012	97	102
3	2012	69	67
1	2013	64	62
2	2013	82	82
3	2013	83	85
1	2014	80	73
3	2014	76	85
Mittelwert		78	78

Tab. 2: Erträge von Körnermais in einem Regelfahrspurverfahren

Betrieb	Jahr	Ertrag, dt/ha	
		Befahren	unbefahren
3	2010	93	109
	2011	84	113
	2012	104	117
	2013	63	71
	2014	98	114
Mittelwert		88	105

Dagegen zeigten die Erträge von Körnermais (Anbau nur auf Betrieb 3) deutliche Ertragsunterschiede zwischen den befahrenen und unbefahrenen Feldanteilen (Tab. 2). Die um 19 % niedrigeren Erträge in der Fahrtrasse dürften im Wesentlichen der Bodenverdichtung innerhalb der Krume bei Gülleausbringung und Saat im Frühjahr geschuldet sein. Bei der Maissaat überrollen die Schlepperhinterräder zwei Saatreihen. Die Ergebnisse des Projekts werden Ende 2015 in der LfL-Schriftenreihe veröffentlicht.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im „Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN)“ geförderten Projekts wurden direkt vor der Saat von Erbsen und Hafer mit einem Belastungswagen spurweise definierte Bodenbelastungen generiert. Die Radlasten betragen 2,6 t bei 0,6 bar und 4,6 t bei 1,6 bar Reifeninnendruck, es wurde ein moderner Radialreifen der Dimension 650/65 R 38 verwendet. Die Radlasten entsprechen dem Hinterrad eines Schleppers der 150 PS-Klasse mit angebaute 3 m Bestellkombination, abgesenkt bzw. ausgehoben. Die Untersuchungen wurden auf ortswechselnden, randomisierten Feldversuche über 4 Jahre an fünf Standorten durchgeführt. Die Überfahrt mit dem Belastungswagen erfolgte immer bei tragfähigen, ausreichend abgetrockneten Böden.

Die Erträge in den Fahrspuren des Belastungswagens wurden mit einem unbefahrenen Streifen verglichen (Abb. 1). Hafer zeigt im Mittel aller Standorte und Jahre keine Reaktion auf die mechanische Bodenbelastung vor der Saat. Dagegen reagierten Erbsen in der Spur der höheren Belastungsstufe mit Mindererträgen von 15 % (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2014).

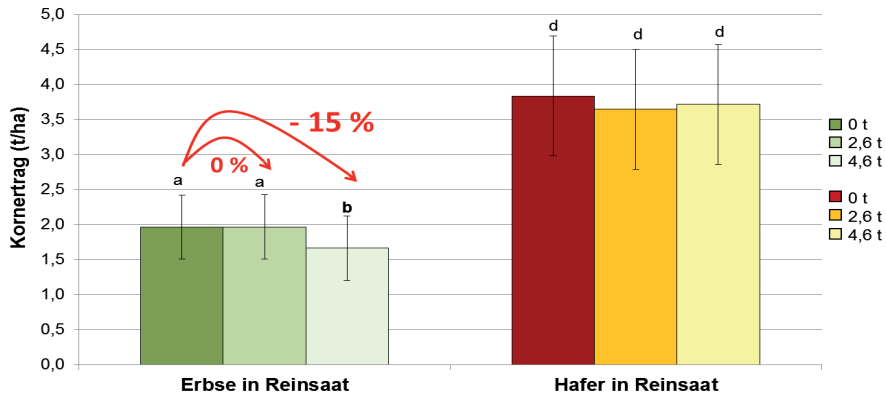


Abb. 1: Erträge von Erbsen und Hafer nach einer Belastung mit 2,6 t und 4,6 t Radlast bei der Saatbettbereitung

Im bayerischen Alpenvorland (Spitalhof, Kempten) wurde von 2007-2011 in einem Exaktversuch Grünland viermal im Jahr Spur an Spur abgestuft mechanisch belastet, und zwar mit einer Gesamtlast von 7 t (Schlepper + leeres Güllefass) und 12 t (Schlepper + volles Güllefass) bei einer Vorfahrtsgeschwindigkeit von 6 bis 7 km/h (7 t) bzw. 2,5 bis 3,5 km/h (12 t). Die Trockenmasseerträge der überrollten Grasbestände (Tab. 3) unterschieden sich signifikant von der nicht überrollten Variante, trotz der insgesamt vergleichsweise niedrigen Belastung („kleine“ Technik) (Diepolder und Raschbacher, 2013).

Tab. 3: TM-Erträge von Grünland bei mechanischer Belastung

Gesamtmasse Schlepper + Güllefass	Vorfahrts- geschwindigkeit	TM-Erträge
T	km/h	dt/ha
-	-	121,2 a
7	6-7	110,7 b
12	2,5-3,5	108,9 b

Die Ergebnisse aus den drei Projekten belegen:

1. Ein Unterlassen des Befahrens und – im Fall der Ackerböden – eine Weiterführung der Lockerung ermöglicht Bodenstrukturen, die das Wachstum empfindlicher Kulturpflanzen begünstigen (hier nachgewiesen für Körnermais, Erben und Grünland).

2. Es gibt Schwellenwerte von mechanischer Bodenbelastung, bei deren Überschreiten Ertragsminderungen auftreten. Eine Kategorisierung ist allein mit den vorgestellten Daten nicht möglich.

3. Weniger Wasserinfiltration, mehr Bodenerosion?

In allen drei in Kapitel 2 vorgestellten Projekten wurden die Böden bodenphysikalisch untersucht. Die teils über Jahre, teils nur im Frühjahr unbefahrenen Böden lagerten in der Krume (!) durchweg weniger dicht, der Anteil schnell dränender Grobporen („Luftkapazität“) und das Infiltrationsvermögen waren höher. Auf dem Standort mit Regelspurverfahren mit sandig-lehmigen Böden waren die Unterschiede zwischen befahren und unbefahren besonders stark ausgeprägt (Abb. 2). Eine Schadverdichtung der befahrenen Böden im Sinne von Lebert et al. (2004) lag in keinem Fall vor

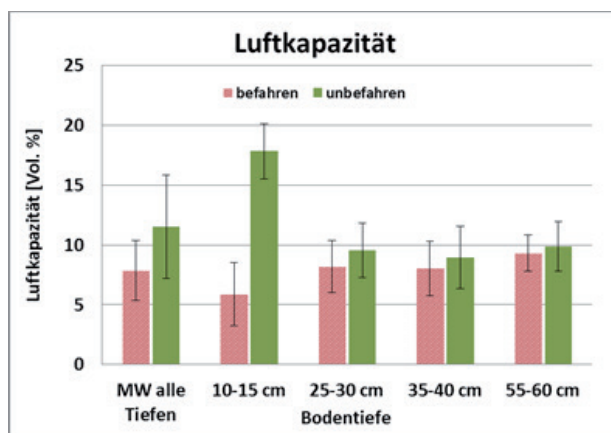


Abb. 2: Luftkapazität (pF 1,8) auf befahrenen und unbefahrenen Feldanteilen im Regelspurverfahren, stark lehmiger Sand

Infiltrations- und Wasserspeichervermögen beeinflussen das Abfluss- und Erosionsgeschehen, die Auswirkungen werden aber erst bei Trockenheit, Nässe oder Starkregen sichtbar. Eine Feldstudie zur Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen mit Dokumentation von Erosionsschäden belegte, dass die Schlepperspuren der klassischen Maissaat (mit Kreiselegge) bei Starkregen mangels Infiltrationsvermögen als Abflussbahnen für Oberflächenwasser fungieren (Kistler et al., 2013). Das abfließende Wasser reißt dann Boden mit,

es entsteht ein Muster von parallelen Rinnen. Ausschlaggebend für diesen Prozess ist das geringe Infiltrationsvermögen des Oberbodens in den Fahrspuren.

4. Maßnahmen

Um das Ertragspotenzial der Böden besser auszuschöpfen und um Bodenerosion zu vermeiden, ist es Aufwand und Kosten wert, die Bewirtschaftung, Arbeitsverfahren und Landmaschinen nach deren Potenzial an Bodenschonung auszuwählen. Bekannte Lösungsansätze sind (aid, 2015):

1. Erhöhen der Tragfähigkeit und Strukturstabilität der Böden durch nicht wendende bzw. konservierende Bearbeitung,
2. Reduzierung der mechanischen Belastung durch Trennung von Feld- und Straßentransport, Reifendruckanpassung, Einsatz neuer Reifentechnologien, Bandlaufwerke, niedrige Radlasten und Vermeiden von Mehrfachüberrollungen sowie
3. Anpassen der Schlagkraft an die Anzahl der Feldarbeitstage mit befahrbaren Böden.

Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Kulturen mit hoher Erntemasse, spätem Erntezeitpunkt und Applikation von Gülle erfordern im besonderen Maß eine strikte Umsetzung von Maßnahmen zum Bodengefügeschutz. Das übliche Silomaisernteverfahren mit Transportfahrzeugen auf Feld und Straße generiert z. B. Mehrfachüberrollungen mit hohen Reifeninnendrücken. Alternativen sind Verfahren mit angepasstem Feldtransport und Überladung des Ernteguts auf Straßentransportfahrzeuge am Feldrand. Bei der Gülleausbringung ist die Trennung von Feld- und Straßentransport bzw. als Alternative die Reifendruckregelung häufiger realisiert.

Die Risiken verschiedener Arbeitsverfahren können mit Expertensystemen oder Modellen eingeschätzt werden (aid, 2015). Zukünftig wird Sensorik am Fahrzeug Informationen zur Bodentragfähigkeit liefern. Einfachstes Mittel, um die Folgen mechanischer Bodenbeanspruchung auf das Bodengefüge zu überprüfen, ist nach wie vor die Spatendiagnose. Wer sie anwenden will, braucht Fachwissen, Erfahrung und den Willen, sich dafür Zeit zu nehmen.

Die Kosten für Maßnahmen zum bodenschonenden Befahren der Böden können berechnet werden und es gibt auch Zahlen zur Einsparungen beim Treib-

stoffbedarf (KTBL, 2011). Etwaige Mehrerträge sind mangels umfassender Versuchsergebnisse mit Variation von Kulturarten auf verschiedenen Standorten nicht exakt benennbar. Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse weisen zumindest bei empfindlichen Kulturen auf ein entsprechendes Potenzial. Die Kosten zur Beseitigung von Off-Site-Schäden durch Bodenerosion trägt i. d. R. die Allgemeinheit. Erosionsvermeidung (hier durch bodenschonendes Befahren) muss aber auch im Interesse eines jeden Landwirts liegen.

5. Fazit

Übliches Befahren der Böden kann bei verdichtungsempfindlichen Kulturen wie Mais, Erbsen oder Grünland dazu führen, dass deren Ertragspotenzial nicht ausgenutzt wird. Verminderte Infiltration erhöht zudem den Oberflächenabfluss und auf Ackerböden das Erosionsrisiko. Es ist deshalb Aufwand und Kosten wert, Bewirtschaftung und Arbeitsverfahren bodenschonend zu gestalten und die dazu passenden Landmaschinen einzusetzen.

6. Literaturangaben

- aid, 2015: Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz. Broschüre Bestell-Nr. 3614, 120 S.
- Brandhuber, R., 2005: Bodengefüge – Status und Veränderungen. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8/2005, 57-60.
- Brunotte, J., Lorenz, M., Sommer, C., Harrach, T., Schäfer, W., 2008: Verbreitung von Bodenschadverdichtungen in Südniedersachsen. Berichte über Landwirtschaft 86(2), 262-283.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2014: Körnerleguminosen und Bodenfruchtbarkeit - Strategien für einen erfolgreichen Anbau. <http://www.bodenfruchtbarkeit.org/pdf>; Aufruf am 08.10.2015.
- Cramer, B., Botschek, J., Weyer, T., 2006: Untersuchung zur Bodenverdichtung nordrhein-westfälischer Böden. Bodenschutz 3, 64-71.
- Demmel, M., Brandhuber, R., Wild, M., 2011: Wie viel schaden Verdichtungen? Landwirtschaft ohne Pflug, Sonderheft Bodenverbessern, Ertrag steigern, 35-39.

- Diepolder, M., Raschbacher, S., 2013: Grünlandböden unter Druck. Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, Heft 46, 48-49; dlV-Verlag, München.
- Duttmann, R., Brunotte, J., Bach, M., 2013, Evaluierung der schlagintensiven Bodenbelastung durch Befahrung und Ableitung von Optimierungshilfen für den Praktiker. Landbauforschung (63), 171-189.
- Isensee, E., Schwark, A., 2006: Langzeitwirkung von Bodenschonung und Bodenverdichtung auf Ackerböden. Berichte über Landwirtschaft 84(1), 17-48.
- Kistler, M., Brandhuber, R., Maier, H., 2013: Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen - Ergebnisse einer Feldstudie. LfL-Schriftenreihe, H. 8, 2013, 114 S.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL), 2011: Bodenschonen und Kosten senken. KTBL-Heft 89, 64 S.
- Lebert, M., Brunotte, J., Sommer, K., 2004: Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden/Regelungen zur Gefahrenabwehr. UBA-Texte 46, 2004, 131 S.

Anpassung an den Klimawandel aus Sicht der Tierernährung

S. Dänicke

Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler-Institut, Braunschweig

1. Einleitung

Der Klimawandel befindet sich in einer Phase eines kontinuierlichen Anstiegs der mittleren Umgebungstemperaturen, wobei es darauf ankommt, nicht in eine exponentielle Phase eines immer stärkeren Temperaturanstiegs überzugehen. Aus Sicht der Tierernährung kann man sich dem Klimawandel auf verschiedenen Wegen zuwenden. Unabhängig vom konkreten Szenario ist der Klimawandel unabwendbar und es kann nur noch darum gehen, ihn möglicherweise zu verzögern. Dabei kommen wir aus Sicht der Tierernährung zu Vermeidungs- oder Abschwächungsstrategien, wobei es in erster Linie um die Reduktionspotenziale der Tierernährung bezüglich der Methan-, Ammoniak- und Lachgasemissionen geht. Diese sollen jedoch hier nicht thematisiert werden, sondern es wird vielmehr diskutiert, wie mit den Folgen des Klimawandels umgegangen werden kann. Die Folgen des Klimawandels können zweierlei Aspekte betreffen: Einerseits kann der Klimawandel eine veränderte Futtergrundlage zu Folge haben. Andererseits muss berücksichtigt werden, welche Folgen Hitzestress auf Tiere hat und welche Möglichkeiten aus Sicht der Tierernährung bestehen, die Thermoregulation und das Wohlbefinden der Tiere unter den Bedingungen des Klimawandels zu unterstützen.

2. Szenarien des Klimawandels

Zunächst einige einleitende Bemerkungen zum Klimawandel; je nachdem welche Emissionsszenarien für Treibhausgase unterstellt werden, erfolgt der Anstieg der Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre unterschiedlich stark. Ein typisches Emissionsszenario geht zum Beispiel davon aus, dass die Treibhausgasemissionen bis 2060 ansteigen, danach aber drastisch abnehmen. Dieses Szenario führt dazu, dass die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre von jetzt 380 ppm auf 550 ppm ansteigt. Dabei wird davon ausgegangen, dass neben fossilen Brennstoffen auch alternative Brennstoffe

eingesetzt werden, um den stetig steigenden Bedarf einer entsprechenden Wirtschaftsentwicklung zu sättigen. Aus dem Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre kann auch in Abhängigkeit von der geographischen Region vorhergesagt werden und wie sich die Temperaturen entwickeln werden. In der oben genannten Prognose wird der Temperaturanstieg in den Jahren 2071 bis 2100 gegenüber dem Jahr 1990 in Deutschland regional unterschiedlich 2 °C bis 3,5 °C betragen (z. B. Gauly et al. 2012).

3. Folgen des Klimawandels in der Tierernährung ...für die Futtermittel

Da der Klimawandel unabwendbar ist, kommt es darauf an, die Folgen dieser Veränderungen für die Tierernährung aus Sicht der Futterbereitstellung und des Wohlbefindens der landwirtschaftlichen Nutztiere abzuschätzen und gegebenenfalls zu beeinflussen. Im Hinblick auf die veränderte Futtergrundlage muss zunächst betont werden, dass nicht nur negative Aspekte, sondern auch positive Effekte berücksichtigt werden müssen. Letztere betreffen den sogenannten CO₂-Düngungseffekt. Hierbei muss nochmals differenziert werden zwischen C₃- und C₄-Pflanzen (Abb. 1). Bei C₃-Pflanzen besteht das Potenzial, dass die Nettophotosyntheseleistung weiter ansteigt, wenn die atmosphärische CO₂-Konzentration in der Zukunft über die aktuelle Konzentration von 380 ppm ansteigt. Da sich die CO₂-Fixierung von C₄-Pflanzen von derjenigen von C₃-Pflanzen unterscheidet, ist bei C₄-Pflanzen bereits bei der gegenwärtigen CO₂-Konzentration eine Sättigung erreicht. Deshalb sind weitere Ertragssteigerungen über die Steigerung der Nettophotosyntheseleistung bei C₄-Pflanzen nicht zu erwarten.

Um die Auswirkungen des Klimawandel auf die Futtergrundlage unter zukünftig zu erwartenden atmosphärischen CO₂-Konzentrationen zu untersuchen, wird am Institut für Biodiversität des Thünen-Instituts die etablierte Versuchsmethode FACE (Free Air Carbon Dioxide Enrichment) angewandt (z. B. Lohölter et al., 2012c; Erbs et al., 2015). In diesen CO₂-Anreicherungsversuchen im Freiland erfolgt der Anbau der Futterpflanzen in ringförmigen Versuchsanordnungen, wobei die angestrebte Freiland-CO₂-Konzentration über einen CO₂-Verdampfer und entsprechende Verteilungen und Gebläse Sensor-gesteuert wird.

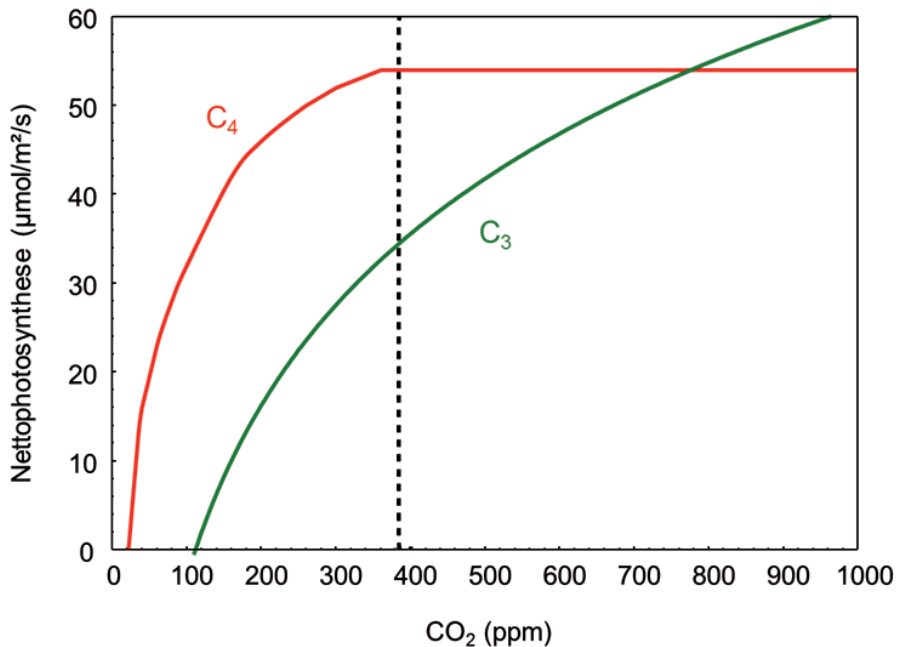


Abb. 1: Reaktion der Photosynthese von C₃- und C₄-Pflanzen auf die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre (Kimball, 1983)

Werden dazu Teilflächen auf demselben Standort verglichen, die unter ansonsten „üblichen“ Bedingungen bewirtschaftet werden, dann ist ein Vergleich von Futterpflanzen aus heutiger und zukünftiger Sicht möglich. Hierzu sind eine Reihe von Versuchen zusammen mit dem Institut für Biodiversität durchgeführt worden (Lohölter et al., 2012c; Lohölter et al., 2012b; Lohölter et al., 2012a; Wroblewitz et al., 2014a; Wroblewitz et al., 2013). Neben der Charakterisierung der Nährstoffe nach Standardverfahren sind weiterführende Methoden etabliert worden, um das Getreideprotein weiter zu fraktionieren. Dabei bildet die sogenannte Osborne-Fraktionierung die Grundlage und liefert die vier Haupt-Fraktionen Albumin, Globulin, Zein und Zeanin. Dabei konnte gezeigt werden, dass bei CO₂-Begasung im Vergleich zur Kontrolle (380 ppm) bei der Futterpflanze Mais der Rohproteingehalt nahezu unverändert war, wohingegen der Anteil der Proteinfractionen Albumin und Globulin reduziert war. Auf der anderen Seite waren die Konzentrationen an Zein und Zeanin erhöht. Mittels HPLC-Methoden kann man diese Fraktionen noch weiter differenzieren (Wroblewitz et al., 2014a). Einerseits wird mit dieser Methodik das Ziel verfolgt, eine kostengünstige Alternative zur Aminosäureanalytik zu etablieren, und

andererseits können veränderte Proteinmuster weiterführende Aussagen zur Proteinqualität ermöglichen, die durch die Aminosäurezusammensetzung nicht darstellbar ist.

Neben der analytischen Charakterisierung sind auch einige Verdauungsversuche nach dem Differenzverfahren durchgeführt worden. Dabei wurden die Maiskörner der Kontrolle (380 ppm) mit FACE-Maiskörnern (550 ppm) hinsichtlich der Verdaulichkeit der Nährstoffe beim Schwein verglichen. Die Verdaulichkeit der organischen Masse und des Rohfettes sowie die Konzentration an umsetzbarer Energie (ME) waren durch die CO₂-Begasung signifikant erhöht.

Auch beim Wiederkäuer wurden ganz überraschende Effekte festgestellt. Nach ruminaler *in sacco*-Inkubation von Maiskörnern konnten deutliche Unterschiede in den Abbaukurven zwischen Kontroll-Mais und FACE-Mais festgestellt werden. Die NDF-Fraktion der Maiskörner wurde nach CO₂-Begasung im Vergleich zur Kontrolle deutlich entschleunigt. Gleiches trifft zu für das Rohprotein. Diese Effekte sind deutlich sichtbar, obwohl für Mais als C₄-Pflanze nicht davon ausgegangen wird, dass sich die Nährstoffzusammensetzung dramatisch ändert. Beide Effekte könnten mit den erwähnten Veränderungen der Proteinfractionen assoziiert sein (Wroblewitz et al., 2014b).

...für das Wohlbefinden, die Gesundheit und das Leistungsvermögen landwirtschaftlicher Nutztiere

Klimawandel ist mit einem Anstieg der Umgebungstemperaturen verbunden, woraus Hitzestress resultieren kann, wenn die Thermoregulationsmechanismen nicht mehr ausreichen, um das thermische Wohlbefinden der Tiere sicherzustellen. Zudem ist bekannt, dass Hitzestress mit einem weiteren Umweltfaktor eng verknüpft ist, nämlich mit der relativen Luftfeuchte. Daher wurden verschiedene Gleichungen entwickelt, welche Temperatur und relative Luftfeuchte zum sogenannten „temperature humidity index“ (THI) verknüpfen (z. B. Hahn, 1999). Anhand physiologischer Kriterien wird definiert, ab welchem THI sich Tiere im Hitzestress befinden. Unterhalb eines THI von etwa 70 wird davon ausgegangen, dass sich die Tiere aus Sicht der Thermoregulation wohlfühlen, zwischen 70 und 80 wird ein milder Hitzestress verursacht und alles was darüber hinausgeht, muss als Hitzestress bzw. starker Hitzestress bezeichnet werden (Diskussion bei Gorniak et al., 2014). Physiologische Indikatoren, welche Hitzestress anzeigen, sind zunächst die Rektaltemperatur und die Atemfrequenz.

So ist bei steigender Umgebungstemperatur ein signifikanter Anstieg der Rektaltemperatur messbar (Abb. 2).

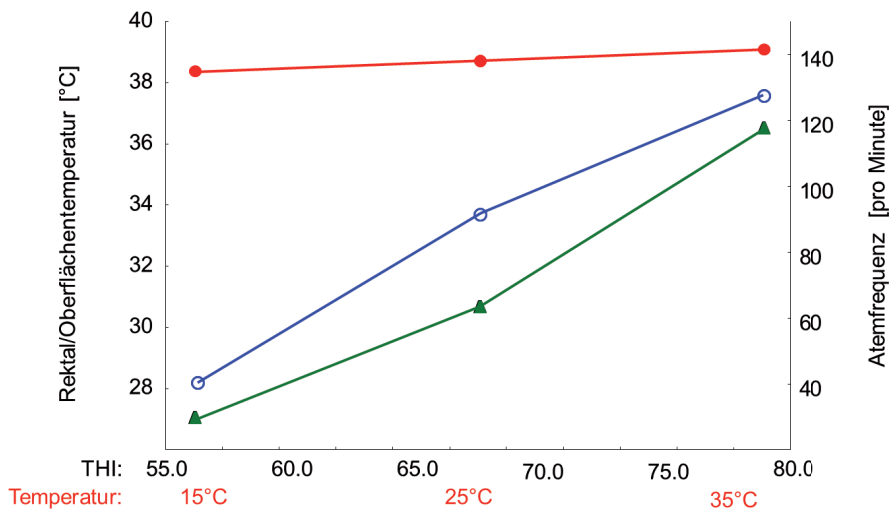


Abb. 2: Effekt der Außentemperatur auf die Rektaltemperatur (-●-), die Oberflächentemperatur (-○-) und die Atemfrequenz (-▲-) von Schafen (Lohölter et al., 2012a)

Der lineare Anstieg der Rektaltemperatur bis zu 35 °C ist begleitet von einem linearen Anstieg der Oberflächentemperatur der Haut und einem gleichgerichteten Anstieg der Atemfrequenz. Neben den thermoregulatorischen Aspekten der Anpassung der Atemfrequenz an die Umgebungstemperatur sind auch verdauungsphysiologische Konsequenzen zu berücksichtigen. Die Erhöhung der Atemfrequenz bewirkt, dass mehr CO₂ abgegeben, der Bikarbonatpuffer im Blut zunehmend erschöpft wird und es möglicherweise zur respiratorischen Alkalose kommen kann. Auf der anderen Seite sinkt die Pufferkapazität des Speichels und die Wiederkauaktivität nimmt ab. Außerdem fließt Speichel durch zunehmende Maulatmung nach außen ab, so dass insgesamt Pufferkapazität für die Regulation des Pansen-pH-Wertes verlorengeht. Daher kann es unter Hitzestressbedingungen zur subakuten Panzenazidose kommen.

Bei der Beurteilung der physiologischen Anpassungsmechanismen unter variierenden Umgebungstemperaturen muss berücksichtigt werden, dass es eine sogenannte thermoneutrale Zone gibt, also einen Bereich, in dem sich die Tiere thermoregulatorisch wohlfühlen, in dem keine zusätzlichen Mechanismen akti-

viert werden müssen, um etwa zusätzlich Wärme zur Aufrechterhaltung der Körperkerntemperatur zu erzeugen oder andererseits um Stoffwechselwärme bei steigenden Umgebungstemperaturen abzugeben. Die Breite der thermoneutralen Zone hängt von mehreren Faktoren ab, z. B. vom Leistungsniveau. Ein hochleistendes Tier erzeugt mehr Stoffwechselwärme, so dass die kritische untere Umgebungstemperatur niedriger liegt. Andererseits wird es einem hochleistenden Tier bei hohen Umgebungstemperaturen zunehmend schwerer fallen, die mit der hohen Leistung einhergehende Stoffwechselwärme abzugeben.

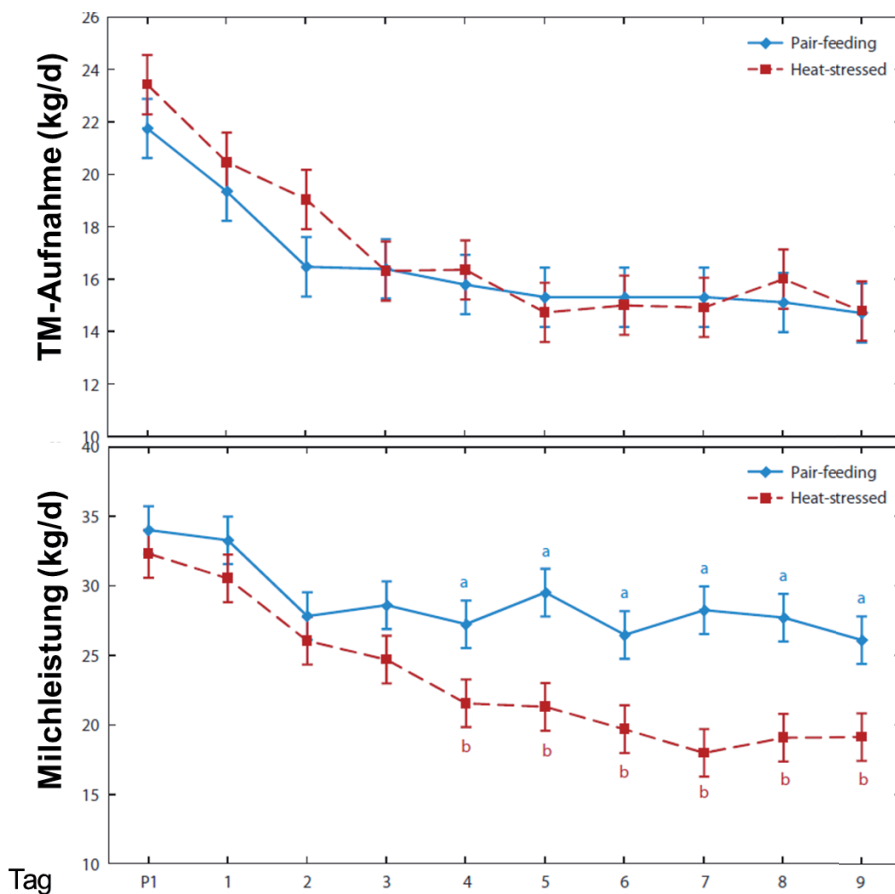


Abb. 3: Einfluss von Hitzestress auf die Trockenmasse-(TM)-Aufnahme und die Milchleistung im Vergleich zu einer pair-fed-Gruppe, die unter thermoneutralen Bedingungen gehalten wurde (Baumgard and Rhoads, 2013)

Auch Verdauungsprozesse können von hohen Umgebungstemperaturen beeinflusst sein. Um den Einfluss von Hitzestress auf die Verdaulichkeit besser untersuchen zu können, ist es notwendig, thermisch bedingte, verzehrsregulatorische Effekte durch „pair feeding“-Bedingungen auszuschließen. Bei den angesprochenen Verdauungsversuchen mit Hammeln wurden die Maissilagen aus den zuvor beschriebenen FACE-Versuchen verwendet. Unter steigendem Hitzestress wurde die Verdaulichkeit erfasst. Eine steigende atmosphärische CO₂-Konzentration hatte weder Auswirkungen auf die chemische Zusammensetzung der Maissilage noch auf die Nährstoffverdaulichkeit, so dass der Effekt des THI gepoolt werden konnte. Von niedrigen bis mittleren THI-Werten konnte ein Anstieg der Verdaulichkeit festgestellt werden, die sich im Weiteren bei extremem Hitzestress nicht weiter erhöhte.

Bei Milchkühen in der mittleren Laktation wurden ähnliche Untersuchungen unter „pair feeding“-Bedingungen durchgeführt. Unter gleichen Bedingungen, d. h. gleicher Trockenmasse-Aufnahme nahm die Milchleistung der „pair feeding“-Gruppe, die unter Hitzestress-Bedingungen gehalten wurde, leicht ab (Abb. 3).

Das erscheint zunächst paradox, weil der Einfluss der Energie- und Nährstoffaufnahme durch die pair-feeding-Bedingungen ausgeschaltet werden kann, was die Vermutung nahelegt, dass Stoffwechseleffekte aufgetreten sind. Ähnliche Ergebnisse sind durch das FBN in Dummerstorf in Respirationskammer-Versuchen erzielt und publiziert worden. Dort sind neben den Merkmalen der Wärmeproduktion und Nährstoffoxidation auch metabolische Variablen gemessen worden. Man sieht, dass im Protein- und Energiestoffwechsel deutliche Unterschiede auftreten. Es wurden Tiere vor und nach der Abkalbung betrachtet. Unter Hitzestressbedingungen stieg die Harnstoffkonzentration im Blut signifikant an, wogegen sich bei der Kontrollgruppe das Harnstoffniveau nicht änderte. Erhöhte Harnstoffkonzentrationen im Blut können unter diesen Bedingungen als Indikator für Muskelkatabolismus angesehen werden, während das Niveau unveresterter Fettsäuren (NEFA) die Lipolyse peripherer Fettdepots widerspiegelt. Unter Hitzestressbedingungen muss trotz des Energiemangels paradoxerweise festgestellt werden, dass bei den Tieren keine übersteigerte Lipolyse festgestellt werden kann, während die thermoneutral gehaltene „pair feeding“-Gruppe Lipolyse durchführte. Zu diesen Beobachtungen wurden verschiedene Hypothesen formuliert, die auf Folgendes hinauslaufen: Wenn die „pair feeding“-Gruppe betrachtet wird, die unter thermoneutralen Bedingungen

gehalten wurde und aufgrund der restriktiven Fütterung unter einem gewissen Nährstoffmangel leidet, folgt - wie zu erwarten ist - die Lipolyse peripherer Fettdepots; NEFA werden für die Milchfettproduktion verwertet und Gluconeogenese wird über die Leber sicher gestellt sowie Glucose in der Milchdrüse zu Lactose verwertet. Bei den hitzestressierten Tieren hingegen ist eine starke metabolische Inflexibilität zu beobachten, welche dadurch charakterisiert ist, dass es paradoxerweise zu einer vermehrten Ausschüttung von Insulin kommt. Diese blockiert die Lipolyse, weshalb die Fettdepots hier weitestgehend verschont werden. Gleichzeitig kommt es zu einem verstärkten Muskelkatabolismus, der Bereitstellung glucoplastischer Aminosäuren, auch Gluconeogenese wird weiter betrieben, nur wird die Glucose nicht in der Milchdrüse zur Bildung von Milchzucker verwendet, sondern in anderen peripheren Gewebe verwertet, weshalb es zu einer Reduktion der Milchleistung kommt.

Bei all diesen erwähnten regulatorischen Stoffwechselprozessen darf nicht übersehen werden, dass der Haupteinfluss von Hitzestress in einer Reduktion der Futtermittelaufnahme besteht. Da die Wärmeabgabemechanismen durch den Organismus begrenzt sind, stellt die Reduktion der Nährstoffzufuhr, die stets mit der Generierung von Verdauungs- und Stoffwechselwärme assoziiert ist, die effektivste regulatorische Stellgröße dar, um metabolischem Hitzestress zu begegnen.

Über multiple regressive Zusammenhänge kann man den Einfluss des THI auf die freiwillige Futtermittelaufnahme sowie weitere Leistungsparameter unter praktischen Fütterungsbedingungen beschreiben. Dazu ist es erforderlich, den THI, die Futtermittelaufnahme, die Wasseraufnahme sowie weitere tierindividuelle Daten zu erfassen. Eine derartige Datenerfassung ist in den Jahren 2010 bis 2012 für die Versuchsstation des Instituts für Tierernährung in Braunschweig dokumentiert worden. Über komplexe statistische Auswertungsmodelle wurden kritische THI-Werte unter diesen Bedingungen abgeleitet (Gorniak et al., 2014). Für die TM-Aufnahme ist der kritische THI-Wert im Bereich von etwa 60 anzusiedeln. Höhere Werte führen zu einem Abfall der TM-Aufnahme. Auch bei der Milchleistung wird bei einem THI von 60 ein Maximum erreicht, wobei höhere Werte zu einem Rückgang führen (Gorniak et al., 2014). Wie oben erwähnt, wird international ein kritischer THI-Wert um die 70 angegeben, was darauf hinweist, dass es keinen festen kritischen THI-Wert gibt, unter dem die Tiere Hitzestress erleiden, sondern dass hier weitere Faktoren mitberücksichtigt werden müssen.

4. Anpassungsstrategien (Verminderung von Hitzestress durch Fütterungsmaßnahmen)

Eine Möglichkeit besteht in der Erhöhung der Energiekonzentration des Futters, um die Energieversorgung bei durch Hitzestress reduzierter Futteraufnahme zu gewährleisten. Eine Erhöhung der Energiekonzentration der täglichen Ration ist in der Regel verbunden mit einem höheren Anteil leicht verdaulicher Kohlenhydrate und einem verminderten Anteil an Rohfaser. Insbesondere beim Wiederkäuer, der aus verdauungsphysiologischen Gründen auf einen Mindestanteil an strukturwirksamer Rohfaser angewiesen ist, kann eine Reduktion des Rohfaseranteils bis zu dieser physiologischen Grenze zu einer Reduktion der Wärmeproduktion führen. Dies resultiert daraus, dass Rohfaser (pflanzliche Zellwandbestandteile) einen höheren Aufwand an Verdauungsarbeit erfordert, die mit Fermentationsverlusten (z. B. Methan) sowie einer verringerten Verwertung der absorbierten Fermentationsprodukte verbunden ist. All diese Prozesse generieren zusätzliche Wärme; man sagt, sie sind mit einem höheren Wärmeinkrement verbunden.

Eine weitere Möglichkeit, die Energiekonzentration der täglichen Ration zu erhöhen, besteht in der Verwendung von Futterfetten, die sich zudem durch ein geringeres Wärmeinkrement auszeichnen. Das bedeutet, dass die Verwertung der Futterfette im Stoffwechsel mit einer geringeren Wärmebildung verbunden ist. Ähnlich wie bei der Reduktion der Rohfaser physiologische Mindestgrenzen einzuhalten sind, so sind auch beim Futterfetteinsatz physiologische Obergrenzen zu berücksichtigen.

Auch die Eiweißversorgung muss den veränderten Bedingungen angepasst werden. Einerseits muss dem bei höheren Umgebungstemperaturen auftretenden Rückgang der Futteraufnahme und damit der Eiweißaufnahme durch eine höhere Eiweißkonzentration im Futter entgegengewirkt werden, aber andererseits darf keine Überversorgung an Eiweiß auftreten, da dieser Überschuss im Stoffwechsel energieaufwändig in Harnstoff umgewandelt werden muss, was letztlich wieder mit der Generierung zusätzlicher Wärme verbunden ist.

Neben den Hauptnährstoffen (Fette, Eiweiße, Kohlenhydrate) interagieren auch Mineralstoffe, Vitamine und unerwünschte Stoffe mit dem Energie- bzw. Wärmeumsatz des Tieres und müssen im Rahmen einer komplexen Rationsgestaltung berücksichtigt werden.

Dass der mit steigenden Umgebungstemperaturen ansteigende Tränkwasserbedarf abzusichern ist, dürfte selbstverständlich sein, wobei unter diesen Bedingungen über eine verringerte Tränkwassertemperatur positive Effekte auf das Wohlbefinden der Tiere erreicht werden können.

Neben den aufgezeigten Möglichkeiten, über die Rationsgestaltung einen Einfluss auf die Futterbedingte Wärmebildung auszuüben, stehen bestimmte Optionen der Fütterungstechnik für eine Reduktion der Wärmebildung durch das Tier zur Verfügung. So kann sich ein verringertes Futterangebot während heißer Tagesphasen bei erhöhtem Angebot während der kühleren Abend- und Nachtstunden einerseits positiv auf die Aufrechterhaltung der Futteraufnahme auswirken und andererseits dazu beitragen, die fütterungsbedingte Wärmebildung auf Tageszeiten zu verschieben, zu denen die Wärmeabgabe durch die verringerten Umgebungstemperaturen für das Tier erleichtert wird.

5. Literaturangaben

- Baumgard LH, Rhoads RP, Jr. 2013. Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*. 1:311-37.
- Erbs M, Manderscheid R, Hüther L, Schenderlein A, Wieser H, Dänicke S, Weigel HJ 2015. Free-air CO₂ enrichment modifies maize quality only under drought stress. *Agron Sustain Dev*. 35:203-212.
- Gauly M, Bollwein H, Breves G, Brügemann K, Dänicke S, Das G, Demeler J, Hansen H, Isselstein J, König S, Lohölter M, Martinsohn M, Meyer U, Potthoff M, Sanker C, Schröder B, Wrage N, Meibaum B, Von Samson-Himmelstjerna G, Stinshoff H, Wrenzycki C 2012. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. *Animal*. 1-17.
- Gorniak T, Meyer U, Südekum KH, Dänicke S 2014. Impact of mild heat stress on dry matter intake, milk yield and milk composition in mid-lactation Holstein dairy cows in a temperate climate. *Arch Anim Nutr*. 68:358-69.
- Hahn GL 1999. Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J Anim Sci*. 77:10-20.
- Kimball BA 1983. Carbon-dioxide and agricultural yield - An assemblage and analysis of 430 prior observations. *Agronomy Journal*. 75:779-788.

- Lohölter M, Meyer U, Döll S, Manderscheid R, Weigel HJ, Erbs M, Höltershinken M 2012a. Effects of the thermal environment on metabolism of deoxynivalenol and thermoregulatory response of sheep fed on corn silage grown at enriched atmospheric carbon dioxide and drought. *Mykotoxin Research*. 28:219-227.
- Lohölter M, Meyer U, Lebzien P, Manderscheid R, Weigel H-J, Erbs M, Flachowsky G, Dänicke S 2012b. Effects of free air carbon dioxide enrichment and drought stress on the rumen in sacco degradability of corn silage harvested at various times. *Landbauforschung des vTI*. 62:43-50.
- Lohölter M, Meyer U, Manderscheid R, Weigel HJ, Erbs M, Flachowsky G, Dänicke S 2012c. Effects of free air carbon dioxide enrichment and drought stress on the feed value of maize silage fed to sheep at different thermal regimes. *Arch Anim Nutr*. 66:335-346.
- Wroblewitz S, Hüther L, Manderscheid R, Weigel HJ, Wätzig H, Dänicke S 2013. The effect of free air carbon dioxide enrichment and nitrogen fertilisation on the chemical composition and nutritional value of wheat and barley grain. *Arch Anim Nutr*. 67:263-278.
- Wroblewitz S, Hüther L, Manderscheid R, Weigel HJ, Wätzig H, Dänicke S 2014a. Effect of rising atmospheric carbon dioxide concentration on the protein composition of cereal grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62:6616-6625.
- Wroblewitz S, Hüther L, Manderscheid R, Weigel HJ, Wätzig H, Dänicke S 2014b. The impact of Free Air Carbon Dioxide Enrichment (FACE) on nutrient digestibility of maize grains in pigs and broiler chickens and on ruminal in sacco degradability. *Anim. Feed Sci. Technol*. 196:128-138.

Präzisierung des P-Düngebedarfs auf dem Ackerland durch zusätzliche Bodenuntersuchungen

W. Zorn, H. Schröter, G. Kießling

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Problemstellung

Die Diskussionen über die langfristige Phosphatversorgung der Landwirtschaft werden stark durch die global begrenzten Rohphosphatreserven geprägt. Der Phosphatbedarf der deutschen Landwirtschaft ist dabei deutlich differenziert. Einerseits haben langjährig negative P-Bilanzen zu einer zum Teil dramatisch gesunkenen P-Versorgung der Böden in Thüringen und anderen Ackerbauregionen geführt. Andererseits liegt in Veredlungsregionen häufig eine sehr hohe P-Versorgung der Böden vor.

Das Beibehalten bzw. die Rückkehr zu einer bedarfsgerechten P-Düngung auf unterversorgten Standorten erfordert experimentell belegte Richtwerte für die Düngebedarfsermittlung sowie eine Optimierung der Düngemittelapplikation.

Ziel der Anwendung zusätzlicher Bodenuntersuchungen in Thüringer Feldversuchen zur P-Düngung ist eine verbesserte Bewertung der P-Versorgung der Böden bei Beibehaltung der CAL-Methode als Standardmethode. Die Ableitung eines Vorschlages für ergänzende Untersuchungspakete kommt dem Wunsch vieler Landwirte nach „umfangreicheren“ Analysen und Bewertungen entgegen. Auf der Grundlage langjähriger P-Düngungsversuche in Thüringen werden nachfolgend entsprechende Untersuchungspakete für Landwirte vorgeschlagen.

2. Material und Methoden

Zur Überprüfung der Richtwerte für eine ökonomisch sinnvolle P-Düngung wurden auf 8 Thüringer Ackerstandorten zwischen 1993 und 1999 statische Feldversuche zur P-Düngung angelegt.

Die P-Düngung erfolgt folgendem Schema (PG = Prüfglied):

PG 1: ohne P-Düngung; PG 2: 100 % der Abfuhr;

PG 3: 130 % der Abfuhr; PG 4: 70 % der Abfuhr.

Die P-Düngung erfolgte in allen Versuchen vor der Saat mittels Triplesuperphosphat, das flach in den Boden eingearbeitet wurde.

Seit dem Erntejahr 2012 wird auf dem Standort Friemar ein weiterer Feldversuch zur Prüfung verschiedener P-Düngemittelapplikationstechnologien durchgeführt.

Tab. 2: Standorte aktueller P-Düngungsversuche auf Ackerland in Thüringen

Standort	Ver-suchs-beginn	Boden	P _{CAL} mg/100g	AZ ¹⁾	°C ²⁾	mm NS ³⁾
Bad Sal-zungen	1999	Buntsand-stein-verwitt.	6,9	32	8,1	586
Burkers-dorf	1993	Schieferver-witterung	6,0	36	7,0	642
Dornburg	1993	Lößpara-brau-nerde	8,0	70	8,1	578
Friemar	1993	Löß-Braun-schwarzerde	6,1	90	7,8	519
Großen-stein	2002	Lößpara-brau-nerde	4,4	51	7,8	608
Haufeld	1993	Muschelkalk-rendzina	12,7	36	7,0	635
Heßberg	1993	Bergton-Staug-ley	18,5	43	7,1	760
Kirchengel	1993	Löß-Rendzina	8,5	60	7,8	568
Friemar	2012	Löß-Braun-schwarzerde	1,4	90	7,8	519

¹⁾ Ackerzahl, ²⁾ Jahresmitteltemperatur, ³⁾ langjähriges Niederschlagsmittel

Versuchsbegleitend erfolgten zusätzliche Bodenanalysen. Eine Übersicht über ausgewählte Ergebnisse wurden auf dem VDLUFA-Kongress 2012 vorgestellt (Zorn, et al., 2012). Weiterhin wurden ausgewählte Versuchsstandorte auf die CAL-löslichen P-Gehalte bis 100 cm Tiefe analysiert.

Im Rahmen dieses Beitrages werden die aufgeführten Bodendaten in Beziehung zu der Ertragswirkung in den Feldversuchen zur P-Düngung gesetzt.

3. Ergebnisse und Vorschlag für zusätzliche Bodenuntersuchungen zur P-Düngebedarfsermittlung

Die P-Düngewirkung auf ähnlichen Standorten mit vergleichbarem P_{CAL} -Gehalt (Lößstandorte Dornburg und Friemar) unterscheidet sich zum Teil erheblich. Die P-Düngung führte in Dornburg überwiegend zu mittleren bis hohen und signifikanten Mehrerträgen (Getreide: 5 bis 8 dt/ha), in Friemar dagegen nur zu geringen, nicht signifikanten.

Nach 18 Jahren Versuchslaufzeit liegt auf der Nullparzelle (P0) in Dornburg ein P_{CAL} -Gehalt von 3,6 mg P/100g Boden vor, in Friemar 4,2 mg P/100g Boden. Innerhalb der 18 Jahre ist der P-Gehalt in Dornburg um 2,9 mg P/100g Boden sowie in Friemar um 1,6 mg P/100g Boden. Die Abnahme des P-Gehaltes um 1 mg P/100g Boden resultiert in Dornburg aus einem P-Entzug von 75 kg P/ha, in Friemar von 154 kg P/ha. Die Untersuchung der Standorte auf die P-Freisetzungsrate nach Floßmann und Richter (1982) weist für den Standort Dornburg im Vergleich zu Friemar eine deutlich geringere P-Nachlieferung sowohl auf der Nullparzelle als auch auf den gedüngten Parzellen aus.

Tab.3: Parameter der P-Dynamik im Boden der Variante ohne P-Düngung (Probenahme nach der Ernte 2010, 0-20 cm) und P-Düngewirkung der Standorte Dornburg und Friemar

Standort	CAL-P mg/100g	Abnahme CAL-P ¹⁾ mg/100g Boden	P-Bilanz kg P/mg P je 100g Boden	P_{fr} ²⁾ $\mu\text{g P}/100\text{g}^*$ 10min	P-Dünge- wirkung
Dornburg	3,6 (GKB)	-2,9	75	32	mittel/hoch signifikant
Friemar	4,2 (GKB)	-1,6	154	80	gering/ ohne n. s.

¹⁾ in 18 Jahren Versuchslaufzeit, aus Regression abgeleitet

²⁾ P_{fr} = Freisetzbare P nach Floßmann u. Richter (1982)

Beide Standorte unterscheiden sich auch deutlich hinsichtlich der P_{CAL} -Gehalte in 20 bis 40 cm Tiefe. Der P-Gehalt in den Varianten ohne P-Düngung beträgt in

Dornburg 1,5 mg P/100g sowie in Friemar 4,0 mg P/100g (Tab. 4). Die höhere P-Nachlieferung je mg P_{CAL} /100 g Boden scheint teilweise auch auf dem höheren P-Angebot im Unterboden (20-40 cm) zu beruhen.

Tab. 4: P_{CAL} -Gehalte im Boden (0 bis 100 cm) in den statischen P-Düngungsversuchen Dornburg und Friemar (Probenahme nach Ernte 2012)

Bodentiefe cm	Dornburg		Friemar	
	ohne P	P-Abfuhrdüngung	ohne P	P-Abfuhrdüngung
0-20	3,7	7,9	4,2	7,4
20-40	1,5	2,8	4,0	7,3
40-60	0,7	0,7	1,1	1,3
60-80	0,7	0,7	0,7	0,7
80-100	0,6	0,7	0,7	0,7

Die geringere Wirkung der P-Düngung in Friemar scheint damit eine Folge der höheren P-Freisetzungsrate und der höheren P-Gehalte im Unterboden zu sein. Dieser Zusammenhang wird durch die anderen Versuchsstandorte bestätigt.

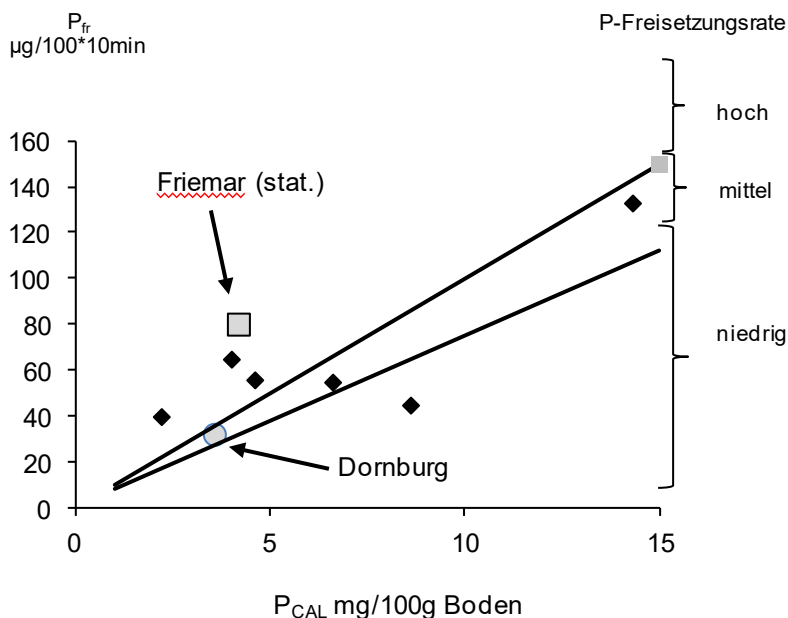


Abb. 1: P-Freisetzungsrate (P_{fr}) des Bodens von 8 statischen P-Düngungsversuchen (Varianten ohne P-Düngung), Bewertung nach Kerschberger (1992), verändert.

Zur Bewertung der P-Freisetzungsrates werden die Richtwerte nach Kerschberger (1992) herangezogen (vergl. Abb. 1).

Die P-Freisetzungsrates (P_{fr}) auf dem Standort Friemar wird als hoch bewertet, während in Dornburg eine mittlere P-Kinetik vorliegt. Drei weitere Versuchstandorte verfügen über eine hohe, ein Standort über eine niedrige P-Nachlieferung.

Floßmann und Richter (1982) sowie Kerschberger (1992) empfehlen für Standorte mit hoher P-Freisetzungsrates eine Reduzierung der P-Düngung, bei niedriger Freisetzung eine Erhöhung der P-Düngung. Bezugsbasis ist jeweils die Empfehlung auf Grundlage der CAL-Methode.

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse werden folgende Untersuchungspakete zur Düngeberatung der Landwirte vorgeschlagen:

obligatorische Analysen

0-20 cm pH(Kalkbedarf), P_{CAL} , K_{CAL} , Mg

Zusatzanalysen

0-20 cm P-Freisetzungsrates (P_{fr}) bei Gehaltsklasse A-C

20-40 cm pH, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg bei Gehaltsklasse A-C

0-20 cm B, Cu, Mn, Zn (CAT-Extrakt)

in pfluglosen Systemen

0-10 cm pH, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg

10-20 cm pH, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg

20-30 cm pH, P_{CAL} , K_{CAL} , Mg

4. Bewertung der Ergebnisse

Die P-Freisetzungsrates wird zur Modifizierung der aus der CAL-Analyse abgeleiteten P-Düngeempfehlung für die Gehaltsklassen A bis C herangezogen (Tab.5).

Tab.5: Bewertung der P-Freisetzungsrates unter Berücksichtigung der P-Gehaltsklasse (nach CAL)

P-Freisetzungsrates	P-Gehaltsklasse	P-Düngeempfehlung analog Gehaltsklasse
hoch	A	B
	B	C
	C	D
mittel	A	ohne Korrektur
	B	ohne Korrektur
	C	ohne Korrektur
hoch	A	A
	B	A
	C	B

Aus beiden P-Fractionen der P-Freisetzung können nach Flossmann und Richter (1982) der dimensionslose Kinetikfaktor k_{10} sowie die P-Freisetzungsrates nach folgender Gleichung errechnet werden:

1. Wasserextraktion 1:20; 60 min = P_{H_2O}

2. Wasserextraktion 1:20; 10 min = P_{10}

Berechnungen

$$P_A = P_{CAL} - P_{H_2O}$$

$$k_{10} = 0,1 \cdot \ln \left(\frac{P_A}{P_A - P_{10}} \right) \quad \text{Angabe in min}^{-1} \quad (\text{Kinetikfaktor})$$

$$P_{fr} = k_{10} \cdot P_{CAL} \quad \text{Dimension: } \mu\text{g P}/100\text{g} \cdot 10 \text{ min}$$

Nach Angaben von Flossmann und Richter (1982) sowie Kerschberger (1992) stellt der Kinetikfaktor k_{10} eines Bodens eine relativ konstante und vom P_{CAL} -Gehalt unabhängige Größe dar. Dieser Zusammenhang ermöglicht einerseits eine langfristige Nutzung vorhandener Analysenwerte in der Beratung. Weiterhin erscheint eine Regionalisierung der P-Freisetzungsrates für vergleichbare Standorte als möglich.

Auf Grundlage umfangreicher Untersuchungen durch Kerschberger (1992) wurde für bestimmte Standorte ein relativ feststehender Kinetikfaktor k_{10} ermittelt.

Tab. 6: Standorte mit relativ feststehender P-Nachlieferung (nach Kerschberger, 1992)

Bodenart	geologische Herkunft
Sand (sehr leicht)	Diluvium
Sand (leicht)	Diluvium
Stark lehmiger Sand (mittel)	Löß
Sandiger schluffiger Lehm (mittel/schwer)	Löß

Der Vorschlag zur Bewertung der P-Gehalte in 20 bis 40 cm (Tab. 7) resultiert aus den aktuellen Feldversuchsergebnissen sowie aus Untersuchungen von Richter, et al. (1977). Die Autoren fanden einen unterdurchschnittlichen Beitrag des Unterbodens zur P-Ernährung der Kulturen, wenn der P-Gehalt unter 1,5 mg P/100 g Boden lag. Nach diesen Untersuchungen

Tab. 7: Berücksichtigung des P-Gehaltes in 20-40 cm (vorläufige Empfehlung)

P_{CAL}-Gehalt in 20-40 cm	P-Gehaltsklasse 0-20 cm	P-Düngeempfehlung
>80 % von 0-20 cm	A	analog Gehaltsklasse A
	B	Reduzierung
	C	Reduzierung
<1,5 mg P/100 g	A	Zuschlag
	B	Zuschlag
	C	Zuschlag

Die Bewertung der P-Gehalte im Boden in pfluglosen Systemen erfordert die Berücksichtigung weiterer Faktoren wie Standort und Bodenbearbeitungsverfahren. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für die Beratung. Niedrige P-Gehalte unterhalb 10 cm Bodentiefe erfordern in der Regel eine verstärkte P-Zufuhr in diese Tiefe.

5. Fazit und Schlussfolgerungen

Auf der Grundlage aktueller Ergebnisse zur P-Düngung und der Literatur wurde ein Vorschlag zur Präzisierung der Bewertung der P-Versorgung der Böden erarbeitet. Die CAL-Methode bleibt auch weiterhin Standardmethode. Dieses Verfahren sollte bei Vorliegen der Gehaltsklassen A bis C durch die Ermittlung

der P-Freisetzungsrates nach Flossmann und Richter 0-20 cm Bodentiefe und gegebenenfalls CAL-Untersuchung weiterer Bodenschichten ergänzt werden. Ein weiteres diagnostisches Verfahren stellt der Einsatz der Pflanzenanalyse dar.

Neben der präzisierten P-Versorgung des Bodens ist bei der P-Düngerbemessung die Berücksichtigung des pflanzenartspezifischen P-Bedarfs erforderlich. Im Interesse einer hohen P-Effizienz bei der Bewirtschaftung von Standorten mit unzureichender P-Versorgung ist eine Optimierung der Applikation der P-Düngemittel wie zum Beispiel die Einarbeitung vor der Saat oder die P-Unterfußdüngung erforderlich. Dazu ist in der Regel der Einsatz wasserlöslicher Phosphatdünger notwendig.

6. Literaturangaben

- Floßmann, R., Richter, D., 1982: Extraktionsmethode zur Charakterisierung der Kinetik der Freisetzung von P aus der festen Phase des Bodens in die Bodenlösung. *Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde* 26, 703-709.
- Kerschberger, M., 1992: Grenzwerte und Versorgungsstufen zur Einstufung und Bewertung von Makro- und Mikronährstoffgehalten Thüringer Böden. Hrsg. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Thüringen Jena 9 S.
- Richter, D., Kerschberger, M., Marks, G., 1977: Einfluß des Nährstoffgehaltes des Unterbodens (21...40 cm) auf die Versorgung der Pflanzen mit Phosphor und Kalium. *Archiv Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkunde* 21, 239-274.
- Zorn, W., Schröter, H., Kießling, G., 2012: Untersuchungen zur P- und K-Dynamik in Ackerböden – Ergebnisse aus Thüringer Feldversuchen. *VDLUFA-Schriftenreihe Band 68/2012, Kongressband 2012*, 315-322.

Bewertung verschiedener Extraktionsverfahren zur Prognose des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen in Böden deutscher Weinanbaugebiete

N. Herwig, T. Strumpf

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

Zusammenfassung

In Voruntersuchungen wurde festgestellt, dass der Zusammenhang zwischen mobilem Kupfer und Kupfergesamtgehalt von mehreren Einflussgrößen abhängt. Einer Arbeitshypothese folgend, führt die Summe aller Einzeleinflussfaktoren (Bodenparameter, Bewirtschaftungsdauer und -management, Klima, Alterung) zu standortbezogenen Kupferverfügbarkeiten, welche sich in konkreten Kupfergehalten in unterschiedlichen Modellextrakten ausdrücken.

In der Literatur werden für die Modellierung der Kupferverfügbarkeiten verschiedene Extraktionsverfahren beschrieben. In bisherigen Freilanduntersuchungen wurden das nach BBodSchV (Anonym, 1999) mobile Kupfer im NH_4NO_3 -Extrakt und das nach DIN CEN, 2007 im CaCl_2 -Extrakt für die Bodenfauna und -flora verfügbares Kupfer verwendet (Strumpf et al., 2013). Darüber hinaus wurden VDLUFA Methoden einbezogen, welche ebenfalls eine Bestimmung von „verfügbaren“ Kupferanteilen im Boden durch EDTA- und CAT- ($\text{CaCl}_2 + \text{DTPA}$) Extraktion ermöglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Kupfergehalte in den verwendeten Extrakten auf unterschiedlichste Weise mit den Gesamtkupfergehalten korrelieren.

Ziel der Untersuchungen war es zu klären, welcher in der landwirtschaftlichen Praxis verwendete Modellextrakt am besten geeignet ist, um das Kupferanreicherungsverhalten in Regenwürmern valide zu prognostizieren. Dies ist notwendig, um reale Expositionen und die damit verbundenen Auswirkungen gegenüber wichtigen Indikatoren der Bodengüte für anstehende Risiko-Nutzen-Abschätzungen kupferhaltiger Pflanzenschutzmittel realistisch abbilden zu können.

Abstract

Preliminary investigations showed that the correlation of mobile copper content and total copper content is influenced by different parameters. The working thesis is, that the sum of all influence factors such as soil parameters, years of cultivation, different management practices, climatic changes, aging effects leads to site specific copper availability, which therefore will be expressed in different copper amounts of the different extracts.

Different extraction processes are described in the literature. To investigate the availability of copper in field soils the NH_4NO_3 -extract (according to BBodSchV (ANONYM, 1999) and the CaCl_2 -extract (according to DIN GEN, 2007) were used to describe mobile copper and available copper for plants and earthworms, respectively (Strumpf et al., 2013). Furthermore extraction processes of VDLUFA (EDTA- und CAT- ($\text{CaCl}_2 + \text{DTPA}$)) were used for describing the availability of copper in vineyard soils sampled.

Our results show, that different extraction processes are differently correlated to the total copper content.

The aim of this investigation was to clarify which extracting agent used in the agricultural practice is the best to predict the copper accumulation behaviour in earthworms. This is necessary for the realistic description of the real exposition and impact of copper on key indicators of soil quality and can be helpful for the risk-benefit assessment of copper containing plant protection products.

Vortragsskizze

Die Kupferverfügbarkeit hängt von zahlreichen Standortfaktoren ab, die in der Summe aller Einzelfaktoren (Gesamtgehalte, Bodenparameter, Bewirtschaftungsdauer und -management, Klima, Alterung) eine standortspezifische Kupferverfügbarkeit prägen (Strumpf et al., 2015a).

Kupferrückstände in Freilandböden sind einer Alterung durch Festlegungsprozesse unterworfen (z. B. van Sprang, 2008), was sich expositionsseitig direkt auf die Kupferverfügbarkeiten auswirkt (z. B. Weidenauer, 2012). So unterscheidet sich die Toxizität von Kupfer gegenüber Bodenorganismen in Laborversuchen

mit Kupfer dotierten Laborböden deutlich von langjährig kontaminierten Freilandböden (z. B. Scott-Fordsmann et al., 2000; Oorts et al., 2006; Delbeke, 2008). Aufgrund der langjährigen Bewirtschaftung sowie Bodenverschiebungen im Rahmen von Flurbereinigungen und -neuordnungen weisen Dauerkulturen nicht nur zwischen den einzelnen Anbauflächen und -gebieten, sondern auch in den bodeneigenen Bestandteilen unterschiedliche Belastungsverteilungen auf (Herwig und Strumpf, 2014) – sie sind bezüglich ihrer Gesamtgehalte kleinstrukturiert (Abb. 1).

Trotz des z. T. relativ hohen Kupfergesamtgehaltes im Boden sind die für Bodenorganismen und Pflanzen verfügbaren prozentualen Anteile sehr gering. Zwischen den Kupfergesamtgehalten in Böden von Sonderkulturen und dem dort anzutreffenden bioverfügbaren Kupfer besteht nur ein tendenzieller Zusammenhang (Steindl et al., 2011).

Deshalb muss die Zulassungsbehörde hinsichtlich der Neuzulassung von kupferhaltigen Fungiziden/Bakteriziden entscheiden, ob wie bisher auf Grundlage von Gesamtgehalten oder in einem neuen Bewertungsansatz auf Grundlage von verfügbaren Kupfergehalten das aus der Anwendung dieser PSM ausgehende Risiko für Bodenorganismen beschrieben werden soll.

Zudem fordert die Kommission ein Überwachungsprogramm für gefährdete Gebiete, in denen die „Kontamination von Böden ... durch Kupfer Anlass zur Sorge gibt oder geben könnte“ (Anonymus, 2015). Hierzu sollten Vorschläge zur Methode betreffs des Nachzulassungs-Monitorings abgeleitet werden: Wie wirkt sich die Verwendung von mobilen Anteilen bei Flächenmischproben und/oder bei Auftrennung in Teilflächen bei der Modellierung des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen auf das Bestimmtheitsmaß aus? Sollen längerfristige Beobachtungen der Auswirkungen auf Indikatororganismen auf Grundlage der Flächen- oder Teilflächenmittelwerte bei identifiziertem „gefährdetem Gebiet“ erfolgen?

Mit den in der Vorstudie (Strumpf et al., 2015b) gewonnen Bodenproben von 52 Flächen und ihren 208 Teilflächen wurden nach normierten Verfahren die Kupfergesamtgehalte im Königswasser-Extrakt (VDLUFA, 1991) und die mobilen Kupferanteile in den Modellextrakten NH_4NO_3 (DIN ISO, 1997), CaCl_2 (DIN CEN, 2007), EDTA - Ethylendiamintetraessigsäure (VDLUFA, 1997) und $\text{CaCl}_2/\text{DTPA}$ - Diethylentriaminpentaessigsäure (CAT) (VDLUFA, 2002) ermittelt.

Die Auswirkungen kupferhaltiger PSM auf Bodenorganismen werden mit dem Quadrat des multiplen Korrelationskoeffizienten (Bestimmtheitsmaß R^2) unter der Annahme beschrieben, dass zwischen der Kupferkonzentration (Bodengeamt- bzw. Bodenextrakt – Gehalt) und der Auswirkung (Kupferakkumulation in Regenwurmzönosen) eine lineare Abhängigkeit besteht.

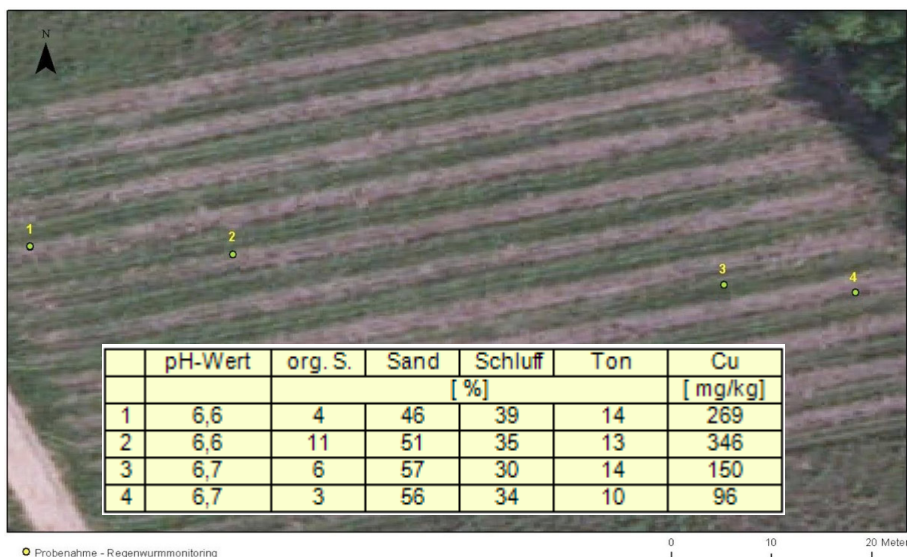


Abb. 1: Verteilung der Cu-Gesamtgehalte, Korngröße, pH, sowie org. Substanz (Humus) auf einer Rebfläche (Probenahmepunkte 1-4) im Anbaugebiet Mosel (Bereich Bernkastel).

Als Maß für den Transfer des Kupfers vom Boden in Bodenorganismen (Pfad Boden/Bodenorganismus) und ihrer Anreicherung in Bodenorganismen wurden für jede Fläche/ Teilfläche auf Mittelwertbasis Biokonzentrationsfaktoren nach folgender Gleichung berechnet:

$$\text{BCF} = \frac{\text{Cu}_{\text{Regenwurm}}}{\text{Cu}_{\text{Boden}}}$$

Biokonzentrationsfaktor [-]

$\text{Cu}_{\text{Regenwurm}}$ Kupfer Gesamtgehalt im Regenwurm [mg Cu/kg (TM)]

Cu_{Boden} Kupfer Gesamtgehalt im Boden bzw. Gehalt im Extrakt [mg Cu/kg (TM)].

Für jede Untersuchungs- bzw. Teilfläche wurden die mobilen Anteile auf der Grundlage von gemittelten Werten zur Berechnung der Kupferakkumulation in der Regenwurmzönose verwendet.

Die Bestimmtheitsmaße R^2 zeigen, dass die verwendeten Extrakte in unterschiedlichster Weise mit den Gesamtkupfergehalten korrelieren (Tab. 1, Zeile 1 – A+B).

Bei Verwendung der beiden Chelatbildner EDTA und CAT ist der Zusammenhang zwischen potentiell verfügbarem Kupfer und dem Cu_{ges} sehr eng, was insofern nicht überrascht, da diese auf der Grundlage zahlreicher Einzelbefunde mit ackerbaulich genutzten Freilandböden ausgewählt wurden, um eine Grundlage für Handlungsoptionen zum Zwecke einer bedarfsgerechten Pflanzenernährung zu schaffen.

Die bodenchemischen Zusammenhänge erlauben aber noch keine qualifizierten Aussagen zu den Auswirkungen auf Bodenorganismen, da Boden- und Umweltfaktoren unberücksichtigt bleiben, welche direkt oder indirekt die Bioverfügbarkeit von Kupfer beeinflussen.

Der Zusammenhang zwischen (mobilen) Bodengehalten ($Cu_{EXTRAKT}$) und Gewebgehalten im Regenwurm ist bei den Datenpaaren Cu_{ges} bzw. $Cu_{EXTRAKT}$ zu Cu_{RW} auf Flächenbasis im Vergleich zur Teilflächenbasis tendenziell etwas größer mit Ausnahme des mobilen Kupfergehaltes im NH_4NO_3 -Extrakt (Tab. 1, Zeile 2 – A+B).

Die Modellierung des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen durch Verknüpfung bioverfügbarer Kupferanteile ($Cu_{EXTRAKT}$) von Standortböden mit berechneten Biokonzentrationsfaktoren (BCF's) der Regenwurmzönose (Tab. 1, Zeile 3 – A + B). zeigt vergleichbare Ergebnisse und lässt sich mit beiden Auswertemethoden (Flächen-/Teilflächenbasis) gut erfassen.

Die Verwendung von Flächenmittelwerten hat den Vorteil, dass der analytische Aufwand im Vergleich zur Teilflächenauswertung für die Flächencharakterisierung gering ist; aber möglicherweise den Nachteil, dass die verfügbarkeitsprägenden Einflüsse über die Fläche nivelliert werden.

Die in dieser Studie ermittelten multiplen Korrelationskoeffizienten der Auswertung auf Teilflächenbasis von $Cu_{NH_4NO_3} = R^2 0,83$, $Cu_{EDTA} = R^2 0,82$ und $Cu_{CAT} = R^2 0,81$ zeigen bei Verwendung dieser Bodenextrakte für die Prognose des Kupferanreicherungsverhaltens in Regenwurmzönosen keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 1: Ermittelte Bestimmtheitsmaße R^2 der Zusammenhänge zwischen Cu-Bodengesamtgehalt (Cu_{ges}) und Kupfergehalt im Bodenextrakt ($Cu_{EXTRAKT}$), $Cu_{EXTRAKT}$ und Kupfergehalt im Regenwurm (Cu_{RW}) sowie $Cu_{EXTRAKT}$ und berechnete BCF's auf Basis der Flächen- (A) und Teilflächenmittelwerte (B) für den Bodenhorizont bis 20 cm.

$Cu_{EXTRAKT}$ /kg Boden (TM) auf Basis von Flächenproben (n = 52)					
A	KW	NH_4NO_3	$CaCl_2$	EDTA	CAT
Cu_{ges} . Boden	--	0.68	0.76	0.95	0.93
Cu/kg RW (FM)	0.72	0.47	0.51	0.74	0.75
BCF Kupfer	0.70	0.80	0.62	0.86	0.85
$Cu_{EXTRAKT}$ /kg Boden (TM) auf Basis von Teilflächenproben (n = 208)					
B	KW	NH_4NO_3	$CaCl_2$	EDTA	CAT
Cu_{ges} . Boden	--	0.80	0.62	0.89	0.93
Cu/kg RW (FM)	0.60	0.57	0.46	0.60	0.65
BCF Kupfer	0.66	0.83	0.66	0.82	0.81

Die Modellierung der Kupferverfügbarkeiten unter Verwendung der EDTA und CAT Extraktionsverfahren (z. B. Hornburg und Brümmer, 1993; Tandy et al., 2004; Sabiené et al., 2004) verfolgt das Ziel, einen Mangel bzw. einen Überschuss von Elementen (Kupfer) in Anhängigkeit verschiedener Bodeneigenschaften (pH, C_{org} , C_{anorg} , KAK) festzustellen, ohne einen Test auf Organismen durchführen zu müssen.

Im NH_4NO_3 -Extrakt wird der mobile Spurenelementanteil (Kupfer) im Boden erfasst. Mit diesem Modellextrakt kann der Standorteffekt der Bioverfügbarkeit gut abgebildet werden, da hier standortspezifisch alle verfügbarkeitsprägenden Einflussparameter einfließen.

Es wird vorgeschlagen, im Rahmen der Düngebedarfsermittlung der Bewirtschafteter zukünftig auch den Kupfergehalt im NH_4NO_3 -Extrakt mit zu erfassen. Diese Ergänzung hat den Vorteil, dass mit einer Bodenprobe gleichzeitig Managementmaßnahmen im Hinblick auf Pflanzenernährung und Minimierung von Wachstumsbeeinträchtigungen bei Kulturpflanzen und eintretenden Wirkungen von

Kupferbelastungen auf die Bodenzönose abgeleitet werden können.

Zusammenfassung

Die Kupferverfügbarkeit steht in direktem Zusammenhang mit möglichen Auswirkungen auf die Bodenzönose und ist damit ein ‚Schlüsselement‘ bei den Risiko-Nutzen-Bewertungen durch die Zulassungsbehörden. Die Stärke der Auswirkungen auf die Lebensbedingungen der Regenwürmer hängt jedoch im Wesentlichen von den vorliegenden Boden- und Anbauparametern ab.

Die Ergebnisse aus den langjährigen Untersuchungen zur Belastungsverteilung im Boden im Allgemeinen und die Studien zum Verhalten, Verbleib, Exposition und zu den Auswirkungen auf Bodenorganismen im Speziellen zeigen, dass eine realitätsnahe Risikoabschätzung von Kupferbodengehalten nur auf Basis von bioverfügbaren Anteilen und nicht wie bisher auf Grundlage von Gesamtgehalten möglich ist.

Mit gewonnenen Bodenproben aus durchgeführten Freilanduntersuchungen der Regenwurmzönose bei 16 ausgewählten Weinbaubetrieben wurde nach Verknüpfung bioverfügbarer Kupferanteile mit berechneten Biokonzentrationsfaktoren der Regenwurmzönose in einfachen Regressionsansätzen geprüft, mit welchem normierten Bodenextrakt ($\text{Cu}_{\text{Extrakt}}$) das Kupferanreicherungsverhalten in Regenwurmzönosen am besten prognostiziert werden kann.

Mit Hilfe des Kupfergehaltes im NH_4NO_3 -Extrakt kann ein Modellansatz für eine vollzugsrelevante ökotoxikologische Bewertung für Böden auf Basis der bioverfügbaren Fraktion für die Risikoabschätzung der Auswirkungen auf Bodenorganismen entwickelt werden.

Literaturangaben

Anonymus, 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999, BGBl. I S. 1554.

Anonymus, 2015: Durchführungsverordnung (EU) 2015/232 der Kommission vom 13. Februar 2015 zur Änderung und Berichtigung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Kupferverbindungen (Abl. L 39/7 vom 14.2.2015).

- DIN CEN, 2007: Bodenbeschaffenheit – Eluierungsverfahren für die anschließende chemische und ökotoxikologische Untersuchung von Boden und von Bodenmaterialien. Teil 2: Schüttelverfahren mit einem Flüssigkeits-/ Feststoffverhältnis von 10l/kg Trockenmasse ISO/TS 21268-2: 2007.
- Delbeke, K., 2008: European Union Risk Assessment Report: Voluntary Risk Assessment of Copper, Copper II sulphate pentahydrate, Copper(I) oxide, Copper(II)oxide, Dicopper chloride trihydroxide; Summary of the Terrestrial Effects Chapter: PNEC derivation for copper in the terrestrial environment: a summary, European Copper Institute (ECI), Juni 2008, pp.20, Berichterstatter Italien). Letzter Zugriff 01.06.2015 (https://.echa.europa.eu/.../vrrar_summary_4_pnec_en.rtf).
- DIN ISO 19730, 1997: Bodenbeschaffenheit – Extraktion von Spurenelementen mit Ammoniumnitratlösung.
- Herwig, N., Strumpf, T., 2014: Determination of the bioavailability of heavy metals in vineyard soils using sequential extraction method. Julius Kühn Archiv 447, 130-131.
- Hornburg, V., Bruemmer, G.W., 1993: Behavior of Heavy-Metals in Soils. 1. Heavy Metal Mobility. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 156(6), 467-477; DOI: 10.1002/jpln.19931560603.
- Oorts, K., Bronckaerts, H., Smolders, E., 2006: Discrepancy of the microbial response to elevated Cu between freshly spiked and long-term contaminated soils. Environ. Toxicol. Chem. 25, 845-853.
- Sabienė, N., Brazauskienė, D.M., Rimmer, D., 2004: Determination of heavy metal mobile forms by different extraction methods. Ekologija 1, 36-41.
- Scott-Fordsmand, J.J., Weeks, J.M., Hopkins, S.P., 2000: Importance of contamination history for understanding toxicity of Copper to earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta: Annelida), using neutral-red retention assay. Environ. Toxicol. Chem. 19(7), 1774-1780.
- Steindl, A., Strumpf, T., Riepert, F., 2011: Bioavailable copper and other heavy metal contents in organically and conventionally managed German vineyard and hop soils. Part 3: Determination of plant available contents of copper and other heavy metals by NH₄NO₃-extraction. Journal für Kulturpflanzen 63(5), 156-166.
- Strumpf, T., Strassemeyer, J., Horney, P., Herwig, N., Stendel, U., 2015a: Copper availability in specialty crops – a simple preliminary assessment of leaching - aging factor on the example quality viticulture. Journal für Kulturpflanzen 67(1), 22-31; DOI: 10.5073/JFK.2015.01.02.

- Strumpf, T., Strassemeyer, J., Krück, St., Horney, P., Hommel, B., Felgentreu, D., Herwig, N., 2015b: Methodological aspects in the collection of earthworm communities in quality viticulture. *Journal für Kulturpflanzen*, 67(1), 5-21; DOI: 10.5073/JFK.2015.01.01.
- Strumpf, T., Strassemeyer, J., Krück, S., Stendel, U., 2013: A simple model of possible copper contents in earthworms using model soil extracts from old vineyards; a comparative assessment of NH_4NO_3 and CaCl_2 extracts. *Journal für Kulturpflanzen* 65, 479-487. DOI: 10.5073/JFK.2013.12.03.
- Tandy, S., Bossart, K., Mueller, R., Fitschel, J., Hauser, I., Schulin, R., Nowack, B., 2004: Extraction of Heavy Metals from Soils Using Biodegradable Chelating Agents. *Environ. Sci. Technol.* 38, 937-944.
- van Sprang, P., Vangheluwe, M., van Hyfte, A., Heijerick, D., Vandenbroele, F.F., Verdonck, F., Oorts, K., Long, K., Delbeke, J., Schoeters, B., Dwyer, B., Adams, B., 2008: European Union Risk Assessment Report (pp. 24 ff.) in: Voluntary Risk Assessment of Copper, Copper II sulphate pentahydrate, Copper(I)oxide, Copper(II)oxide, Dicopper chloride trihydroxide; Chapter 3.3 – Risk Characterisation, European Copper Institute (ECI), Juni 2008, pp.143, Berichterstatter Italien). Letzter Zugriff 01.06.2015. https://echa.europa.eu/documents/10162/.../vrrar_risk_characterization_en.rt..
- Weidenauer, M., 2012: Bioverfügbarkeit von gealterten Kupferrückständen in Weinbergböden. Fachgespräch: „Kupfer als Pflanzenschutzmittel“ - Berlin-Dahlem, 1. Dezember 2011. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut* 164, 11-24.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1991: Methode A 2.4.3.1. Aufschluss mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, DIN (1983): DIN 38414, Teil 7. Beuth Verlag, Berlin.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1997: Methode A 7.6.1 Spurennährstoffe in EDTA.. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. I Die Untersuchung von Böden, 2. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 6.4.1: Bestimmung von Haupt- und Spurennährstoffen in Kultursubstraten im Calciumchlorid/DTPA-Auszug (CAT-Methode). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 3. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Optimierung der Kaliumdüngung auf Basis von Vorrat und Verfügbarkeit

K. Oltmer, A. Reijneveld, K. Broelsma, K. Oerlemans

Eurofins Agro BGG, Wageningen

1. Einleitung

Bodenanalysen zur Qualitätssteigerung landwirtschaftlicher Produkte wurden bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts eingeführt. Seitdem sind sie in der landwirtschaftlichen Praxis eine wichtige Basis für Düngeempfehlungen. Seit beinahe ebenso langer Zeit wird über die angemessenste Messmethode für Bodenuntersuchungen diskutiert. Soll man den (teilweisen) Vorrat, die ‚Quantity‘, oder die pflanzenverfügbare Nährstoffmenge, die ‚Intensity‘, als Messgrundlage verwenden?

Heutzutage verwenden die meisten Bodenuntersuchungen jeweils eine Messung pro Nährstoffparameter. Umfangreichere Untersuchungen werden meistens aus Kostengründen nicht durchgeführt. In der Literatur wird jedoch wiederholt aufgezeigt, dass zwei oder mehr Messungen pro Parameter ein genaueres Bild zur Dynamik und Verfügbarkeit von Nährstoffen für die Pflanze ergeben (z. B. Kuipers, 1951; Ehlert et al., 2003). Unter anderem Van Rotterdam-Los (2010) zeigte diese Tatsache insbesondere für Kalium auf. Die Entwicklung neuer Analysemethoden und Labortechniken in den letzten Jahren hat es ermöglicht, der landwirtschaftlichen Praxis umfangreichere Bodenuntersuchungen routinemäßig anzubieten, wobei Kosten und Analysedauer im Rahmen gehalten werden. Am Beispiel von Kalium und einem Praxisversuch mit Kartoffeln wird der Nutzen von Information von sowohl Verfügbarkeit als auch Vorrat dargestellt.

Kapitel 2 schildert den aktuellen Stand im Bereich Bodenuntersuchungen. Methoden zur Vorratsmessung von Kalium werden in Kapitel 3 beschrieben. Anschließend folgt eine kurze Darstellung der Rolle von Kalium und Calcium im Kartoffelanbau (Kapitel 4). Kapitel 5 illustriert die Optimierung der Kaliumdüngung an einem Praxisversuch des Kartoffelverarbeiters FarmFrites Poland. Der Beitrag schließt ab mit einem Fazit (Kapitel 6).

2. Bodenuntersuchungen: der aktuelle Stand

Bodenuntersuchungen sind für viele Landwirte eine wichtige Grundlage für Bodenmanagement und Düngeplanung. Der effiziente Umgang mit Nährstoffen ist nicht nur vom betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkt von Belang, sondern tritt auch durch das wachsende Bewusstsein eines ressourcenschonenden Düngemiteleinsatzes immer mehr in den Vordergrund. Eine Steigerung der Nährstoffeffizienz ist nur mit umfangreichen und aussagekräftigen Bodenuntersuchungen möglich. Hierzu gehören sowohl Informationen zur Pflanzenverfügbarkeit (Intensity), als auch zum Bodenvorrat, der das Nachlieferungsvermögen der Nährstoffe aus dem Boden beschreibt (Quantity).

Die Anzahl der Parameter, die Auskunft geben über den Nährstoffzustand des Bodens, ist im Laufe der letzten Jahrzehnte kontinuierlich angestiegen. Mit der zunehmenden Anzahl an Bodenparametern stieg auch die Diversität der nasschemischen Analysemethoden, was zu zeitintensiven und teuren Untersuchungen führte. Für den Landwirt praxistaugliche Bodenuntersuchungen sollten jedoch eine kurze Analysedauer haben und nicht zu teuer sein. Um diese Rahmenbedingungen zu erfüllen, verwendet BLGG heute für die Analyse aller Bodenparameter zwei Methoden, und zwar die CaCl_2 -Methode für alle pflanzenverfügbaren Nährelemente und Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) für die Vorrats- und Bodenfruchtbarkeitsmessungen (Abb. 1).

Houba et al. (1990, 1994) und Van Erp (2002) propagieren die Einführung von 0,01 M CaCl_2 als alleiniges Extraktionsmittel zur Messung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe. 0,01 M CaCl_2 hat mehr oder weniger dieselbe Ionenstärke wie die durchschnittliche Salzkonzentration in landwirtschaftlichen Böden und soll daher den vorherrschenden Bedingungen am besten entsprechen (Houba et al., 1986). Seit 2004 hat BLGG die CaCl_2 -Methode schrittweise eingeführt und wird heute als alleiniges Extraktionsmittel zur Messung der Pflanzenverfügbarkeit verwendet.

Die schnelle und saubere NIRS-Methode ist im Futtermittelbereich bereits weitläufig etabliert, bei Bodenuntersuchungen jedoch noch nicht sehr verbreitet. BLGG startete zu Beginn des Jahrtausends mit dem Aufbau der NIRS-Kalibration für Bodenparameter (Bussink und Vedder, 2006) und hat somit bereits gut zehn Jahre Erfahrung mit dieser Technik (Vedder et al., 2009). NIRS wird zur Messung der Bodenfruchtbarkeitsparameter verwendet, wie beispielsweise

C-organisch, die organische Substanz, die Eigenschaften der Kationen-Austausch-Kapazität, kohlensaurer Kalk, die Körnergrößenverteilung, und den Gesamtstickstoff.

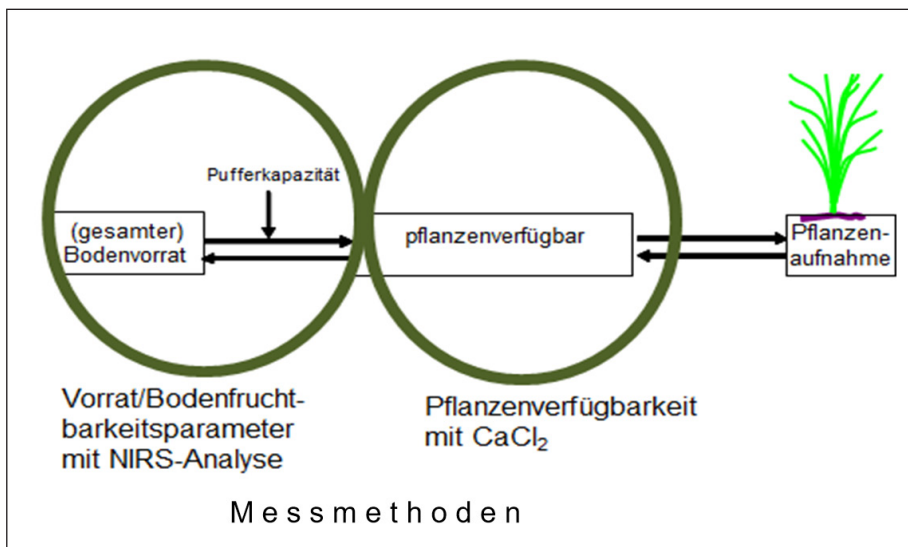


Abb.1: Zwei Methoden zur Messung der Pflanzenverfügbarkeit und des Bodenvorrats.

Eine wichtige Frage beim Thema NIRS ist immer die nach der Referenzmethode. Alle Bodenparameter kennen eine eigene Referenzmethode. Kapitel 3 gibt eine kurze Beschreibung der Referenzmethode zur Vorratsmessung vom Kalium.

3. Messung des K-Vorrats

Kalium bindet sich als positiv geladenes Ion an den Ton-Humus-Komplex (THK) im Boden. Die Fähigkeit des Ton-Humus-Komplexes positiv geladene Ionen an sich zu binden und bei Bedarf an die Pflanze abzugeben ist die Kationen-Austausch-Kapazität. (KAK). Die Menge der am THK gebundenen Kalium-Ionen kann demnach als Vorrat gesehen werden. Je nach vorherrschenden Bodenverhältnissen befinden sich größere oder kleinere Mengen an Kalium-Ionen am THK, also ist der Vorrat größer oder kleiner.

Die KAK wird im Rahmen der routinemäßigen Bodenuntersuchungen mit NIRS gemessen. Referenzmethode ist hier die Messung der effektiven KAK und der austauschbaren Ionen mit einer Hexamine-Cobalt-Trichlorid-Lösung (ISO 23470). Die effektive KAK ist, im Gegensatz zur potenziellen, die KAK bei dem tatsächlich vorherrschenden pH-Wert im Boden. Zur Beurteilung der KAK werden drei Größen herangezogen: 1) die Höhe der KAK, gemessen in mmol+/kg; 2) die Höhe des KAK-Besatzes, gemessen in %; 3) die Verteilung der Elemente über die Bindungsplätze am Austauscher, je Element gemessen in %.

Allgemeingültige Zielintervalle für den Kalium-Vorrat gibt es nicht. Richtwerte zum K-Vorrat, den ein Boden besitzen sollte, hängen von der auf dieser Fläche gemessenen KAK ab und sind demnach schlagspezifisch. Wird beispielsweise auf einer Fläche mit einer KAK von 50 mmol+/kg ein K-Vorrat von 270 kg K/ha (oder 2,1 mmol+/kg) gemessen, so ist der Vorrat als gut einzustufen. Wird der gleiche Vorrat dagegen auf einer Fläche mit einer KAK von 200 mmol+/kg gemessen so wird dieser Vorrat als zu niedrig bewertet.

Ob die gemessene KAK wiederum dem anzustrebenden Niveau entspricht, richtet sich auch hier nach den auf dieser Fläche vorherrschenden Verhältnissen. In diesem Falle wäre dies der gemessene Tongehalt und der Gehalt an organischer Substanz sowie der für diese Bodenart optimale pH-Wert. Die hieraus resultierende Düngeempfehlung richtet sich demnach immer stärker nach den tatsächlich gemessenen Bedingungen einer Fläche und immer weniger nach Standardwerten für bestimmte Bodenarten.

4. Kalium und Calcium bei Kartoffeln

Kartoffeln sind zweifelsohne bekannt für ihren hohen Kalium-Bedarf. Kalium ist notwendig für den Wasserhaushalt sowie für die Produktion und den Transport von Stärke und Zucker in der Pflanze. Kalium verringert den Trockensubstanzgehalt in den Knollen und erhöht deren Kalium-Gehalt. Beide Faktoren verringern das Risiko auf Blaufleckigkeit (Dijk, 2010). Was geschieht jedoch bei einer Überversorgung des Bodens mit Kalium?

Die Nährelemente konkurrieren miteinander um die Bindungsstellen am Austauscher. Bei einer suboptimalen Verteilung der Elemente kommt es zwangsläufig zu einer Unter- bzw. Überversorgung bestimmter Elemente. Dies ist vor

allem bei einer niedrigen KAK ein Problem. So kann eine übermäßige Kaliumdüngung zu einer Überbesetzung von Kalium-Ionen an den Austauschern führen, was dann wiederum die Verdrängung anderer wichtiger Nährstoffe wie Calcium zur Folge hat. Bei einem zu geringen Calcium-Besatz, was gleichzusetzen ist mit einem zu geringen Calcium-Vorrat im Boden, kann während der Saison nicht genügend Calcium in die Bodenlösung nachgeliefert werden, und es besteht die Gefahr auf Calciummangel in der Kultur.

Ein Calciummangel kann zu Qualitätsproblemen wie Hohlherzigkeit oder Braunherzigkeit führen. Calcium muss der Kartoffelpflanze vor allem zur Knolleninduktion und während des Knollenwachstums ausreichend zur Verfügung stehen (Velvis, 2001). In diesem Vegetationsstadien muss also eine zureichende Menge an Calcium in der Bodenlösung vorhanden sein.

Diese Wechselwirkung zwischen Kalium und Calcium wird an einem mehrjährigen Feldversuch von FarmFrites Poland, dem pflanzenbaulichen Beraterunternehmen DLV Plant und BLGG untersucht.

5. Fallstudie Farm Frites Poland

Ziel des Forschungsvorhabens von FarmFrites Poland, DLV-Plant und BLGG ist die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit um Erträge und Produktqualität zu steigern und Kosten zu senken. Auf diese Weise soll die Lieferung hochwertiger Rohstoffe für den Verarbeitungsstandort Lebork nachhaltig sichergestellt werden (Grinwis, 2010).

Wichtigster Anlass für diesen Feldversuch war für FarmFrites Poland die Tatsache, dass die Kartoffelfelder über Jahrzehnte lediglich nach der Verfügbarkeit von Kalium gedüngt wurden, und zwar zunächst mit 300 und später mit 200 kg K_2O per ha. Dies hat zu einer Überversorgung von Kalium am THK geführt. Da der KAK auf den Flächen mit weniger als 100 mmol+/kg relativ niedrig ist, waren am Austauscher kaum noch freie Plätze für andere Nährelemente.

Der Feldversuch soll Auskunft geben über zwei Forschungsfragen: Zum ersten wird der Effekt einer reduzierten Kaliumdüngung auf Qualität und Ertrag der Kartoffelsorten Russet Burbank und Santana untersucht. Zum zweiten wird geschaut, ob die Kali-Überversorgung zu einem Calciummangel bei den Kartoff-

feln geführt hat und ob eine gerichtete Calciumdüngung die Knollenqualität steigern kann.

Versuchsvarianten

Für den Kaliumversuch wurde im Ausgangsstreifen eine Standardvariante von 200 kg K₂O bestimmt. In den anderen drei Versuchsstreifen wurde die Düngung auf 150, 100 und 50 kg K₂O reduziert. Der Versuch lief über drei Jahre und wurde in dreifacher Wiederholung durchgeführt.

Im Calciumversuch wird eine Nullvariante mit zwei verschiedenen Varianten verglichen, nämlich einer einmaligen Düngergabe von 74 kg/ha und einer zweimaligen Düngergabe von insgesamt 148 kg/ha, verteilt über zwei gleichgroße Gaben von 74 kg/ha vor dem Pflanzen und zur Knolleninduktion. Dieser Versuch läuft noch. Es können noch keine vorläufigen Ergebnisse gegeben werden.

Ergebnisse Kalium

Tab. 1: Ergebnisse Feldversuch Reduzierung Kalium-Düngung

Versuchsvariante (kg K ₂ O)	Brutto-Gewicht (t/Versuchsstreifen)	Unterwassergewicht
50	16,9	385
100	15,3	389
200	17,0	381

Tabelle 1 zeigt die Brutto-Gewichte (in t) und die Unterwassergewichte der in den verschiedenen Versuchsstreifen geernteten Kartoffeln. Es stellte sich heraus, dass die Reduzierung der Kalium-Düngung zu keinen Ertragseinbußen geführt hat. Der Kaliumbedarf wurde demnach von dem hohen Kaliumvorrat im Boden sichergestellt. Dies ist jedoch nur möglich, wenn der Kaliumvorrat nachhaltig auf optimalem Niveau gehalten wird.

6. Fazit

Messungen sowohl zur Verfügbarkeit als auch zum Vorrat der Nährelemente geben ein genaueres Bild von der Nährstoffdynamik im Boden als Untersuchun-

gen mit nur einem Parameter je Nährstoffelement. Für eine nachhaltige Bodenfruchtbarkeit ist vor allem eine regelmäßige Kontrolle des Bodenvorrats von Belang. Umfangreiche und, im Sinne von Kosten und Analysedauer, praxistaugliche Bodenanalysen können mithilfe der CaCl_2 -Methode und NIRS realisiert werden. Ein Feldversuch illustriert, dass detaillierte Angaben zu Vorrat und Verfügbarkeit zu erheblichen Einsparungen bei der Kaliumdüngung führen.

7. Literaturangaben

- Bussink, W., Vedder, H.W., 2006: Bodenuntersuchung in den Niederlanden völlig neugestaltet: Nahinfrarotspectroscopie eine effiziente Methode für die Bodenanalyse. In: Kongressband 2005 Bonn, VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 61/2006, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Dijk, I.W., 2010: Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Lelystad.
- Ehlert, P., Morel, C., Fotyma, M., Destain, J.P., 2003: Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted into environmental goals. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 166, 409-415.
- Grinwis, M., 2010: Soil and fertilisation in Poland. Bachelor-Thesis, HAS Hogeschool, 's-Hertogenbosch.
- Houba V.J.G, Novozamsky, I., Huybregts, A.W.M., Van der Lee, J.J., 1986 Comparison of Soil Extractions by 0.01 M CaCl_2 , by Euf and by Some Conventional Extraction Procedures. *Plant and Soil* 96, 433-437.
- Houba, V.J.G, Novozamsky, I., Lexmond, T.M., Van der Lee, J.J., 1990: Applicability of 0.01 M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 21 2281-2290.
- Houba, V.J.G, Novozamsky, I, Van der Lee, J.J., 1994: Status and future of soil and plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25, 753-765.
- Kuipers, S.F., 1951: Bemestingsleer, Nederlandse Land- en Tuinbouwbibliotheek. J.B. Wolters, Groningen.
- Reijneveld, A.J., 2013: Unravelling changes in soil fertility of agricultural land in The Netherlands. 2013, PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.

- Van Erp, P.J., 2002: The potentials of multi-nutrient soil extraction with 0.01 M CaCl_2 in nutrient management. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Van Rotterdam-Los, A.M.D., 2010: The potential of soils to supply phosphorus and potassium. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.
- Vedder, H.W., Bussink, W., Oostrum, M., 2009. Routine soil analysis using NIRS, attaining maturity. NJF Report, Vol. 5, No. 1, NJF Seminar 413, Nordic Association of Agricultural Scientists.
- Velvis, H., 2001: Calcium in aardappel. Plant Research International, Wageningen.

Dauerversuche – museales Relikt oder wissenschaftliche Herausforderung?

W. Merbach, F. Herbst, L. Schmidt

Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg, Halle (Saale)

In der Mitte des 19. Jahrhunderts gab es in der Pflanzenernährungslehre einen Richtungsstreit darüber, was die Pflanzen zur Ertragsbildung bei gleichzeitiger Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit (heute würde man sagen: der nachhaltigen Pflanzenproduktion) benötigen. Der Auffassung Albrecht Daniel THAERs, dass sich die Pflanze von Humus ernährt (**Humustheorie**), stand die **Mineralstofftheorie** von Justus LIEBIG gegenüber, nach der die Pflanze sozusagen als „chemische Fabrik“ zu betrachten sei, bei der die Erhöhung der Zufuhr von „Rohstoffen“ (d. h. Nährstoffen in mineralischer Form) die Produktion (d. h. den Ertrag) vergrößert und daher die Zufuhr von Nährsalzen zur Ertragserhöhung führt. Eine zweite Kontroverse gab es zur pflanzlichen Stickstoffernährung. Während LIEBIG den Luftstickstoff als N-Quelle für die Pflanzen ansah, vertraten GILBERT und LAWES in Rothamsted (England) die Meinung, dass Stickstoff durch die Pflanze aus dem Boden oder Dünger aufgenommen wird.

Zur experimentellen Überprüfung dieser Problematik wurden in Europa **Dauerfeldversuche** angelegt, in denen die Wirkung von Stallmist und Mineraldüngung verglichen werden sollte. Das geschah zunächst in Rothamsted nördlich von London (1843) [hier hat die englische Königin das Patronat übernommen], 1878 durch J. **KÜHN** mit dem **Ewigen Roggen** in Halle, dem 1902 der **Statische Düngungsversuch** in Bad Lauchstädt und später (1948/49) die **Schmalfußschen Dauerdüngungsversuche** auf dem Kühnfeld und im Gelände der heutigen Adam-Kuckhoff-Straße 17b folgten.

Nachfolgend wird schwerpunktmäßig auf den **Ewigen Roggen** eingegangen. Dieser Dauerdüngungsversuch sollte am Beispiel des damaligen Brotgetreides Roggen die Auswirkung langfristig unterschiedlicher Düngung vergleichen. Dabei wurden unter anderem Varianten mit Stallmist, mineralischer Volldüngung (NPK), mit N-Mangel (nur PK) und „ohne Düngung“ in ihrer Auswirkung auf Erträge und Bodenkohlenstoff(Humus)gehalte verglichen (Details bei Merbach und Deubel, 2007). Nachfolgend sollen exemplarisch nur wenige Fragen herausgegriffen werden.

Einfluss langjährig unterschiedliche Düngung auf den Ertrag

Aus Tabelle 1 ist zu entnehmen, dass ohne Düngung ein relativ schneller, starker Ertragsabfall eintritt, der Mineral-N dem N aus organischer Düngung bei äquivalenter Nährstoffversorgung hinsichtlich des Ertrages gleichwertig ist und dass Pflanzen (außer Leguminosen, hier nicht dargestellt) den N aus dem Boden oder Dünger entnehmen und sich nicht von Luftstickstoff ernähren können.

Tab. 1: Erträge (dt/ha) im „Ewigen Roggenbau“ 1991-98 (aus Merbach und Schmidt, 2002)

Variante	Ertrag (dt/ha)	%
Stallmist (120 dt/ha)	48,5	(100)
NPK (40/24/75 kg/ha)	52,2	(107)
PK (24/75 kg/ha)	29,1	(60)
ungedüngt	14,3	(49)

Auswirkung langjährig unterschiedlicher Düngung auf den Boden-C-Gehalt

Tabelle 2 zeigt, dass sowohl die Mineraldüngung (NPK) als auch (sehr viel stärker) der Stallmist die Bodenkohlenstoffgehalte erhöhten, wohingegen in der ungedüngten Variante die C-Gehalte abnahmen. Humusbildung wurde also durch die Düngung gefördert.

Tab. 2: Veränderung des Boden-C-Gehaltes (%) beim „Ewigen Roggen“ Halle (0-20 cm Tiefe, aus Merbach und Schmidt 2002, modifiziert); zur Düngung vgl. auch Tab. 1

Jahr	Versuchsdauer (Jahre)	Stallmist (120 dt/ha)	NPK	U
1878	0	1,24	1,24	1,24
1929	50	1,64	1,24	1,15
1954	75	1,68	1,26	1,12
1984/87	108	1,73	1,41	n.b.
1993/96	118	1,73	1,33	1,13

Bis zur Einstellung eines neuen Fließgleichgewichtes (Konstanz des C-Gehaltes) wurden offensichtlich lange Zeiträume (laut Tab. 2 etwa 100 Jahre) benötigt.

Nachwirkung von Düngungsmaßnahmen

Abbildung 1 zeigt, dass eine über 60 Jahre hinweg jährlich erfolgte Stallmistgabe von 80 dt/ha positiv auf den Kornertrag von Winterroggen nachwirkte, denn 40 Jahre nach ihrem Wegfall (1993) lag der Ertrag noch immer etwa 20 bis 30 % höher als der der ungedüngten Varianten. Dies ist offensichtlich eine Folge der nur langsam laufenden Mineralisierung der akkumulierten organischen Boden(N)-Substanz.

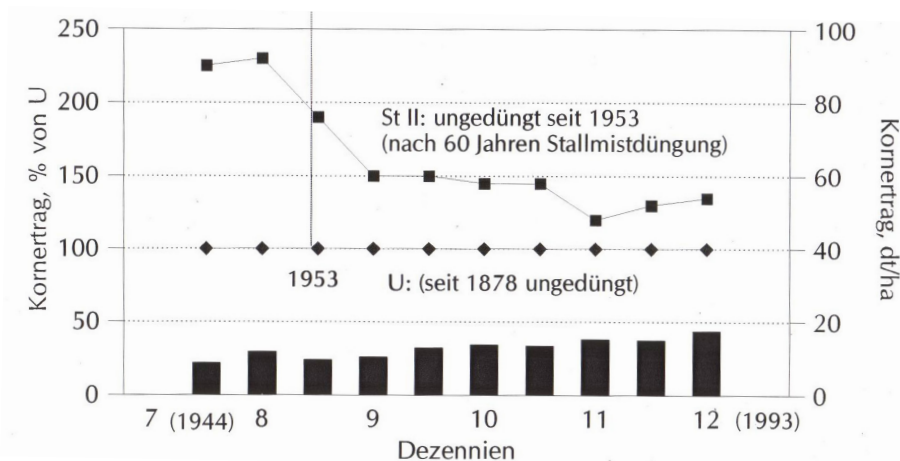


Abb. 1: Mittlere relative Kornerträge (86 % TM vor und nach Einstellen der Stallmistdüngung. „Ewiger Roggenbau“ (Schliephake et al., 1997, modifiziert) U=ungedüngt, St II = Stallmistgabe $80 \text{ dt ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bis 1952

Zwischenfazit

Zusammenfassend lässt sich zunächst also Folgendes feststellen: Nährstoffzufuhr durch Düngung ist essentiell für Ertrag und Bodenfruchtbarkeit (organische Bodensubstanz). Mineraldüngung und organische Düngung sind bei äquivalenter Nährstoffgabe gleichwertig. Hinsichtlich der organischen Bodensubstanz ist aber Stalldung deutlich wirkungsvoller. Bewirtschaftungsmaßnahmen wirken

auf die Agrarökosysteme nur sehr langfristig, Fließgleichgewichte (Input und Output gleich) stellen sich erst nach vielen Jahrzehnten ein.

Daraus wird einerseits deutlich, dass die vor mehr als 100 Jahren gestellten Fragen beantwortet sind. Zum anderen zeigen die Ergebnisse die große Bedeutung von Dauerfeldversuchen für die Folgeabschätzung von Düngung bzw. Bewirtschaftung und damit für eine fundierte Politikberatung. Oft wird an dieser Stelle gefragt, ob eine Weiterführung der Dauerdüngungsversuche noch vertretbar sei. Der ursprüngliche Zweck sei ja nun erledigt. Allenfalls könne man einige Dauerversuche als Museumsstücke der Wissenschaftshistorie erhalten, was oftmals sogleich aus finanziellen Gründen in Zweifel gezogen wird.

Unentbehrlichkeit von Dauer(düngungs)versuchen

Natürlich hat ein Versuch wie der „Ewige Roggen“ wissenschafts- und kulturhistorischen Wert, der allein durch seine bloße Existenz zum internationalen Ansehen der Hallenser Agrarwissenschaften beiträgt. Darüber hinaus aber sind Dauerversuche weiterhin für Forschung und Lehre essentiell, was nachfolgend an einigen Beispielen dargestellt wird.

1. Dauerversuche dienen als Lehr- und Demonstrationsobjekte für Studierende und die interessierte Öffentlichkeit.

Dazu gehören z. B. die Demonstration von Mangel- und Überschusssymptomen sowie der Ertrags- und Bodeneffekte langjährig unterschiedlicher Düngung und Bewirtschaftung für die Studentenausbildung und für die internationale Fachwelt ebenso wie die Lieferung von Analysensubstanzen für Laborpraktika oder die Nutzung der Ergebnisse für Masterarbeiten, Dissertationen und Habilitationen.

2. Dauerversuche sind unverzichtbare Grundlage für die Prüfung bzw. Quantifizierung bewirtschaftungsbedingter Veränderungen von Agrarökosystemen.

Dies lässt sich zum Beispiel dadurch bewerkstelligen, dass man nach Erreichen eines Fließgleichgewichtes (Input ist gleich Output) die Düngung oder Fruchtfolgen ändert und sich daraus ergebenden Folgen für den Boden oder

das Agrarökosystem misst. Beispielweise führte die Einführung der Kartoffel als „Humuszehrer“ und (etwas weniger stark) des Maises im Jahr 1961 in die bis zu diesem Zeitpunkt existierende reine Roggenkultur zu einer Senkung der Boden-C-Gehalte bei allen Düngungsvarianten (Tab. 3).

Tab. 3: Veränderung des Humus-C-Gehaltes im Boden(%) 45 Jahre nach Umstellung von Roggen auf Mais bzw. Roggen / Kartoffel (aus Merbach und Schmidt, 2002, verändert)

Düngungsvariante	Kartoffel/Roggen	Maismonokultur
Stallmist (120 dt/ha)	1,73 → 1,53	1,73 → 1,63
U	1,29 → 1,07	1,29 → 1,11
NPK (40/28/75 kg/ha)	1,33 → 1,17	1,33 → 1,24

3. Dauerversuche dienen als Werkzeuge zur Aufklärung der bei der Bodenbildung ablaufenden Prozesse.

Beispielsweise wurde der Einbau von Pflanzenrückständen in die organischen Boden-C-Fractionen in einem Teilstück des „Ewigen Roggens“ untersucht, auf dem 1961 der Roggen durch Mais ersetzt worden war. Dabei wurde die höhere natürliche ^{13}C -Häufigkeit des Maises (C4-Pflanze) als Hilfsmittel zur Messung des Einbaus der Maisrückstände in die organische Bodensubstanz genutzt, Tabelle 4 zeigt, dass nach ca. 40 Jahren nur 15 % der organischen Substanz des Oberbodens und ca. 3-5 % des Unterbodens maisbürtig waren. Dagegen stammten 33 % des löslichen organischen C und 58 % der Bodenatmung aus dem Mais.

Tab. 4: Herkunft der organischen Bodensubstanz (OBS) 40 Jahre nach der Umstellung von Roggen auf Mais (g m^{-2}) (aus Flessa et al., 2000)

C-Fraktion	Gesamte OBS	aus Roggen vor 1961	aus Mais nach 1961
Gesamt-C	4790 (100)	4080 (85,2)	706 (14,8)
Löslicher C	1,10 (100)	0,77 (70,0)	0,53 (30,0)
$\text{CO}_2\text{-C}$	18,0 (100)	7,6 (42,2)	10,4 (57,8)

Das bedeutet, dass jüngere Ernte- und Wurzelrückstände (hier aus Mais) nur sehr langsam in die stabile organische Substanz eingebaut werden und die Mineralisierung der „inerten“ älteren organischen Substanz (hier aus Roggen) außerordentlich zögerlich erfolgt. Nach Untersuchungen von Wiesenberg et al.

(2004) würde der vollständige Ersatz des roggensbürtigen C durch (silo)maisbürtigen C bei den Alkanen und Fettsäuren ca. 50-60 Jahre und der gesamten organischen Bodensubstanz etwa 250 Jahre dauern (Abb. 2).

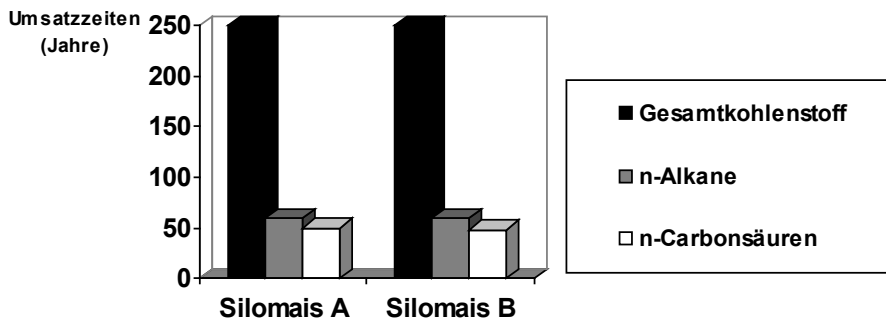


Abb. 2: Umsatzzeiten bis zum völligen Ersatz des roggensbürtigen durch den maisbürtigen C beim „Ewigen Roggen“ Halle (aus Wiesenberg et al. 2004, modifiziert)

4. **Dauerversuche können als Werkzeuge zur Prüfung des Einflusses unterschiedlicher Düngung auf die mikrobielle Biodiversität des Bodens genutzt werden.**

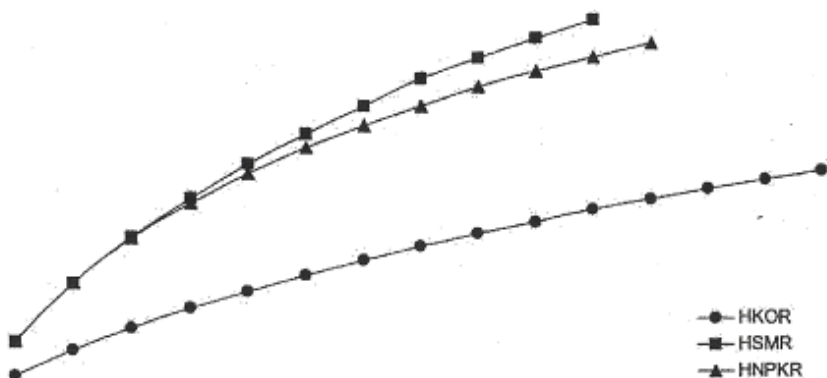


Abb. 3: PCR – Analyse der RubisCO – bildenden Gene (große Untereinheit) von C – autotrophen Bodenbakterien bei unterschiedlicher Langzeitbewirtschaftung. (Ewiger Roggen: HKOR = ungedüngt, HSMR = Stallmist, HNPKR = NPK, hinsichtlich des Düngungsniveaus vgl. Tab. 1) Nach Selesi et al., 2005

Dazu sind durch die GSF Oberschleißheim Untersuchungen vorgenommen worden (Selesi et al., 2005). Es wurde geprüft, wie sich die NPK- und die Stallmistvarianten auf die Diversität C-autotropher Bakterien auswirken, wobei als Referenz die ungedüngte Variante diente. Als funktioneller „Marker“ für die Mikroorganismen dienten Gene der großen Untereinheit der Rubisco (also des Enzyms der CO₂-Assimilation der C₃-Typen). Die aus dem Boden extrahierte DNA (Desoxyribonukleinsäure) wurde mittels PCR (polymerase chain reaction) vermehrt (amplifiziert), die PCR-Produkte geklont und die resultierenden Klone auf ihren Fragmentlängenpolymorphismus bzw. ihre DNA-Sequenzen analysiert. Im Unterschied zu der oft geäußerten Meinung, dass Düngung die Biodiversität verringere, zeigte sich, dass sowohl die Diversitätsindizes (vgl. bei Merbach und Deubel, 2007) als auch die Anzahl von Sequenzen pro Klon (Abb. 3) durch die Düngung gestiegen waren.

5. Dauerversuche ermöglichen eine Folgeabschätzung langjährig unterschiedlicher Düngungsintensität auf die Nährstoffdynamik des Bodens.

Tab.5: Einfluss langjährig unterschiedlicher K-Lieferung auf die Mengen (mg K kg Boden⁻¹) an fixierten K⁺ bzw. an NH₄⁺ sowie die Tonmineralzusammensetzung (Feld C, Kaliumdauerdüngungsversuch, nach Garz et al., 2000, Leinweber und Reuter, 1989, Rathke und Merbach, 2001)

Parameter	K-Stufen (jährlich)		
	K0	K2	K4
kg K/ha	0	120	240
Feld C, K-Dauerdüngungsversuch			
Fixiertes K ⁺	- 153	(529)	+ 118
Fixiertes NH ₄ ⁺	+ 139	(278)	- 114
Ewiger Roggen			
Illit-%	52	58	n.b.
Smectit-%	14	6	n.b.

Als Beispiele sollen der Kalidüngungsversuch (Schmalfuß), sowie der „Ewige Roggen“ dienen. Bei langjähriger K-Unterversorgung wird nicht nur das lösliche und austauschbare K⁺ durch den Pflanzenentzug angegriffen, sondern auch

das in den Tonmineralen fixierte Kalium (Tab. 5). Statt dessen wird NH_4^+ in die Zwischenschichtgitter der Tonminerale eingelagert, was die N-Düngungseffizienz vermindern dürfte. Gleichzeitig ging der Illitgehalt zugunsten des Smectits zurück, was Folgen für die Bodenstruktur hat (Leinweber und Reuter, 1989). Kaliumüberangebot erhöhte die Menge an fixiertem K und senkte die Ammoniumfixierung (Tab. 5).

6. Mit Hilfe von Dauerdüngungsversuchen kann man die Nährstofferschließung durch Pflanzenwurzeln erfassen und in die Düngebedarfsermittlung einbeziehen.

Dieser Problemkreis soll nur fragmentarisch angerissen werden, weil es dazu (vor allem für Phosphor) eine größere Zahl von Veröffentlichungen gibt (Literatur bei Merbach und Deubel, 2007, Merbach et al., 2009) Beispielsweise zeigten sich im P-Dauerdüngungsversuch des Julius-Kühn-Feldes Halle beim Gesamtboden-P-Gehalt stets P-Bilanzüberschüsse, das heißt, es wurde im Oberboden mehr P gefunden, als nach dem Pflanzenentzug zu erwarten war. Ursache dafür ist, dass die Wurzeln P aus dem Unterboden aufgenommen hatten und darüber hinaus durch ihre Wurzelausscheidungen schwerlösliches Phosphat direkt oder indirekt über Mikroben erschließen konnte, insbesondere bei P-Mangel (Deubel, 1996). Letzterer veränderte die Exsudation von Wurzeln und Mikroben zugunsten P-lösender organischer Säuren (vgl. Merbach et al., 2009). Diese Ergebnisse könnten zur Modifizierung der Erfassung des pflanzenverfügbaren Boden-P genutzt werden, da die gängige DL (Doppellactat)-Methode den erschließbaren P-Anteil nur unzureichend widerspiegelt.

Zusammenfassung

Die dargestellten Beispiele zeigen, dass Dauer(düngungs)versuche auch weiterhin für die Agrarwissenschaften ein unentbehrliches Rüstzeug darstellen. Zukünftig wird es aber noch stärker als bisher darauf ankommen, durch multidisziplinäre Prozessaufklärung die Langzeiteffekte von Bewirtschaftungs- und Umweltveränderungen auf die Stoffdynamik im System Boden-Pflanze sowie die Bodenbildungsvorgänge besser zu verstehen und auch zu prognostizieren. Dadurch werden die Folgeabschätzungen von Landnutzungsstrategien wissenschaftlich besser begründbar und könnten zur höheren Treffsicherheit von

politischen oder wirtschaftlichen Entscheidungen im Sinne von Nachhaltigkeit beitragen. Schon dies allein zeigt die Notwendigkeit der Weiterführung von Dauerversuchen über den bloßen Schutz wissenschaftlichen Kulturgutes hinaus. Sie sollten daher erhalten und – wo erforderlich – behutsam modifiziert werden.

Literaturangaben

- Deubel, A., 1996: Einfluss wurzelbürtiger organischer Kohlenstoffverbindungen auf Wachstum und Phosphatmobilisierungsleistung verschiedener Rhizosphärenbakterien. Diss. Halle. Shaker Verlag Aachen.
- Flessa, H., Ludwig, B., Heil, B., Merbach, W., 2000: The origin of soil organic C, dissolved C and respiration in a long term experiment in Halle, Germany, determined by ^{13}C natural abundance. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, 157-163.
- Garz, J., Schliephake, W., Merbach, W., 2000: Changes in the subsoil of long-term trials in Halle (Saale), Germany, caused by mineral fertilisation. J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, 633-668.
- Leinweber, P., Reuter, G., 1989: Influence of various fertilisation on the mineralogical composition of clay fractions in long-term field experiment. Z. Pflanzenernährung. Bdk. 152, 373-377.
- Merbach, W., Deubel, A., 2007: The Long-Term Fertilization Trials in Halle / Saale, Germany. A Tool for Sustainable and Environmentally Compatible Land Management, Teubner Research, Deutscher Universitätsverlag/ GWW-Fachverlage Wiesbaden.
- Merbach, W., Deubel, A., Gransee, A., Ruppel, S., Klamroth, A.K., 2009: Phosphorus solubilisation in the rhizosphere and its importance to determine phosphate plant availability in soil. A review with main emphasis on German results. Arch. Agron. Soil Sci. 56, 119-138.
- Merbach, W., Schmidt, L., 2002: Viele Effekte stellen sich erst nach Jahrzehnten ein. Seit fast 125 Jahren wird im Ewigen Roggenbau in Halle / Saale der Einfluss von Düngung und Fruchtfolge auf Ertrag und Boden beobachtet. Ernährungsdienst 11. Mai 2002, S. 4.
- Rathke, G. W., Merbach, W., 2001: The influence of long-term K fertilization on fixation of potassium and ammonium ions by soil. Zeszyty Problemowe Postepow Nauk Rolniczych Warszawa 480, 123-129.

- Selesi, D., Schmidt, M., Hartmann, A., 2005: Diversity of green-like and red-like ribulose – 1,5 – biphosphate carboxylase / oxygenase large – subunit genes (cbbL) in different managed agricultural soils. *Appl. Environ. Microbiol.* 71, 175-84.
- Schliephake, W., Garz, J., Stumpe, H., 1997: Unverzichtbarkeit und Grenzen der Dauerdüngungsversuche – Ein Blick auf das Versuchsfeld in Halle. *Arch. Acker – Pfl. Boden* 42, 319-334.
- Wiesenberg, G.L.B., Schwarzbauer, J., Schmidt, M.W., Schwark, L., 2004: Source and turnover of organic matter in agricultural soils derived from n-alkane / n-carboxylic acid compositions and C – isotope signatures. *Org. Geochem.* 35, 1371-1393.

Dauerfeldversuche – unverzichtbare Grundlage der Agrar- und Umweltforschung.

M. Körschens

Förderverband Humus e. V., Goethestadt Bad Lauchstädt

1. Einleitung

Böden sind nicht nur „Lebensgrundlage für Pflanze und Tier“, wie es im Generalthema dieses Kongresses steht, sie sind die Existenzgrundlage der Menschen. Wir leben auf dem Boden, von dem, was der Boden hergibt.

Der Boden entsteht im Laufe von Jahrhunderten. Die Vielfalt der Einflussfaktoren (Textur, Klima/Witterung, Bewirtschaftung, Nutzung etc.) und ihrer Wechselwirkungen untereinander sowie mit der Umwelt erfordert in der Agrar- und Umweltforschung langjährige Untersuchungen unter Wahrung des *ceteris paribus* Prinzips, diese setzen Dauerfeldversuche voraus und sind aus methodischen Gründen durch nichts zu ersetzen. Sie sind einerseits zwar aufwendig und teuer, **andererseits sind die Kosten für die seit Jahrzehnten laufenden Versuche allein in Deutschland in zweistelliger Millionenhöhe bereits abgegolten** und die Ergebnisse können abgerufen werden bzw. ermöglichen mit modernen Untersuchungsmethoden die nach Jahrzehnten eingetretenen Veränderungen zu quantifizieren und zu interpretieren.

Laboruntersuchungen sowie Gefäß- und Modellversuche können und/oder müssen ergänzend zur Aufklärung einzelner Zusammenhänge einbezogen werden. Modelle haben nur einen Wert, wenn sie durch Dauerfeldversuche verifiziert werden können.

Für die Forschungsarbeiten sind daher Dauerfeldversuche unverzichtbar, insbesondere für die Lösung praxisrelevanter Probleme.

Seit mehr als 20 Jahren wird auf die Bedeutung und Notwendigkeit von Dauerfeldversuchen und die damit zu lösenden Aufgaben in Memoranden, Vorträgen und Veröffentlichungen hingewiesen. Als letzte Aktivität wurde im Mai 2015 ein „Statement zur gegenwärtigen Situation auf dem Gebiet der praxisorientierten Humus- und Klimaforschung und zur Nutzung der nationalen und internationalen Dauerfeldversuche“ vom

- Vorstand und wiss. Beirat des Förderverbandes Humus e. V.,
- Vorstand der Fördergesellschaft für Agrarwissenschaften e. V.,
- Vorstand der Intern. Arbeitsgemeinschaft Dauerfeldversuche und
- der Internetplattform www.agrarfakten.de (siehe auch dort)

an alle zuständigen Entscheidungsträger in Politik und Wissenschaft geschickt. In keinem Falle gab es eine Antwort und schon gar keine Stellungnahme zu dem von zahlreichen kompetenten Wissenschaftlern vorgetragenen Anliegen.

Dieses Desinteresse hat u. a. folgende Gründe:

- die Ergebnisse von Dauerfeldversuchen sind zuverlässig und nachprüfbar, dienen aber weniger der Rechtfertigung unbegründeter politischer Weichenstellungen (z. B. „carbon sequestration“, Klimawandel, Direktzahlungen – Verpflichtungenverordnung – s. unten)
- es besteht nur sehr geringes Interesse an praxisrelevanter Forschung. Warum sollte man Forschung zur nachhaltigen Bodennutzung und Ernährungssicherung finanzieren, wenn die EU Milliarden Euro für Produktionssenkung/Flächenstilllegung ausgibt (**SRU 2004: „die obligatorische Flächenstilllegung soll in erster Linie der Produktionssenkung (...) dienen (...)“**). Dies ist auch ein Grund dafür, dass bei der Präzisierung der Humusbilanzierungsmethode (VDLUFA-Standpunkt) in den letzten 40 Jahren keine nennenswerten Fortschritte erzielt wurden.
- praxisrelevante Forschung ist wenig karrierefördernd.
- die Arbeit im Labor und am Computer ist angenehmer, verlangt keine Kenntnisse und langjährige, praktische Erfahrungen auf dem Gebiet der Landwirtschaft und benötigt keinen Nachweis über die Anwendbarkeit der Ergebnisse.

Über die Notwendigkeit von Dauerfeldversuchen ist schon viel gesagt und geschrieben worden. Nachfolgend einige Beispiele/Ergebnisse aus Dauerfeldversuchen im Vergleich zu Verlautbarungen, geltenden Vorschriften bzw. Empfehlungen.

2. Ertragswirksamkeit der OBS

Im vergangenen Jahrhundert konnte in umfangreichen Auswertungen von insgesamt rd. 1100 Dauerfeldversuchsjahren nachgewiesen werden, dass die bodenverbessernde Wirkung des Humus, d. h. die Wirkung, die nicht allein mit der Zufuhr von Nährstoffen erreicht werden kann, auf Sandböden bis zu 10 % und auf

Lehmböden bis zu 6 % Ertragsvorteil bringt (Scholz, 1978). In den vergangenen Jahren sind die Erträge erheblich angestiegen und mit den Erträgen auch die auf dem Acker verbleibenden Ernte- und Wurzelrückstände (EWR). Eine Ertragserhöhung von 10 dt/ha bei Getreide entspricht einer Zunahme der EWR von 2 dt/ha, außerdem entsprechen 10 cm Stoppellänge einer Strohdüngung von 10 dt/ha. Es ergibt sich die Frage, ob sich bei dem gegenwärtigen Ertragsniveau der Humusbedarf der Ackerböden verändert hat. Die Internationale Arbeitsgemeinschaft für Dauerfeldversuche wertete Ergebnisse von 15 Dauerfeldversuchen aus (Abb. 1). Die Ergebnisse von insgesamt 350 Vergleichen ergaben einen Ertragsvorteil der kombinierten organisch-mineralischen Düngung im Vergleich zur ausschließlich optimalen Mineraldüngung von 6 %. Die geringste Wirkung war bei Winterweizen mit nur 3 % (n = 92) zu verzeichnen. Damit werden die bisherigen Aussagen auch für das Ertragsniveau des 21. Jahrhunderts bestätigt. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Diskussionen um einen optimalen Humusgehalt und die Humusbilanzierung Ertragsunterschiede von weniger als 6 % betreffen.

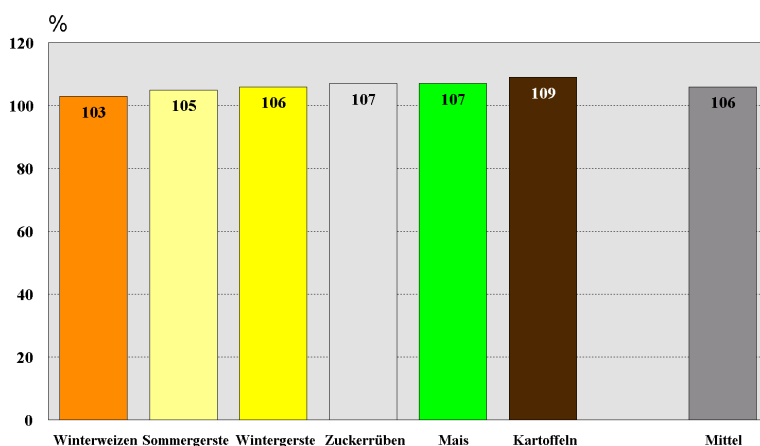


Abb. 1: Vergleich der Erträge bei ausschließlicher Mineraldüngung (= 100) mit der kombinierten organisch-mineralischen Düngung – Ergebnisse von 350 Dauerfeldversuchsjahren und 15 Versuchen aus dem 21. Jahrhundert (Körschens et al., 2013)

3. Humusversorgung

In einer Mitteilung der europäischen Gemeinschaften an den Rat, das europäische Parlament(2003) wird behauptet, „**Böden mit einem Gehalt an**

organischer Substanz von weniger als 3,6 % befinden sich im Vorstadium der Wüstenbildung. Diese Aussage ist falsch und nicht zu verantworten. Die europäischen Böden sind bei drastisch angestiegenen Erträgen mit weit geringeren Humusmengen gut bis optimal versorgt. Abbildung 2 zeigt nur ein Beispiel.

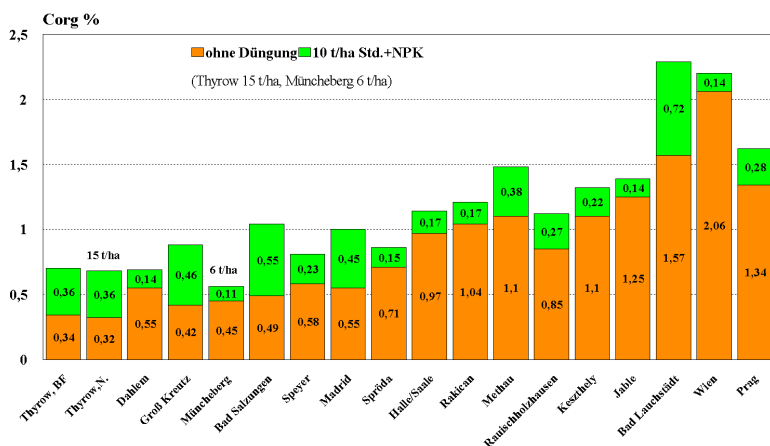


Abb. 2: Gehalt an organischem Kohlenstoff in Abhängigkeit von der Düngung in 18 Dauerfeldversuchen Europas. Ergebnisse aus der 1. Dekade des 21. Jahrhunderts. (Körshens et al., 2013)

Folgende Aussagen sind aus diesen und weiterführenden Untersuchungen abzuleiten:

1. Die C_{org} -Gehalte der organisch-mineralisch gedüngten Prüfglieder betragen im Mittel von 56 Dauerfeldversuchen 1,27 % C_{org} -davon 43 Versuche $<1,5\%$ C_{org} .
2. Der umsetzbare C_{org} -Gehalt (analog Nährhumus) beträgt, berechnet als Differenz zwischen „ungedüngt“ und „optimale organisch-mineralische Düngung“ im Mittel von 50 Dauerfeldversuchen 0,27 % C_{org} , in 40 % aller Versuche liegt der Wert $<0,2\%$ C_{org} und in nur 10 % der Versuche $>0,5\%$ C_{org} . Nur dieser unterliegt dem Bewirtschaftungseinfluss.
3. Die jährlichen Veränderungen der C_{org} -Gehalte, berechnet aus der Differenz zwischen den Extremvarianten „Null“ und „10 t/ha/a Stalldung + NPK“ betragen $<0,01\%$ C_{org} und liegen damit weit innerhalb der Fehlergrenze (s. auch Abb. 4).

4. Carbon sequestration

Im Zusammenhang mit der Klimaänderung wird gegenwärtig die Möglichkeit, den Boden als Kohlenstoffsенke zu nutzen, viel diskutiert (Powlson et al., 2011). Raggam (2008) formuliert u. a. **„In Österreich und in Deutschland haben wir nur mehr 4 kg Kohlenstoff je m² Ackerfläche im Humus gebunden, früher waren es mindestens 30 kg. Unsere Ackerböden fallen unter die Kategorie Wüste (...). Nur 8 kg Kohlenstoff je m² mehr in den landwirtschaftlichen Humusschichten gebunden und der CO₂-Gehalt der Atmosphäre liegt wieder unter dem kritischen Wert von 300 ppm“.**

„Carbon Sequestration“ ist weder sinnvoll noch praktikabel. Eine Erhöhung des C_{org}-Gehaltes im Boden um 0,1 % im Bearbeitungshorizont, das entspricht 4 bis 5 t/ha Kohlenstoff, erfordert bei einer Akkumulation von 10 % und rund 40 % C in der Pflanzentrockenmasse einen Aufwand von 100 bis 120 t/ha Pflanzentrockenmasse. Der notwendige C-input übersteigt die mögliche Speichermenge um ein Vielfaches. Eine Erhöhung des Humusgehaltes über das standort- und bewirtschaftungsbedingte Optimum hinaus bringt weder für den Ertrag, noch für Umwelt Vorteile.

5. Klimawandel

Die Leopoldina (Autorenkollektiv, 2012) stellt in einer Studie zum Thema „Bioenergie – Möglichkeiten und Grenzen“ fest, dass **„Ackerböden in der EU – 25 seit geraumer Zeit jährlich etwa 3 % ihres Kohlenstoffs verlieren.“ Diese Aussage wurde zurückgenommen.**

Für den Nachweis einer Kohlenstoffabnahme als Folge einer Klimaerwärmung gibt es z. Zt. zwei Möglichkeiten:

1. Kontinuierliche Langzeituntersuchungen über mindestens 20 Jahre unter Wahrung des *ceteris paribus* Prinzips (also Dauerfeldversuche).
2. Totalerhebung bzw. repräsentative Stichproben:
 - Von Körschens et al. (2014) wurden dahingehend 15 Dauerfeldversuche mit mehr als 40 Jahren Versuchsdauer ausgewertet, wobei jeweils 20 Jahre als Anlaufzeit gewertet und die folgenden 20 Jahre in die Wertung einbezogen wurden. Im Ergebnis konnte nachgewiesen werden, dass die Klimaänderung **keine** Verringerung des Humusgehaltes von Ackerböden verursacht hat, im Gegenteil.
 - Ebertseder et al., (2009) haben im Zeitraum von 1996 bis 2008 insgesamt 40 776 Bodenproben von Mineralböden untersucht und kommen zu der

Schlussfolgerung, „dass sich die Humussituation in den 13 Jahren **nicht verschlechtert hat**“

- Eine Auswertung der Bodendauerbeobachtungsflächen (Autorenkollektiv, 2015) konnte keinen Einfluss der Klimaänderung auf den Humusgehalt nachweisen.
- Bellamy et al. (2005) haben in der Zeit zwischen 1978 und 2003 Untersuchungen in England und Wales durchgeführt und für Ackerland einen **teils signifikanten Anstieg** der Humusgehalte festgestellt.
- Reijneveld et al., (2009) ermittelten auf der Basis von etwa 2 Millionen Daten in den Niederlanden im Zeitraum 1984 bis 2004 für Grasland, Ackerland und Maisland einen Anstieg der C_{org} -Gehalte.

6. Einschätzung der Humusversorgung

Die Empfehlung der LfL Bayern, mit einer regelmäßigen Humusuntersuchung „die Humusversorgung der Ackerböden sicher zu erfassen“ IST FALSCH, die möglichen jährlichen Veränderungen liegen nur bei etwa 0,01 % C_{org} , der Fehler beträgt mit $> 0,1$ % C_{org} das Zehnfache, außerdem spielt das Ausgangsniveau eine entscheidende Rolle (Abb. 3).

7. Grenzwerte

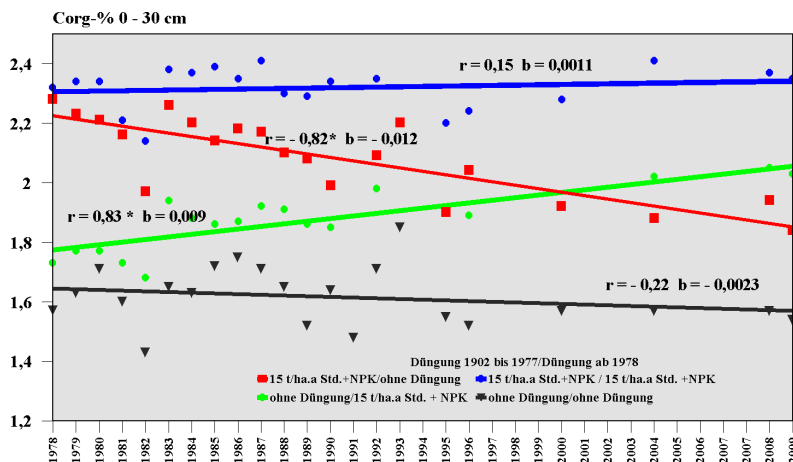


Abb. 3: Entwicklung der C_{org} -Gehalte im Statischen Düngungsversuch Bad Lauchstädt nach Erweiterung der Versuchsfrage 1978

Die Grenzwerte für den Erhalt der organischen Substanz im Boden bei der Bodenhumusuntersuchung lt. Direktzahlungen – Verpflichtungenverordnung sind wissenschaftlich nicht zu begründen und irreführend. Lediglich die Grenze von 0,6 % C_{org} ist bei einem deutlichen Unterschreiten ein Zeichen für eine Verarmung. Praktisch tritt diese jedoch nur bei Böden <5 % Ton auf.

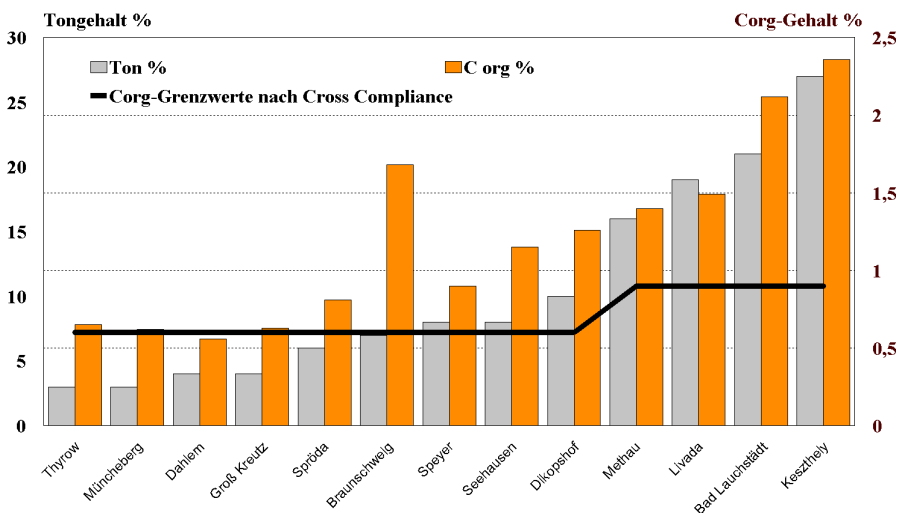


Abb.4: Beziehungen zwischen Tongehalt und optimalem C_{org}-Gehalt in 13 Dauerfeldversuchen im Vergleich zu den Grenzwerten nach Cross Compliance

8. Fazit

Bodenprozesse verlaufen sehr langsam, sind häufig erst durch langjährige wiederholte Messungen zu quantifizieren und setzen Dauerfeldversuche als unverzichtbare experimentelle Grundlage voraus. Die Ergebnisse sind zuverlässig und jederzeit nachprüfbar. Der in den etwa 40 Dauerfeldversuchen in Deutschland akkumulierte Wert ist unwiederbringlich und kann mit einem zweistelligen Millionenbetrag kalkuliert werden. Die unzureichende Beachtung der Dauerfeldversuche hat in der Vergangenheit zu z. T. schwerwiegenden Fehleinschätzungen und Fehlentscheidungen, insbesondere bei der Bewertung der Wechselwirkungen zwischen Klima und Boden, geführt. Dieser Mangel sollte behoben werden.

9. Literaturangaben

- Autorenkollektiv, 2012: Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Herausgeber. (www. Leopoldina.org).
- Autorenkollektiv, 2015: Umweltforschungsplan (UFOPLAN) FKZ 3711 71 213 3 Bestimmung der Veränderungen des Humusgehalts und deren Ursachen auf Ackerböden Deutschlands, Teil 3: Erarbeitung fachlicher, rechtlicher und organisatorischer Grundlagen zur Anpassung an den Klimawandel aus Sicht des Bodenschutzes. Abschlussbericht.
- Bellamy, P.H., Loveland, P.J., Bradley, R.I., Lark, R.M., Kirk, J.D., 2005: Carbon Losses from all soils across England and Wales 1978-2003. 19, *Nature*, 437; 245-248.
- Ebertseder, T., Munzert, M., Horn, D., Maier, H. 2010: Ableitung von Einflussfaktoren auf die Humusgehalte von Böden durch flächenbezogene Auswertung von Bodenuntersuchungsdaten. In: Engels et al.,: Humusbilanzierung landwirtschaftlicher Böden – Einflussfaktoren und deren Auswirkungen; Bericht des VDLUFA an die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Speyer, S. 252-278.
- Körschens, M., Albert, E., Armbruster, M., Barkusky, M., Baumecker, M., Behle-Schalk, L., Bischoff, R., Cergan, Z., Ellmer, F., Herbst, F., Hoffmann, S., Hofmann, B., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Lopez-Fando, C., Merbach, I., Merbach, W., TeresaPardo, M., Rogasik, J., Rühlmann, J., Spiegel, H., Schulz, E., Tajnsek, A., Toth, Z., Wegener, H., Zorn, W. 2013: Effect of different mineral and organic fertilization on yield, N-uptake, C- and N-balance, as well as C-content and C-dynamics in the soil, derived from the results of 20 long-term field experiments in the 21th century. *Archives of Agronomy and Soil Science* 59:1017-1040.
- Körschens, M., Albert, E., Baumecker, M., Ellmer, F., Grunert, M., Hoffmann, S., Kismanyoky, T., Kubat, J., Kunzova, E., Marx, M., Rogasik, J., Rinklebe, J., Rühlmann, J., Schilli, C., Schröter, H., Schroetter, S., Schweizer, K., Toth, Z., Zimmer, J., Zorn, W., 2014: Humus und Klimaänderung – Ergebnisse aus 15 langjährigen Dauerfeldversuchen. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60(11), S. 1485-1517.
- Powlson, D.S., Whitmore, A.P., Goulding, W.T., 2011: Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical reexamination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science*, February 2011, 62, 42-55.

- Raggam, A., 2008: Biomasse stoppt Klimawandel, dvb- verlag, 2. Aufl. Reijneveld, A., Van Wensem, J., Oenema, O. 2009: Soil organic carbon contents of agricultural land in the Netherlands between 1984 and 2004. Geoderma, Vol. 152, issues 3-4, 2009, p. 231-238.
- Scholz, S., 1978: Beziehung zwischen OBS-Gehalt und Ertrag, abgeleitet aus Dauerversuchen. Synthetische Information, Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg, Bereich Bad Lauchstädt.

Wirkung differenzierter organischer und mineralischer Düngung auf Ertrag, N-Saldo und Humusgehalt im Boden - Ergebnisse aus dem Düngerdüngungsversuch L28 in Bad Salzungen nach 50 Jahren

W. Zorn, H. Schröter

Thüringere Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Problemstellung

Die Bewertung der Wirkung der organischen und mineralischen Düngung auf Boden und Pflanze erfordert langfristige Experimente, da sich entsprechende Gleichgewichte im Boden erst nach Jahrzehnten einstellen. Allein Langzeitexperimente liefern die von Agrarpolitik und Wissenschaft geforderten Aussagen zum Beispiel zur Humusproblematik, zur N-Wirkung organischer Dünger, zu den standörtlich unvermeidbaren N-Verlusten sowie zur Einordnung der Wirtschaftsdünger in Konzepte zur N-Düngebedarfsermittlung. Zur Untersuchung der Wechselwirkung von organischer und mineralischer Düngung auf Boden und Pflanze wurden im Jahr 1966 von ANSORGE (ehemals Institut für Düngungsforschung Leipzig) auf 2 Standorten in Sachsen und einem Standort in Thüringen (Bad Salzungen) zweifaktorielle Dauerfeldversuche (L28) zur Untersuchung initiiert. Ergebnisse aus dem Dauerdüngungsversuch in Bad Salzungen wurden bisher von Ansorge et al. (1973), Ansorge und Pöbneck (1992), Kerschberger (1994) sowie Zorn und Schröter (2010) publiziert. Über die Ergebnisse im Zeitraum 1993 bis 2014 wird nachfolgend berichtet.

2. Versuchsstandort und -durchführung

Bei dem Versuchsstandort handelt es sich um eine Braunerde aus skelettführendem schwach lehmigen Sand (geologische Herkunft: unterer Bundsandstein). Im Zeitraum 1994 bis 2014 betrug die mittlere Jahrestemperatur 8,6 °C sowie die mittlere Jahrestemperatur 644 mm. Der zweifaktorielle Feldversuch umfasst die Faktoren *organische Düngung* (OD) sowie *mineralische N-Düngung*. Eine Übersicht über die Versuchsvarianten geben die Tabellen 1 und 2. Im Zeitraum 1966 bis 1992 wurden neben der Variante ohne organische Düngung

200 dt/ha Stallmist bzw. 50 dt/ha Stroh/ha jeweils jedes 2. Jahr gedüngt. Die organische Düngung erfolgt ab dem Erntejahr 1993 jedes dritte Jahr. Die Strohdüngung wurde durch Gülle ergänzt (Tab. 1).

Tab. 1: Organische Düngung im Dauerdüngungsversuch L28 in Bad Salzungen

Stufe	Versuchszeitraum	
	1966 bis 1992	ab 1993
1	ohne	ohne
2	200 dt/ha Stallmist jedes 2. Jahr	300 dt/ha Stallmist jedes 3. Jahr
3	50 dt/ha Stroh jedes 2. Jahr	75 dt/ha Stroh + 35 m ³ /ha Gülle jedes 3. Jahr

Als organische Dünger werden Rindermist und Rindergülle verwendet und zu Silomais, Kartoffel und Winterraps ausgebracht. Der Faktor mineralische N-Düngung beinhaltet 6 kulturartenspezifische N-Stufen (Getreide: 0-200 kg N/ha; Kartoffel/Silomais: 0-250 kg N/ha; Winterraps: 0-350 kg N/ha). Die Nebenernteprodukte wurden immer abgefahren.

Tab. 2: Mineralische N-Düngung (kg N/ha) im Dauerdüngungsversuch L28 in Bad Salzungen

N-Stufe	Getreide	Kartoffel/Silomais	Winterraps
1	0	0	0
2	40	50	70
3	80	100	140
4	120	150	210
5	160	200	280
6	200	250	350

Im Zeitraum 1994 bis 2014 gelangten 14*Getreide, 3*Kartoffel, 3*Silomais und 1*Winterraps zum Anbau (Tab. 3). Die Nebenernteprodukte wurden immer abgefahren.

Tab.3: Anbau im Dauerdüngungsversuch L28 in Bad Salzungen 1993 bis 2015

Jahr	Kulturart	Jahr	Kulturart
1993	Sommerweizen	2005	Wintergerste
1994	Silomais(OD)	2006	Winterraps(OD)
1995	Winterweizen	2007	Winterweizen
1996	Sommergerste	2008	Winterroggen
1997	Kartoffel(OD)	2009	Silomais(OD)
1998	Winterweizen	2010	Winterweizen
1999	Silomais(OD) ¹⁾	2011	Sommergerste
2000	Winterweizen	2012	Kartoffel(OD)
2001	Sommergerste	2013	Winterweizen
2002	Wintertriticale	2014	Sommerweizen
2003	Kartoffel(OD)	2015	Silomais(OD)
2004	Winterweizen		

¹⁾= Änderung der Fruchtfolge infolge Auswinterung des gedrillten Winterroggens

3. Ergebnisse im Zeitraum 1994 bis 2014

3.1 Erträge

Nach Umstellung des Versuches zur Ernte 1993 beginnt mit der Ausbringung der organischen Düngung zu Silomais im Jahr 1994 eine neue dreijährige Fruchtfolgerotation und damit eine neue Versuchsphase. Die Ernte 1993 (Sommerweizen) wird deshalb in die nachfolgende Auswertung nicht einbezogen.

In allen mineralischen N-Stufen wurden die höchsten GE-Erträge jeweils bei *Stallmistdüngung* erzielt, gefolgt von *Gülle + Stroh* und der Variante *ohne organische Düngung*. Die Mehrerträge durch *Stallmistdüngung* im Vergleich zu *Gülle + Stroh* sind demnach nicht ausschließlich auf die etwas höhere N-Fracht (Stallmist: 57 kg N/ha * a, Gülle + Stroh: 41 kg N/ha * a) zurückzuführen.

Der Faktor *organische Düngung* hat einen geringen Einfluss auf die Höhe der mineralischen N-Gabe, die zum Höchstertrag führt. Das Ertragsmaximum wird im Mittel der angebauten Kulturen nach Düngung von Stallmist bei 169 kg N/ha, von Gülle + Stroh bei 174 kg N/ha sowie unterlassener organischer Düngung bei 181 kg N/ha erreicht (Abb. 1).

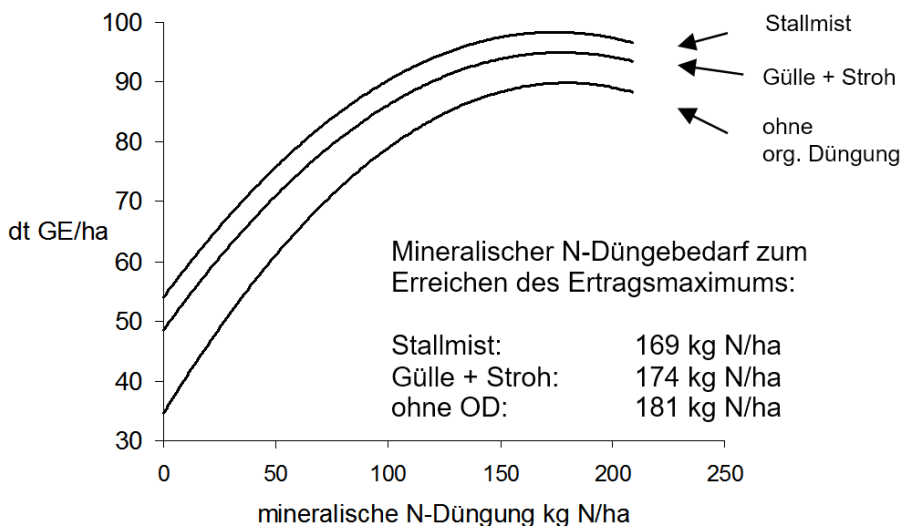


Abb. 1: Mittlerer GE-Ertrag in Abhängigkeit von der organischen und mineralischen N-Düngung (1994 bis 2014)

Bei praxisüblicher mineralischer N-Düngung (Mittel der N-Stufen 4 und 5) führten die *Stallmistdüngung* zu 12 % und die *Gülle + Stroh-Düngung* zu 6 % Mehrertrag im Vergleich zur Variante ohne organische Düngung (Tab. 4).

Tab. 4: Mittlerer GE-Ertrag (dt/ha) ausgewählter Stufen der mineralischen N-Düngung im Zeitraum 1994 bis 2014

organische Düngung	mineralische N-Düngung kg N/ha		Mittel (relativ)
	N-Stufe 4 120/150	N-Stufe 5 160/200	
ohne	99,1	104,1	101,8 (100)
Stallmist	111,4	116,1	113,8 (112)
Gülle + Stroh	106,9	109,8	108,4 (106)

Dieses Ergebnis verdeutlicht die positive Langzeitwirkung der organischen Düngung auf den Ertrag, die unter anderem auf eine kombinierte Humus- und Nährstoffwirkung zurückgeführt werden kann. Die Erhöhung der mineralischen N-Düngung kann die spezifische Ertragswirkung der organischen Düngung nicht ersetzen. Zum Erhalt einer hohen Bodenfruchtbarkeit und eines optimalen Pflanzenwachstum ist deshalb eine angemessene organische Düngung erforderlich.

3.2 Wirkung auf den N-Saldo

Der N-Flächensaldo wird als Maß für die Ausnutzung der applizierten N-Mengen angesehen und dient zunehmend als ein Indikator für die Einhaltung der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung) bzw. für die Umweltverträglichkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Steigende mineralische N-Gaben erhöhen erwartungsgemäß in jeder Stufe des Faktors *organische Düngung* den N-Saldo.

Die zum Erreichen des Höchstertages zu düngenden mineralischen N-Mengen führen bei unterlassener organischer Düngung zu negativen N-Salden sowie bei Düngung von Stallmist wie auch von Gülle + Stroh zu einem N-Saldo von ca. +20 bis +40 kg N/ha (Abb. 2).

Im Mittel aller Stufen der mineralischen N-Düngung betragen die N-Salden bei *ohne organische Düngung* -11 kg N/ha, bei *Stallmistdüngung* +11 kg N/ha sowie bei *Gülle + Stroh* +9 kg N/ha. Die organische Düngung erhöht im Mittel den N-Saldo um ca. 30 bis 35 kg N/ha. Dieses Ergebnis ist eine Folge der unvollständigen Ausnutzung des Stickstoffs der organischen Düngung bzw. auch des Einbaus von N in die organische Substanz des Bodens.

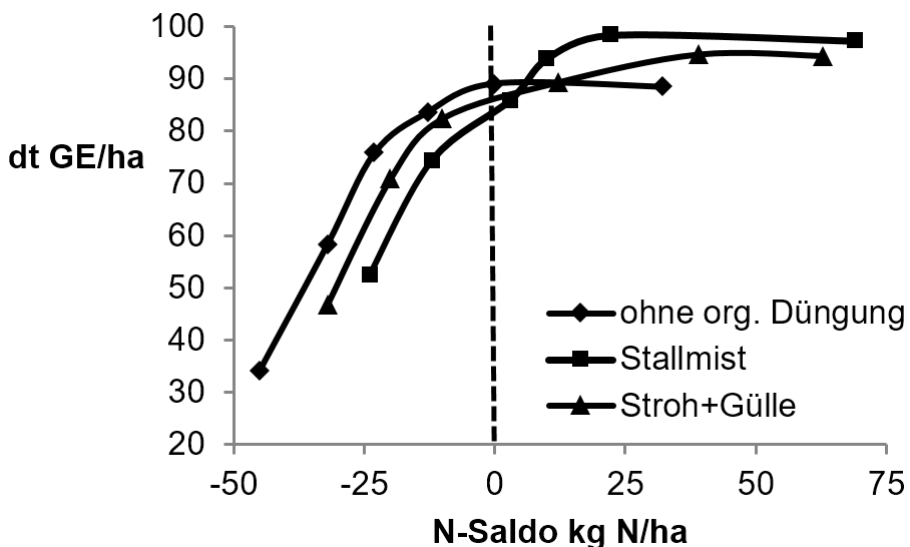


Abb. 2: Mittlerer GE-Ertrag in Abhängigkeit vom N-Saldo (1994 bis 2014)

3.3 Wirkung auf den N_{\min} -Gehalt im Boden

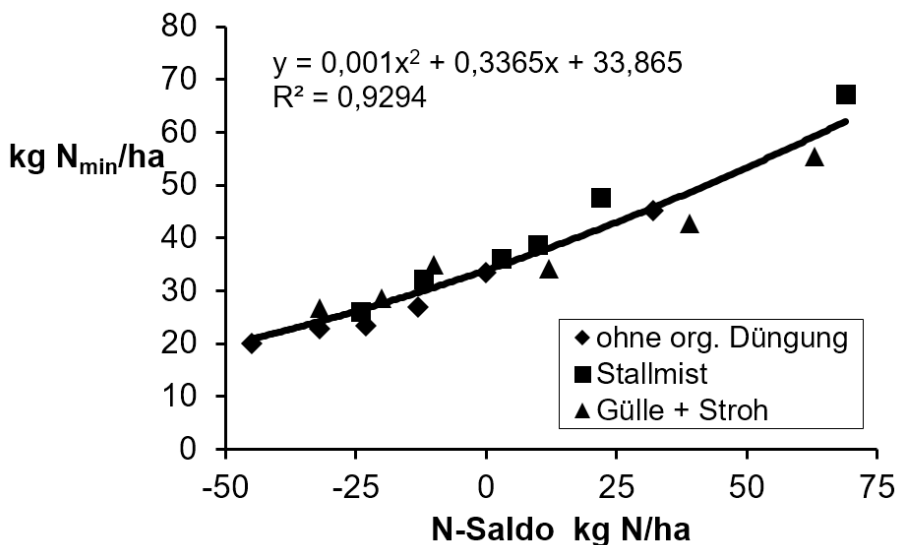


Abb.3: N_{\min} -Gehalt im Herbst in Abhängigkeit vom N-Saldo (Mittel 1994...2014)

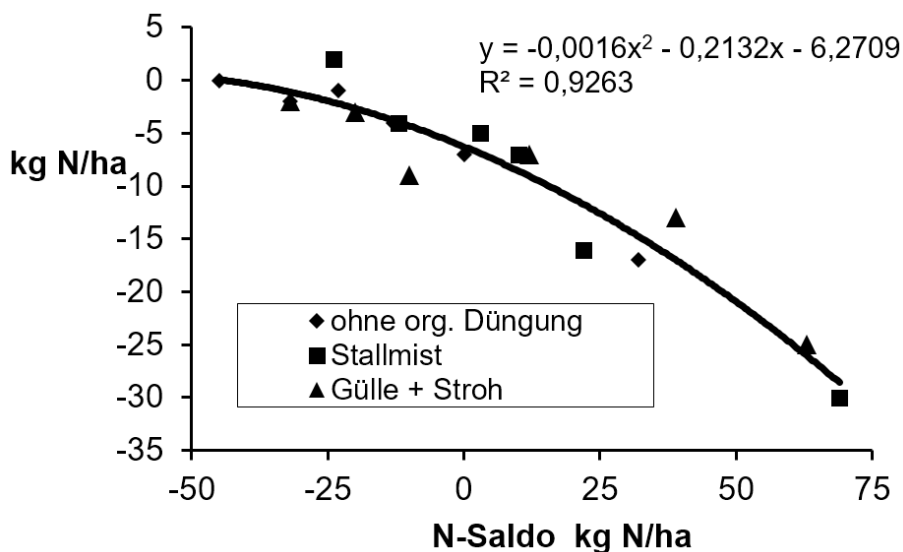


Abb.4: Abnahme des N_{\min} -Gehaltes im Boden über Winter in Abhängigkeit vom N-Saldo (Mittel 1994...2014)

Der mittlere N-Saldo der Varianten korreliert eng mit dem N_{\min} -Gehalt zu Vegetationsende und Abnahme des N_{\min} -Gehaltes über Winter (Abb. 3 und 4). Die Begrenzung des N-Saldos durch angepasste mineralische und organische Düngung ermöglicht auf dem Versuchsstandort tolerierbare N_{\min} -Gehalte im Herbst und eine Begrenzung des Nitratverlagerungsrisikos über Winter.

3.4 Wirkung auf den Humusgehalt im Boden

Nach 49 Jahren differenzierter organischer und mineralischer N-Düngung ist ein deutlicher Einfluss auf den Humusgehalt im Boden erkennbar (Tab. 5). Im Mittel aller N-Stufen der mineralischen N-Düngung weist die *Stallmistvariante* den höchsten C_{org} -Gehalt (0,88 %) auf, gefolgt von *Gülle + Stroh* (0,85 %) und *ohne organische Düngung* (0,65 %).

Tab. 5: C_{org} - und N_t -Gehalte im Boden (Mittel aller N-Stufen 2008-2013 in 0-20 cm) sowie Humussaldo nach VDLUFA (2014) für den Zeitraum 1994 bis 2013

Parameter	organische Düngung		
	ohne	Stallmist	Gülle + Stroh
C_{org} %	0,65	0,90	0,84
N_t	0,06	0,09	0,08
C/N	11	10	10
Häq ha ⁻¹ a ⁻¹ (untere Werte)	-381	+136	+5
Häq ha ⁻¹ a ⁻¹ (mittlere Werte)	-533	-18	-149

Die Humusbilanz nach der Methode des VDLUFA (untere Werte) weist für den Zeitraum 1994 bis 2013 für die Varianten ohne *organische Düngung* einen stark negativen Humussaldo von -381 Häq ha⁻¹ a⁻¹ aus. Im Vergleich dazu ist der Humussaldo bei Düngung von *Stallmist* mit +136 Häq ha⁻¹ a⁻¹ positiv sowie bei *Gülle + Stroh* annähernd ausgeglichen. Die Humussalden der Stufen des Faktors organische Düngung korrelieren damit mit den mittleren C_{org} -Gehalten im Boden.

Die C_{org} -Gehalte der Böden nehmen in jeder Stufe der organischen Düngung mit steigender mineralischer N-Düngung zu (Tab. 6). Die bedarfsgerechte mineralische N-Düngung fördert damit den Humusaufbau bzw. -erhalt, vermutlich als Folge höherer Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen.

Bei der Auswertung von Dauerdüngungsversuchen wird häufig der C_{org} -Gehalt der Nullparzelle (0,51 %) näherungsweise als Maß für den inerten Kohlenstoff sowie die Differenz zum höchsten ermitteltem C_{org} -Gehalt (1,04 %) der anderen Varianten als umsetzbarer Kohlenstoff (0,53 %) benutzt. Voraussetzung dafür ist das Vorliegen des Fließgleichgewichtes im C-Haushalt des Bodens, das im 1993 umgestellten Dauerversuch noch nicht erreicht ist.

Tab. 6: C_{org} -Gehalt im Boden (0-20 cm) in Abhängigkeit von der organischen und mineralischen N-Düngung (Mittel der Jahre 2009-2013)

N-Stufe	ohne OD	Gülle + Stroh alle 3 Jahre	Stallmist alle 3 Jahre
		C_{org} %	
1	0,51	0,68	0,64
2	0,55	0,82	0,72
3	0,60	0,90	0,85
4	0,69	0,95	0,91
5	0,74	1,01	0,95
6	0,79	1,04	1,00

Unter Berücksichtigung der ermittelten Trockenrohdichte kann der Gesamt-N-Vorrat (kg N/ha) des Bodens errechnet werden. Tabelle 7 zeigt, dass parallel zum C_{org} -Gehalt im Boden nach 48 Jahren Versuchslaufzeit eine deutliche Differenzierung der N-Vorräte zu verzeichnen ist.

Tab. 7: Gesamt-N-Gehalt (kg N/ha) im Boden (0-20 cm) in Abhängigkeit von der organischen und mineralischen N-Düngung (Mittel der Jahre 2009-2013)

N-Stufe	ohne OD	Stallmist alle 3 Jahre	Gülle + Stroh alle 3 Jahre
		1	1.386
2	1.568	2.282	1.946
3	1.638	2.534	2.310
4	1.848	2.604	2.492
5	2.086	2.884	2.590
6	2.184	2.898	2.744

Die Variante ohne organische und ohne mineralische N-Düngung weist mit

1386 kg N/ha den niedrigsten sowie die Variante Stallmist mit der höchsten mineralischen N-Düngung mit 2898 kg N/ha den höchsten N-Vorrat auf. Die Differenz beträgt 1512 kg N/ha und weist auf den düngungsbedingten Abbau bzw. Aufbau der N-Vorräte im Boden hin. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass zumindest ein Teil des gedüngten N in die organische Substanz eingebaut wurde sowie langjährig negative Humusbilanzen zu einer Reduzierung der Humusvorräte des Bodens führen.

4. Fazit und Schlussfolgerungen

Dauerdüngungsversuche sind zur Aufklärung der Wirkung von organischer und mineralischer Düngung auf Boden und Pflanze unerlässlich und können bei ausreichender Laufzeit die aktuellen Fragen zum Beispiel hinsichtlich Humusdynamik im Boden oder erreichbare N-Salden bei hoher Flächenproduktivität beantworten.

Das Ergebnis des Dauerdüngungsversuches Bad Salzungen belegt die Notwendigkeit einer angemessenen Humusversorgung des Bodens. Eine stark negative Humusbilanz führt zu einer Abnahme des C_{org} -Gehaltes im Boden und letztlich des Ertragspotentials des Standortes. Bei optimaler mineralischer N-Zufuhr führten die Stallmistdüngung zu 12 % und die Gülle/Stroh-Düngung zu 6 % Mehrertrag im Vergleich zur unterlassenen organischen Düngung.

Nach 48 Jahren Versuchsdauer ergibt sich eine deutliche Differenzierung der C_{org} -Gehalte im Boden. Sie nehmen in der Reihenfolge *Stallmist* > *Gülle + Stroh* > *ohne organische Düngung* ab.

Die C_{org} -Gehalte unterliegen nach annähernd 50 Jahren Versuchslaufzeit immer noch Änderungen. Das Fließgleichgewicht ist noch nicht eingestellt. Die mineralische N-Düngung erhöht in jeder OD-Stufe die C_{org} - und N_t -Gehalte des Bodens. Die organische Düngung senkt die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs und erhöht den N-Flächensaldo. Eine angemessene mineralische N-Düngung, die das N-Mineraldüngeräquivalent der organischen Dünger berücksichtigt, gestattete unter den Versuchsbedingungen sowohl eine hohe Ertragsleistung als auch die Einhaltung des von der aktuellen Düngeverordnung geforderten N-Saldos. Bei ausgewogener organischer und mineralischer N-Düngung und standortbezogenen hohem Ertragsniveau ist es möglich, die zulässigen N-Salden der aktuellen Düngeverordnung einzuhalten. Steigende

N-Salden führen zu einer Erhöhung des Herbst- N_{\min} -Gehaltes im Boden und des Risikos von Nitratverlagerungen in tiefere Bodenschichten über Winter.

5. Literaturangaben

- Ansorge, H., Jauert, R., Hagemann, O., Görlitz, H., 1973: Untersuchungen über die Effektivität gesteigerter Mineraldüngergaben bei unterschiedlicher organischer Düngung. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk. 17, 17-28.
- Ansorge, H., Pöbneck, J., 1992: Untersuchungen über den Einfluß einer lang-jährig differenzierten organischen N-Düngung und den Boden auf drei Standorten. Tagungsbericht zum Symposium Dauerfeldversuche und Nährstoffdynamik Bad Lauchstädt 1992; 53-59.
- Kerschberger, M., 1994: Optimale N-Düngung sichert hohe Erträge, ausgeglichene N-Bilanzen und niedrige N_{\min} -Gehalte des Bodens. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 73, 63-66.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2014): Standpunkt Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Speyer.
- Zorn, W. Schröter, H., 2010: Wirkung differenzierter organisch-mineralischer Düngung auf Ertrag, N-Bilanz und Humusgehalt im Boden im Dauerdüngungsversuch Bad Salzungen nach 43 Jahren. VDLUFA-Schriftenreihe Band 66/2010, Kongressband 2010 Kiel, 236-243.

Ergebnisse deutscher Forschungsarbeiten über Ammoniakemissionen aus mineralischen Düngemitteln vor dem Hintergrund des nationalen Emissionsinventars

H. Döhler

DoehlerAgrar, Untermerzbach

1. Einleitung

Im Rahmen mehrerer internationaler Vereinbarungen (EU NEC-Richtlinie und Multikomponentenprotokoll der UN) hat sich Deutschland verpflichtet, die nationalen Ammoniakemissionen bis zum Jahr 2010 auf 550 kt NH₃ zu reduzieren. Neue Zielwerte für 2020 befinden sich derzeit in Verhandlung. Bestandteil dieser internationalen Vereinbarungen ist auch eine jährliche Emissions-Berichterstattung, mit der das Ausmaß und Herkunft dieser Emissionen konsistent und transparent dokumentiert werden muss. Bei der Methodik zur Emissionsberechnung müssen internationale Vorgaben eingehalten werden, die insbesondere für Mineraldünger für das Berichtsjahr 2013 neu erstellt wurden. Gleichwohl besteht für jeden Vertragsstaat die Möglichkeit, in begründeten Fällen selbst entwickelte, national individuelle Methoden anzuwenden. Im Beitrag werden die Auswirkungen der Inventarmethodik auf die Gesamtemissionen der deutschen Landwirtschaft beschrieben und eine Plausibilitätsprüfung der neuen EMEP Faktoren (2013) für Mineraldünger durchgeführt.

2. Auswirkungen der neuen EMEP Emissionsfaktoren für N-haltige Mineraldünger auf das nationale Emissionsinventar

Die im Rahmen der Task Force on Emission Inventories and Projections der vereinten Nationen durchgeführten Änderungen im EMEP Guidebook führten zu drastischen Erhöhungen der Ammoniak-Emissionsfaktoren für mineralische N-Düngemittel und demzufolge zu einer ebensolchen für die absoluten N-Emissionen des deutschen Inventars. Tabelle 1 zeigt die Emissionsfaktoren des EMEP Guidebook 2009 und 2013. Demnach wurden im Guidebook 2013 die Emissionsfaktoren fast aller N-haltigen N Dünger um 76 bis 606 % erhöht, lediglich der Wert für Ammoniumsulfat wurde nach unten korrigiert.

Tab. 1: NH₃-Emissionsfaktoren für stickstoffhaltige Mineraldünger nach EMEP Guidebook 2013 und 2009.

	EMEP 2013 kg NH ₃ /kgN	EMEP 2009 kg NH ₃ /kgN	Veränderung %
Kalkammonsalpeter	0,022	0,009	+144
Ammoniumnitrat	0,037	0,009	+311
Ammoniumsulfat	0,013	0,016	-19
Ammoniumphosphat	0,113	0,016	+606
Ammonnitrat-Harnstoff- Lösung (AHL)	0,125	0,071	+76
Harnstoff	0,243	0,138	+76

Die Verwendung dieser Faktoren in der deutschen Berichterstattung führte zu signifikanten Veränderungen. Während im Berichtsjahr 2012 bei Verwendung der Faktoren 2009 noch die Vorgaben für die nationale Emissionshöchstgrenze von 550 kt einhalten wurden, lagen die Emissionen für Ammoniak im Berichtsjahr 2013 (veröffentlicht im Jahr 2015) um ca. 120 kt darüber. Neben Umstellungen in der Inventarmethodik für die Tierhaltung waren hauptsächlich die neuen Emissions-Faktoren für Mineraldünger mit zusätzlich etwa 80 kt NH₃ (Tab. 2) dafür verantwortlich.

Tab. 2: NH₃-Emissionen in Deutschland infolge geänderter E-Faktoren 2012 und 2013 (NIR 2015)

	2012	2013
Tierhaltung	446,70	486,94
Synthetische N-Dünger	65,64	146,31
Industrie Prozesse	40	40
Summe	552,34	673,25

3. Angewandte Forschung in Deutschland zur Ammoniakemission bei der Mineraldüngeranwendung bis 1990

Forschungsarbeiten über Emissionen von mineralischen N-Düngemitteln reichen aus den 1930er Jahren bis in die Gegenwart. Gegenstand dieser Untersuchungen waren die für die deutsche Agrarwirtschaft wichtigsten N-Dünger

Kalkammonsalpeter (KAS), Harnstoff (HA) und Ammonnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL). Insgesamt liegen nur wenige Untersuchungen vor, die jedoch sehr eindeutige Trends für den deutschen Pflanzenbausektor zeigen.

Über indirekte Methoden ermittelte Daten zu Ammoniakemissionen von mineralischen Düngemitteln (vor allem von Harnstoff) existieren bereits aus den 1930er Jahren (BASF, 1939, zitiert in Zerulla, 2012) und den 1970er Jahren (Förster und Lippold, 1975). Beide Quellen belegen vergleichsweise geringe Emissionen von 5 und 10 % des applizierten N (Tab. 3).

Im Zuge der Erforschung der Wirtschaftsdüngeremissionen in den 1980er und 1990er Jahren wurden auch Mineraldüngeremissionen ermittelt. Unter Praxisbedingungen ermittelte Amberger (1990) am Standort Weihenstephan in einem Vergleich von KAS und HA Emissionen für HA von 5 bis 14 % im Frühjahr. Die Emissionen von KAS waren vernachlässigbar. Die Emissionen waren mit 9/19 % für KAS und mit 43/44 % für HA deutlich höher, wenn die Dünger zu nicht praxisüblichen Terminen im Sommer appliziert wurden. Auffällig waren für HA die Unterschiede für granulierten und geprillten Harnstoffformen. Der granulierten wies nur etwa 50 % der Verluste im Vergleich zum geprillten Harnstoff auf (Abb. 1).

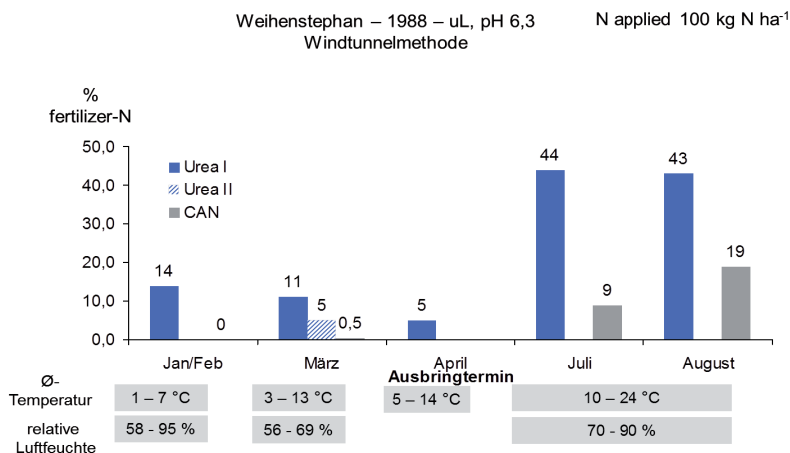


Abb. 1: NH₃-Verluste nach oberflächiger Applikation verschiedener N-Düngerformen (Harnstoff und KAS) zu Weizen (Amberger 1990)

4. Angewandte Forschung in Deutschland zur Ammoniakemission bei der Mineraldüngeranwendung 1990-2010

Die Untersuchungen auf demselben Standort mit KAS, HA und AHL durch Gutser et al. (2004) zeigen ähnliche Trends, jedoch auf deutlich niedrigerem Emissionsniveau. Die meisten Untersuchungen ergaben für HA, KAS und AHL Verluste von weniger als 1 %. Die Untersuchungen dieser Autorengruppe belegen weiterhin den Einfluss von Niederschlägen, die zu einer signifikanten Minderung der Emissionen bis zur Nullemission führen (Abb. 2). Allerdings reichen offensichtlich bereits feuchte bis nasse Böden in Verbindung mit niedrigen Temperaturen unter 10 °C aus, um die Emissionen auf sehr niedrigem Niveau zu halten.

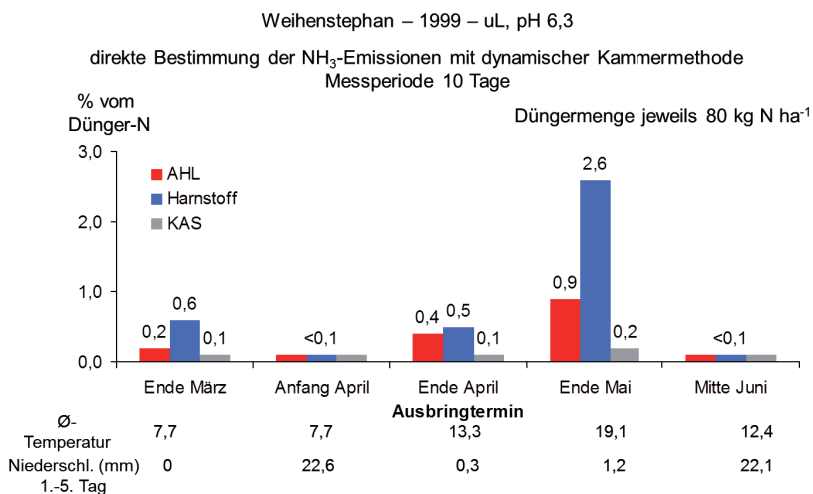


Abb. 2: NH₃-Verluste nach oberflächiger Applikation verschiedener N-Düngerformen zu Weizen (Gutser et al. 2004)

Auf diese Arbeiten folgte ebenfalls am Standort Weihenstephan die Ermittlung des Einflusses von Ureasehemmstoffen (Schraml und Schmidhalter, 2009, Schmidhalter et al., 2010). Diese Untersuchungen bestätigen deutlich das niedrige Emissionsniveau von Harnstoffdüngern bei Frühjahrsanwendung, aber auch die Wirkung von Ureaseinhibitoren (UI). Die Versuche belegen ein Reduktionspotenzial in acht Messkampagnen von 50-70 %.

In Versuchen zu Winterweizen wurde eine Verminderung der Ammoniakverluste nach Düngung von granuliertem Harnstoff von 40 %, im Grünland von durchschnittlich 80 % festgestellt.

Tab. 3: Ergebnisse der Ammoniak-Emissionsforschung für N-haltige Mineraldünger in Deutschland bis 2010

Autoren	Ammoniak-Emissionen NH ₃ -N, % des appl. N		Methode
	Harnstoff	KAS	
Förster, Lippold (1975)	5–10		¹⁵ N-Bilanz
BASF (- 1939)	6	-	nicht bekannt
Amberger (1990)	5–14 (44)	0,5 (9-19)	Windtunnel
Gutser et al. (2004)	<0,6 (2,6)	<0,1	dynamische Kammer
Ladewig (1993)	<2 (22)	-	Laborversuche / mathemat. Sim.
Mannheim (1996)	14		Mikrometeorol.
Zerulla et al. (2012)	2–55	-	Laborversuche
Weber et al. (2001)	<5,5	0...1,5	
Weber et al. (2004)	<3,5	-	
Khalil et al. (2006)	<2	-	dynamische Kammer
Khalil et al. (2009)	<2	-	
Schraml et al. (2009)	8,3	-	

Mannheim (1996) ermittelte im Freiland bei wärmeren Versuchsbedingungen mit einer mikrometeorologischen Methode Verluste von 14 %, Untersuchungen von Ladewig im Labor bestätigen die vorher genannten Ergebnisse: bei zur N-Düngung üblichen Umweltbedingungen betragen die Emissionen nur wenige Prozent, bei höheren Temperaturen und trockenen Bedingungen bis 22 %.

5. Jüngste Forschungsarbeiten seit 2010

Von mehreren Arbeitsgruppen wurde in den vergangenen 5 Jahren erneut die pflanzenbauliche Wirkung als auch die von den KAS und HA induzierten Ammoniakemissionen in Feldversuchen mit Winterweizen an 3 Agrarstandorten mit umfangreicher Wiederholung bestimmt (Ni et al., 2014, Kreuter et al., 2014). Die vorher beschriebenen Tendenzen und Abhängigkeiten, wie niedrige Verluste sowohl bei HA (max. 6 %) als auch bei KAS (max. 2 %) wurden in diesen Versuchen bestätigt. In der Summe mehrerer Applikationstermine bis ins warme Spätfrühjahr erreichten die Verluste von HA im Vegetationsdurchschnitt etwa 8 % und von KAS etwa 2 %. Ebenfalls wurden signifikante Minderungseffekte von UI festgestellt.

6. Zusammenfassung und Statement

1. KAS, HA und AHL sind die wichtigsten mineralischen N-Dünger in Deutschland.
2. Insgesamt sind nur wenige, aber zunehmende Informationen über NH_3 Verluste dieser Dünger verfügbar, jedoch kaum Untersuchungen über andere N Dünger (NP, AS, AC, etc.).
3. Frühere und neuere Untersuchungen zu Ammoniakemissionen von HA-, KAS- und AHL-Düngern zeigen deutlich:
 - Emissionen von „Frühjahrs-N“ sind niedrig (Harnstoff meist < 5 % KAS < 2%).
 - KAS zeigt erheblich geringere Verluste (50-90 %), aber auch hohe Verluste bei sehr hohen Temperaturen.
 - die Konditionierung (geprillt / granuliert) scheint Verluste für HA zu beeinflussen.
 - Auch bei hohen Temperaturen liegen die Verluste für HA kaum über 20 %.
 - Urease-Inhibitoren stellen eine relevante Option zur Emissionsreduzierung dar.
4. Es ist darüber hinaus davon auszugehen, dass die deutschen Ergebnisse auch relevant für andere mitteleuropäische Staaten sind.
5. Weiterhin ist festzustellen, dass die deutschen Untersuchungsergebnisse weitestgehend nicht mit den EMEP Emissions-Faktoren 2013 übereinstimmen. Dagegen scheinen die EMEP 2009 Faktoren die fachliche Wirklichkeit besser widerspiegelt zu haben.
6. Eine Überarbeitung der internationalen und nationalen E-Faktoren ist daher dringend angezeigt, aufgrund der Datenlage dürften dafür keine Forschungsarbeiten erforderlich sein.
7. Dennoch besteht Forschungsbedarf zur Absicherung der Emissionsfaktoren für Feldversuche unter praktischen Bedingungen. Dies sollte aber nur in einem internationalen Verbundprojekt geschehen, das mit einem vergleichbaren und transparenten Forschungsansatz über typische regionale Fruchtfolgen agronomische, ökologische und ökonomische Fragestellungen konsistent behandelt. Entsprechende Stakeholder sind in das Projekt einzu beziehen.

7. Literaturangaben

- Amberger, A., 1990: NH₃-Verluste aus der Anwendung organischer und anorganischer Dünger. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 30, 103-108, Kongressband 1989 Bayreuth, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- EMEP, 2009: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2009, Technical Report No 6/2009. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>.
- EMEP, 2013: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013, Technical, Report No 12/2013. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.
- Förster, I., Lippold, H., 1975: Ammoniakverluste bei Harnstoffdüngung 2. Mitteilung: Ermittlung von Ammoniakverlusten unter Feldbedingungen in Abhängigkeit von der Witterung. Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde, Berlin 19(9), pp. 631-639.
- Gutser, R., Weber, A., Manhart, R.; Schmidhalter, U., 2004: N-Effizienz oberflächlich applizierter Mineraldünger in Abhängigkeit von der Anwendungsform; Vortrag VDLUFA-Kongress, Rostock.
- Khalil, M.I., Schmidhalter, U., Gutser, R., 2006: N₂O, NH₃ and NO_x emissions as a function of urea granule size and soil type under aerobic conditions. Water, Air and Soil Pollution 175, 127-148.
- Khalil, M.I., Buegger, F., Schraml, M., Gutser, R., Schmidhalter, U., Richards, K.G., 2009: Gaseous Nitrogen Losses from a Cambisol Cropped to Spring Wheat with Urea Sizes and Placement Depths. Soil Science Society of America Journal 73(4), 1335-1344.
- Kreuter, T., Ni, K., Gaßner, M., Schmidhalter, U., Döhler, J., Pacholski, A., 2014: Ammonia loss rates from urea and calcium ammonium nitrate applied to winter wheat on three different sites in Germany. 18th Nitrogen Workshop: The nitrogen challenge: Building a blueprint for nitrogen use efficiency and food security. Lisbon 30 June-3 July 2014. Proceedings, 453-455. ISBN 978-972-56-0.
- Mannheim, T., 1996: Ammoniakemissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen : Quellen und Minderungsmaßnahmen: Diss. Universität Hohenheim Stuttgart, 1996.
- Ladewig, E., 1993: Ammoniakverdunstung nach Düngung mit Harnstoff: Parametererhebung und mathematische Simulation: Diss. Universität Göttingen 1993; Aachen, Verlag Shaker, 1993.

- Ni, K., Pacholski, A., Kage, H., 2014: Ammonia volatilization after application of urea to winter wheat over 3 years affected by novel urease and nitrification inhibitor. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 197, 184-194.
- NIR, 2015: Rösemann, C., Haenel, H.-D., Dämmgen, U., Freibauer, A., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Döhler, H., Schreiner, C., Bauer, B., Osterburg, B., 2015: Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990-2013. Report zu Methoden und Daten (RMD) Berichterstattung 2015, Thünen Report 27, Johann Heinrich von Thünen-Institut (Hrsg.), Braunschweig.
- Schmidhalter, U., Schraml, M., Weber, A., Gutser, R., 2010: Ammoniakemissionen aus Mineraldüngern – Versuchsergebnisse auf mitteleuropäischen Standorten. *KTBL-Schrift* 483, 93-102.
- Schraml, M., Gutser, R., Schmidhalter, U., 2009: Abatement of NH₃ emissions following application of urea to grassland by means of the new urease inhibitor 2-NPT. In: Sequi, P. et al., 2009: More sustainability in agriculture: New fertilizers and fertilization management. 18th Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers, 8-12 November, Rome.
- Weber, A., Gutser, R., Schmidhalter, U., 2001: Field emissions of NH₃ and NO_x following urea application to wheat. In: W.J. Horst et al. *Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems*, 884-885.
- Weber, A., Gutser, R., Schmidhalter, U., 2004: Effect of new urease inhibitors on gaseous N emissions (NH₃, NO_x, N₂O): following surface application to arable soil. In: A. Weiske. *Greenhouse Gas Emissions from Agriculture – Mitigation Options and Strategies*. Proceedings of the Int. Conference, February 10-12, 2004 Leipzig, Germany, p. 271-272.
- Zerulla, W., Wissemeier, A., Pasda, G., 2012: Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen aus Mineraldüngern. In: *Stickstoff – Bedeutung für Mensch und Umwelt*. Tagung des VLK und des BAD am 24. und 25. April 2012 in Würzburg, S. 38-52.

Ersatz von Mais/Getreide durch Soja auf Ertrag, Erlös, Treibhausgas-Emissionen und CO₂-Vermeidungskosten in 3 Regionen in Österreich

G. Dersch¹, T. Moser², L. Schaller², K. Mechtler¹, B. Amon³

¹AGES, Wien, ²Universität für Bodenkultur, Wien, ³Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V.

1. Einleitung und Problemstellung

In den europäischen Ländern wurden nur zwischen 0,5 % bis 6,5 % der Ackerfläche mit Körnerleguminosen bestellt (GL-Pro, 2005), in Österreich lag der Anteil bei 4,4 %, davon 1,6 % Körnererbse, Ackerbohne und Lupine und 2,7 % Sojabohne (Grüner Bericht, 2013). Wegen deren Fähigkeit zur symbiotischen N-Fixierung benötigen diese Feldfrüchte keine N-Düngung. Die N-Bindung mittels der Rhizobien erfordert jedoch Energie, die in Form von Kohlehydraten durch die Leguminose bereitgestellt wird (Crews und Peoples, 2004). Die Erträge bezogen auf GJ/ha sind daher deutlich geringer als bei Mais und Getreide, die Proteingehalte andererseits deutlich höher. Körnerleguminosen weisen zusätzlich eine günstige Wirkung auf die Folgefrucht auf, der N-Einsatz kann daher vermindert.

Die Menge der N₂O-Emissionen, die von der biologischen N-Bindung ausgehen, wurde nach den aktuellen IPCC-Richtlinien (2006) im Vergleich zu der vorherigen deutlich vermindert: Es werden nur die auf dem Feld verbleibenden N-Mengen im Stroh und in den Wurzeln mit demselben Emissionsfaktor von 1 % wie für mineralische und organische N-Dünger berücksichtigt. Die Vorgaben nach IPCC (2006) für die Berechnung der N-Menge aus den Ernterückständen hängt vor allem vom Ertragsniveau ab, daher ergeben sich insbesondere für Mais deutlich höhere auf dem Feld verbleibende N-Mengen in den Ernterückständen im Vergleich zu Sojabohne.

Neben den Vorteilen hinsichtlich der Biodiversität durch den höheren Anteil an Soja in der Fruchtfolge wirkt sich primär der Verzicht auf mineralische N-Dünger im Vergleich zu Mais- und Weizenanbau auf die Treibhausgasbilanz aus, weil keine fossile Energie für die industrielle Produktion und die Verteilung verbraucht wird. Die damit verursachten äquivalenten CO₂-Emissionen werden in

den nationalen Treibhausgasinventuren beim Sektor Industrie ausgewiesen.

In dieser Studie, die im Rahmen des Klimafondsprojektes „FarmClim“ erfolgte, wurden die Auswirkungen des Ersatzes von Mais bzw. Getreide durch Soja auf die THG-Emissionen errechnet unter Verwendung der Emissionsfaktoren nach IPCC (2006). Damit können auch die betriebswirtschaftlichen Aspekte durch die veränderte Fruchtfolge quantifiziert und die damit zusammenhängenden CO₂-Vermeidungskosten für den Landwirt ermittelt werden.

2. Material und Methoden

Es wurde ein Szenario erstellt, in dem in drei typischen Ackerbauregionen reine Marktfruchtbetriebe (ohne Tierhaltung) den Anbau von Soja auf Kosten von Mais bzw. Weizen ausweiten: In der Steiermark, wo Mais in der Fruchtfolge überwiegt, wird diese Kultur zu 100 % und in Oberösterreich werden Mais und Futterweizen zu jeweils 50 % durch Soja ersetzt. In NÖ, wo getreidestärke Fruchtfolgen typisch sind, wird Winterweizen (34 % Qualitätsweizen und 66 % Ethanolweizen, der in den Anforderungen einem Futterweizen entspricht) durch Soja verdrängt. Die gesamte N-Düngung zwischen 110-150 kg N/ha für Getreide und Mais erfolgt in mineralischer Form. Alle Berechnungen beziehen sich jeweils auf 1 ha zusätzliche Sojafläche.

Die Basis für die Berechnungen sind die mittleren Erträge in den drei Regionen und die Marktpreise der offiziellen Statistik von 2010-2013. Nur für NÖ wurde bei Soja ein niedrigerer Ertrag eingesetzt, weil keine zusätzliche Berechnung angenommen wurde (Tab. 1).

Tab. 1: Regionale Erträge der Feldfrüchte (t/ha) und Marktpreise (€/t) nach AMA-Statistik als Mittel der Periode 2010-2013

Feldfrüchte	Ober- österreich	Steier- mark	Nieder- österreich	Markt- preise
Brotweizen (QW)	5,9	5,7	4,6	188
Futterweizen (FW)	7,2	6,5	5,3	156
Mais	9,9	10,3	9,4	174
Sojabohne	2,78	2,92	2,34	351

Die direkten und indirekten N₂O-Emissionen pro kg N aus mineralischer Düngung bzw. von den Ernterückständen wurden nach IPCC (2006) ermittelt und mit dem Faktor 298 in CO₂-Äquivalente umgerechnet. In einem zusätzlichen Schritt erfolgte auch die Einbeziehung der mit der mineralischen N-Herstellung und Verteilung verursachten CO₂-Emissionen, wobei ein sehr niedriger, von der Düngemittelindustrie publizierter Wert, und ein hoher, vom Umweltbundesamt verwendeter Wert, in die Berechnungen einfließen (Tab. 2).

Tab. 2: N₂O-N-Emissionen und entsprechende CO₂-Äquivalente ausgelöst durch 1 kg N-Input auf den Boden (mineralischer Dünger bzw. Stroh- und Wurzelrückstände) nach IPCC-Guidelines (2006) inklusive der CO₂-äquivalenten Emissionen durch industrielle Herstellung und Verteilung des mineralischen N-Düngers

Arten der Emissionen	g N ₂ O-N pro kg N	kg CO ₂ -Äquiv./ kg N
Direkte Emission von Böden (EF 0,01)	10,00	4,68
Indirekte Emission nach Auswaschung (FL 0,3 und EF 0,0075)	2,25	1,05
Indirekte E. nach gasförmigen N-Verlust und Deposition (FV 0,04 u. EF 0,01)	0,40	0,18
Emission aus Böden (landw. Sektor)	12,65	5,92
Gesamt-Emissionen inkl. industrieller Sektor (Herstellung und Verteilung von 1 kg mineral. N: 3,7¹ - 7,5² kg CO₂/kg N)	-	9,62 – 13,42

EF...Emissionsfaktor; FL...Fraction Leach; FV...Fraction Volatilized

1) Methodology for calculating the carbon footprint of AN-based fertilizers (2010), www.yara.com; 2) Probas-Datapool (www.probas.umweltbundesamt.de)

Für die betriebswirtschaftliche Bewertung wurden die aktuellen Standard-Deckungsbeiträge herangezogen. Anforderungen aus Cross-Compliance oder Förderungen aus dem Agrarumweltprogramm z. B. hinsichtlich der Fruchtfolge und Biodiversität sind nicht berücksichtigt.

3. Ergebnisse

Die Lachgas-Emissionen sind wegen der fehlenden N-Düngung bei Soja um 0,9 t CO₂-Äquivalente in OÖ und in der Steiermark verringert, auf Grund der niedrigeren N-Düngungsintensität in NÖ um 0,7 t/ha (Tab. 3).

Tab.3: Vermeidung von CO₂-äquivalenten Emissionen in t/ha im Sektor Landwirtschaft (keine N₂O-Emissionen durch Verzicht auf mineralische N-Düngung und geringerer N-Input aus Stroh und Wurzeln bei Soja nach IPCC 2006) und im Sektor Industrie bei Ersatz von Weizen/ Mais durch Soja

Emissionsquellen	Ober- österreich	Steiermark	Nieder- österreich
Ohne N-Düngung	-0,87	-0,92	-0,69
Geringere N-Inputs aus Stroh und Wurzeln	-0,23	-0,17	-0,14
Summe (Landw.)	-1,10	-1,09	-0,83
N-Herstellung und Verteilung (Industrie)	-0,54 bis -1,10	-0,59 bis -1,20	-0,43 bis -0,88

Zusätzlich durch die geringeren N-Inputs aus Stroh und Wurzeln bei Soja werden die Emissionen aus den Böden (landw. Sektor) um 0,83 bis 1,10 t CO₂-Äquiv./ha in den drei Regionen vermindert. Werden auch die bei der industriellen N-Düngerproduktion verursachten Emissionen einbezogen, werden noch weitere ca. 0,5 bis über 1 t CO₂-Äquiv./ha vermieden.

Mit den CO₂-Emissionen vermindern sich auch die Erträge pro ha. Um die Flächenproduktivität zu bewerten wurde als einheitliche Vergleichsgröße der Energieertrag in GJ/ha gewählt (Tab. 4). Damit wird zumindest der höhere Energiegehalt der Sojabohne auf Grund des hohen Ölgehalts berücksichtigt. Für die Berechnung wurden die folgenden Energiegehalte in MJ pro kg marktübliches Produkt verwendet: Weizen: 13,1, Mais: 14,3 und Sojabohne 19,8.

Tab.4: Energie-Erträge (GJ/ha) der aktuellen Feldfrüchte (OÖ: 0,5 ha FW und 0,5 ha Mais; Stmk: 1 ha Mais; NÖ: 0,67 FW und 0,33 ha QW) und von Sojabohne auf Basis der regionalen Erträge von Tabelle 1

Feldfrüchte	Ober- österreich	Steiermark	Nieder- österreich
Aktuelle Feldfrüchte	118,1	147,3	66,7
Sojabohne	55,0	57,7	46,3
Differenz	-63,1	-89,6	-20,3

Bezogen auf ein ha zusätzlicher Sojafläche verringern sich die Energie-Erträge zwischen 20 in NÖ bis zu 90 GJ/ha in der Steiermark, die Reduktion ist umso größer je mehr Mais durch Soja ersetzt wird.

Neben dem Energieertrag sollte auch der Proteinertrag und die Proteinqualität für eine umfassende Bewertung einbezogen werden.

Bei der Berechnung der betriebswirtschaftlichen Auswirkungen sind die Erträge und Preise von Tabelle 1 einbezogen und damit die jeweiligen Deckungsbeiträge in den Regionen ermittelt worden. Wenn nur Weizen durch Sojabohne ersetzt wird, dann sind keine Auswirkungen auf das betriebliche Einkommen gegeben. Je höher der Maisanteil ist, der durch Soja ersetzt wird, umso größer sind die finanziellen Einbußen: In OÖ bei 50 % Maisersatz - 129 €/ha und in der Steiermark bei völligen Ersatz von Mais durch Soja - 234 €/ha Mindererlös (Tab. 5).

Tab. 5: Veränderung des Deckungsbeitrags (€/ha), CO₂-Vermeidungskosten (€/t CO₂-Äquiv.) und Reduktion (Red.) des Energieertrages (GJ) pro t vermindertem CO₂-Äquiv. bei Ersatz von Weizen/Mais durch Soja

	Ober- österreich	Steiermark	Nieder- österreich
Deckungsbeitrag (€/ha)	-129	-234	+2
Vermeidungskosten (€/t CO ₂)			
-Landwirtschaftl. Einkommen	-117	-215	+2
-Gesamt (Landw.+ Industrie ¹)	-54 bis -70	-87 bis -112	Ca. +1
Red. Energieertrag (GJ/t CO ₂)			
-Landwirtschaftl. Produktion	-57	-82	-24
-Gesamt (Landw.+ Industrie ¹)	-26 bis -34	-33 bis -43	-11 bis -16

1) zusätzlich CO₂-Emissionen durch Trocknung von 0,40 t CO₂/ 1 ha Mais einbezogen

Auf Basis dieser Werte können mit den Reduktionsangaben der CO₂-Emissionen von Tabelle 3 die Vermeidungskosten für eine t CO₂-Äquiv. für den Marktfruchtbetreiber von 117 € in OÖ und 215 € in der Steiermark ermittelt werden. In einer gesamtheitlichen Betrachtung sind auch die verminderten Emissionen aus dem Sektor Industrie durch die rückläufige N-Düngerproduktion aus Tabelle 3 mit zu bewerten. Es ergeben sich dann deutlich niedrigere Kosten von 54-70 € in OÖ und 87-112 € in der Steiermark pro t CO₂; die Bandbreite ergibt

sich aus den unterschiedlichen Angaben für den CO₂-Fussabdruck aus der N-Düngerherstellung (Industrie bzw. Umweltbundesamt) und den zusätzlichen CO₂-Bedarf, wenn der Körnermais getrocknet wird.

Neben dem verminderten Einkommen für den Marktfruchtbetrieb beim Ersatz von Mais bzw. Weizen durch Soja ist auch der verminderte Energieertrag v. a. für den Futtermittelsektor bzw. die Alkoholproduktion zu bewerten: Bei Einbeziehung der gesamten CO₂-Minderung (Landwirtschaft und Industrie) wird somit der Energieertrag um 11 bis 16 GJ (in NÖ bei Ersatz von Weizen durch Soja) und um 33 bis 43 GJ (in der Steiermark bei Ersatz von Mais durch Soja) pro t CO₂-Verminderung reduziert.

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Wegen der Volatilität der Marktpreise durch unterschiedliche Einflüsse können sich die hier errechneten Vermeidungskosten verändern. Die vorgestellte Vorgehensweise für die Kalkulation erscheint aber geeignet, regionale und kulturartenspezifische Besonderheiten zu quantifizieren.

Der Ersatz von Mais und Getreide in der Fruchtfolge durch Sojabohne führt zu relevanten Verminderungen der CO₂-Emissionen in zwei von drei Regionen, ist aber zugleich mit deutlichen Verminderungen des Ertrages an Energie in allen Regionen verbunden. Die Vermeidungskosten für den Marktfruchtbetrieb und die Verluste an Energieertrag sind am höchsten, wenn Mais durch Soja ersetzt wird. Der verstärkte Anbau der Leguminose Soja statt Mais wird auch durch zunehmende Probleme v. a. durch den Maiswurzelbohrer vorangetrieben. Wegen der hohen finanziellen Einbußen bei Ersatz von Mais werden zusätzliche Anreize (Sojaanbau teilweise als Ökologische Vorrangfläche im Greening anerkannt) bzw. Förderungen in Agrarumweltprogrammen zur Steigerung des Sojaanbaus erforderlich sein.

Die auf einzelbetrieblicher und regionaler Ebene ermittelten CO₂-Verminderungen durch Ersatz von Mais/Getreide durch Soja führen insgesamt nur dann zu Verminderungen der Treibhausgas-Emissionen, wenn zugleich z. B. die Tierbestände entsprechend vermindert werden und nicht die fehlenden Energieerträge durch Importe aus anderen Gebieten ausgeglichen werden.

5. Literaturangaben

- Crews, T.E., Peoples M.P., 2004: Legume versus fertilizer sources of nitrogen: Ecological tradeoffs and human needs. *Agric. Ecosystem. Environment* 102, 297-297.
- GL-Pro, 2005: Guidelines for growing grain legumes in Europe. *GL-Pro Concerted Action*, 8.
- Grüner Bericht, 2013: Bericht über die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft. Hrsg. BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft.
- Nemecek, T., Richthofen, J.-S., v. Dubois G., Casta, P., Charles, R., Pahl, T.H., 2008; Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Europ. J. Agronomy* 28, 380-393.
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006: Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 11: N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application.

N₂O-Emission auf einem ackerbaulich genutzten Lößboden im Thüringer Becken

S. Knoblauch, G. Kießling, F. Hengelhaupt

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Einleitung

Der Anteil der Landwirtschaft an den Treibhausgas-Emissionen wird derzeit auf etwa 7,7 % geschätzt. Daran ist N₂O zu etwa 64 % beteiligt. N₂O entsteht durch die im Boden ablaufenden Prozesse der Denitrifikation und Nitrifikation. Im Vergleich zu natürlichen Systemen ist der N-Umsatz in landwirtschaftlich genutzten Böden erhöht und damit auch die Gefahr der N₂O-Bildung. Für die Kalkulation wird vereinfacht von einem linearen Zusammenhang zwischen der Höhe des N-Inputs und der N₂O-Emission ausgegangen und unterstellt, dass 1 % oder mehr des ausgebrachten Stickstoffs als N₂O-Nemittiert.

Auf einem tiefgründigen Lößboden des Thüringer Beckens wird seit Anfang 2012 mit Hilfe eines automatischen Haubenmesssystems des TI Braunschweig kontinuierlich die N₂O-Emission gemessen. Ziel der Untersuchungen ist es, den Einfluss des Standortes und einzelner Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die N₂O-Emission zu bestimmen für die Ableitung von Maßnahmen zur Minderung der N₂O-Emission und den Faktor für die Berechnung der N₂O-Emission standortabhängig zu präzisieren. Im folgenden Beitrag werden die Ergebnisse der Messungen von 2012 bis 2014 vorgestellt.

2. Material und Methoden

Der Versuchsstandort befindet sich am Südrand des Thüringer Beckens in 230 m Höhe ü. NN und ist durch das mitteldeutsche Binnenlandklima geprägt. Das vieljährige Temperaturmittel beträgt 8,3 °C, der vieljährige Jahresniederschlag 544 mm (1961...90).

Der Boden ist ein tiefgründiger Braunerde-Tschernosem aus Löß. Die Bodenart ist im Ap/Ah-Horizont ein stark schluffiger Ton (Ton Gehalt 31 %), in dem darunter liegenden Ah-Bv- und Ckc-Horizont durchgängig ein mittel schluffiger Ton. Die

pH-Werte (CaCl_2) lauten 6,2 im Ap/Ah- (0...39 cm), 7,0 im Ah-Bv- (39...70 cm) und 7,6 im Ckc-Horizont (70...250 cm). Der C_{org} -Gehalt der oberen 30 cm-Bodenzone beträgt 1,52 %. Das C/N-Verhältnis von 11 deutet auf günstige Bedingungen für den Umsatz organischer Substanz. Grobporengehalte von mehr als 7,8 Vol.% bis in 170 cm Tiefe bringen das für die Durchwurzelung und die Wasserinfiltration günstige Nadelstichporengefüge des Lößbodens zum Ausdruck. Der pflanzenverfügbare Bodenwassergehalt bewegt sich zwischen 8,5 und 12 Vol.%.

Die Spurengasmessungen werden mit Hilfe eines closed-chamber-Systems durchgeführt (Lempio und Freibauer, 2012). Es besteht aus drei Gasmesshauben, einem Autosampler, gesteuert über ein Logikmodul mit Multiplexer und einem Datenlogger. Die Gasmesshauben werden in Abstand von 5 Stunden mit Hilfe einer motorangetriebenen Seilwinde auf einen in den Boden eingebauten Aluminium-Rahmen geführt und schließen dort die Probenahmeffläche (78 * 78 cm) 1 Stunde luftdicht ab. Über an der Innenseite der Gasmesshauben angebrachte Schläuche saugen Pumpen das Gas in Probefläschen. Mittels Licor- CO_2 -Analyser wird die CO_2 -Konzentration des im geschlossenen Kreislauf strömenden Gases im Sekundentakt bestimmt. Nach Ablauf von etwa 3, 23, 43 und 63 Minuten wird ein Probefläschchen (Headspace Vials mit Septum und 20 ml Volumen) mit Gas befüllt. Die Analyse auf N_2O und CO_2 erfolgt mittels Gaschromatographen der Fa. Lofffield im Labor der TLL. Die drei Haubenkonstruktionen stehen in einem Abstand von 3 m auf einer einheitlich bewirtschafteten Feldparzelle (6 * 12 m) und stellen damit drei Wiederholungen dar.

Mit Hilfe eines Scripts des TI Braunschweig werden aus den Messwerten des CO_2 -Analyzers die CO_2 -Fluxes berechnet sowie die Zeiten und Temperaturen der Gasprobenahmen für die N_2O -Analyse tabellarisch ausgewiesen. Die mit dem GC ermittelten Messwerte der N_2O - und CO_2 -Konzentrationen (ppb, ppm) der 4 Gasproben werden unter Berücksichtigung der in der Haube gemessenen Temperatur in Massekonzentrationen umgerechnet.

Ein weiteres script des TI Braunschweig (Fuß, 2014) dient der Berechnung des N_2O -Fluxes aus den jeweils 4 Datenpunkten der einstündigen Messung. Der Gradient der Konzentration wird als Steigung eines mittels Regression angepassten Modells ermittelt. In der folgenden Auswertung kam durchgängig das lineare Modell zur Anwendung. In den Abbildungen sind zur Unterscheidung der

Sicherheit des Ergebnisses die berechneten N_2O -Fluxes mit unterschiedlichen Symbolen gekennzeichnet. Das quadratische schwarze Symbol kennzeichnet N_2O -Fluxes mit p-Werten $< 0,05$, das quadratische graue Symbol mit p-Werten von $0,05$ bis $1,0$. Hangs et al. (2013) halten es aufgrund der beträchtlichen räumlichen Heterogenität der die N_2O -Emission beeinflussenden Bodeneigenschaften für angebracht, ein weniger strenges Signifikanzniveau von $\alpha < 0,10$ in der statistischen Analyse anzuwenden. Die weiteren, nicht signifikanten N_2O -Fluxes sind mit einem Dreieck versehen im Fall eines Bestimmtheitsmasses, r^2 , von 60 bis 80 % und mit einem Kreis für $r^2 < 0$ %. Die signifikanten N_2O -Fluxes sind mit dem Standardfehler in Form eines Balkens markiert. In die Berechnung der N_2O -Emission für Zeitabschnitte gehen die signifikanten positiven N_2O -Fluxes ein. Für die signifikanten negativen N_2O -Fluxes konnte bisher keine Erklärung gefunden werden. Diese Werte und alle anderen nicht signifikanten N_2O -Fluxes werden gleich Null gesetzt in Anlehnung an Pfab et al. (2011), die Werte unter dem Schwellenwert von $r^2 < 80$ % als Null betrachteten. Die Gasmessungen begannen im Januar 2012 und werden seitdem kontinuierlich fortgesetzt. Zwischenzeitlich kam es zu Unterbrechungen aufgrund des Ausfalls von Teilen der Messtechnik.

Die Feldparzelle, auf der die N_2O -Messung stattfindet, ist Teil eines Feldversuches, der den Lysimeterversuch Buttstedt begleitet. Es handelt sich um eine Variante mit mineralisch-organischer Düngung (Tab. 1).

Tab. 1: Beschreibung der N-Düngung auf der Parzelle mit N_2O -Messung

1. u. 2. Gabe	N-Sollwert minus N_{\min} minus $100 \text{ kg Gülle-N}_{\text{MDÄ}} \text{ ha}^{-1}$ zu Silomais ¹ bzw. $50 \text{ kg Gülle-N}_{\text{MDÄ}} \text{ ha}^{-1}$ zu Winterraps ²
2. u. 3. Gabe	Präzisierung nach Pflanzenanalyse
nach Ernte der Hauptfrucht	Stroh bleibt auf dem Feld $50 \text{ kg Gülle-N}_{\text{ges}} \text{ ha}^{-1}$ zur Rotte von Sommergerste-Stroh

¹ Gülle-N-MDÄ für Ausbringung zum 6 bis 8-Blatt-Stadium von Silomais bzw. Sorghum bicolor x sudanense: 65 %

² Gülle-N-MDÄ für Ausbringung als Kopfdügg. i. Frühj. zu Winterraps: 60 %

Der fruchtartenabhängige N-Sollwert bemisst sich nach dem Stickstoff-Bedarfs-Analyse-System der TLL (Zorn et al., 2007). Abzüglich des pflanzenverfügbaren N_{\min} -Gehaltes des Bodens ergibt sich die N-Düngermenge zur 1. und 2. Gabe. Silomais bzw. Sorghum bic. x sud. und Winterraps erhalten einen Teil davon als Rindergülle, wobei der Gülle-N als Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) angerech-

net wird. In der Fruchtfolge wechseln Silomais bzw. Sorghum bic. x sud., Sommergerste, Winterraps und Winterweizen. Die Grundbodenbearbeitung erfolgt mit einem Grubber 15 bis 20 cm tief.

Die Witterung des Jahres 2012 war +0,5 K zu warm und mit 89 % des vieljährigen Mittels zu trocken. Besonders niederschlagsarm fielen die Monate Februar, März, April, September und Oktober aus. Überdurchschnittlich feucht zeigten sich der Juli und August. Im Jahr 2013 war im Jahresdurchschnitt eine normale Witterung zu verzeichnen mit überdurchschnittlich viel Niederschlag im Mai und Juni und sehr trockenen Verhältnissen im Juli und August. Das Jahr 2014 zeigte sich +1,5 K zu warm. Nach überwiegend zu trockener Witterung von Januar bis Juni setzen ab Juli ergiebige Niederschläge ein..

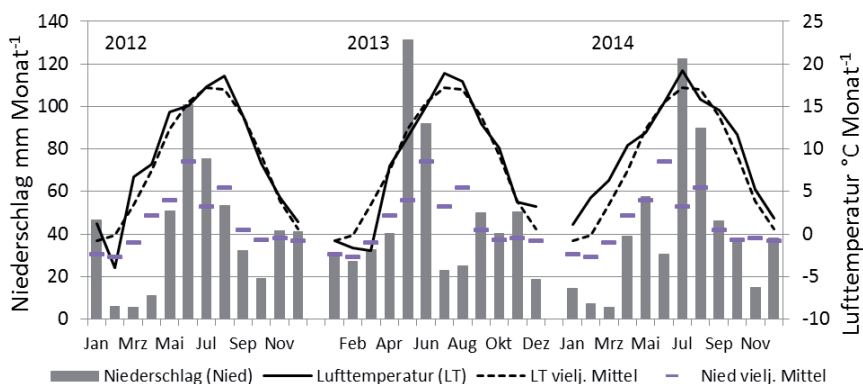


Abb. 1: Monatswerte der Lufttemperatur und des Niederschlages

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Verlauf der N₂O-Emission in ausgewählten Zeiträumen

Im Folgenden wird der Verlauf der N₂O-Emission am Beispiel von drei Messperioden vorgestellt.

Zu Beginn der Messperiode mit Brache gibt es vom 29.8. bis 22.9.2012 häufig signifikante N₂O-N-Fluxes ($p < 0,10$) mit bis zu $149 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ (Abb. 2). Nach Ernte der Hauptfrucht Winterweizen erfolgte am 12.8. ein flacher Stoppelsturz mit Einarbeitung des Stroh. In Verbindung mit 53 und 32 mm Niederschlag im August und September sowie Tagesmitteltemperaturen von 11 bis 20 °C war

der Umsatz organischer Substanz im Boden offenbar begünstigt und damit das Risiko der N_2O -Bildung. Im weiteren Verlauf treten bis Ende des Jahres noch ein paar wenige signifikante N_2O -Fluxes von 19,6 bis $57 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ auf. Daneben erscheinen wie in den anderen Zeiträumen viele geringe, nicht signifikante N_2O -Fluxes sowie eine Gruppe signifikant negativer N_2O -Fluxes, für die es noch keine Erklärung gibt. Erneute N_2O -Peaks am 27.1. und 26.2.2013 fallen zusammen mit einem Anstieg der Maximaltemperatur auf etwa $3 \text{ }^\circ\text{C}$ nach mehreren Frosttagen. Im Mittel der Messperiode vom 29.8.2012 bis 29.3.2013 sind es $4,07 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ bzw. $0,36 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

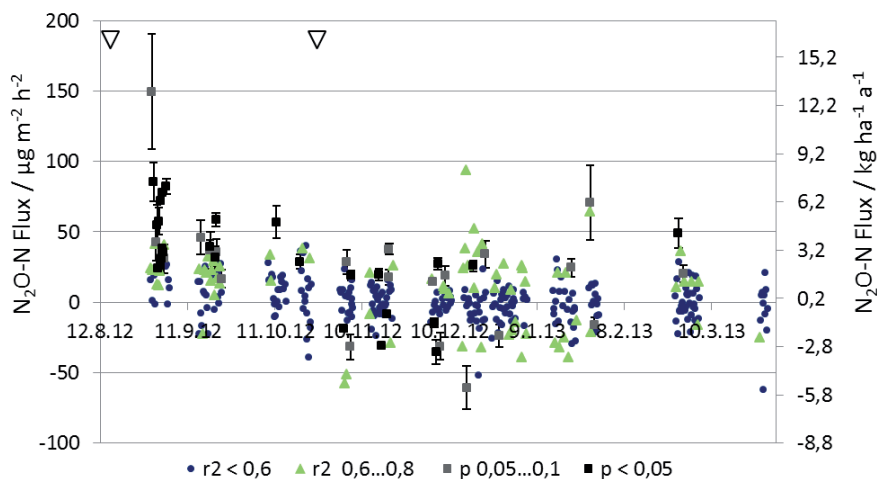


Abb. 2: Verlauf der N_2O -Emission vom 29.8.2012 bis 29.3.2013 auf einem Braunerde-Tschernosem aus Löß mit Brache, Stoppelsturz und Grundbodenbearbeitung mit Grubber

Den weiteren Verlauf zeigt Abbildung 3. Die signifikanten N_2O -Fluxes am 14. und 15.4.2013 kommen vor, nachdem eine Schneedecke auftaut, es nachts keinen Frost mehr gibt und die Tageshöchstwerte auf über $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ansteigen. Die signifikanten N_2O -Fluxes vom 4. bis 8.5.2013 fallen zusammen mit einer Periode, in der die Tageshöchsttemperaturen über $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ansteigen und es einige Tage zuvor 23 mm Niederschlag gab. Sommergerste wird am 10.5.2013 ausgesät und am 28.5.2013 mit $30 \text{ kg Mineral-N ha}^{-1}$ gedüngt. In der folgenden Woche regnet es insgesamt 64 mm. Das erklärt die in diesem Zeitraum beobachteten N_2O -Fluxes im Bereich von 25,6 bis $87,7 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Im weiteren Verlauf des Juni fallen noch 77 mm Niederschlag und es kommt noch vereinzelt zu N_2O -

Emissionen. Eine Gruppe von N_2O -Ereignissen vom 16. bis 18.7.2014 fällt mit einem Anstieg der Maximaltemperatur auf über $25\text{ }^\circ\text{C}$ zusammen. Insgesamt errechnet sich für den Zeitraum vom 10.4. bis 7.8.2013 mit überdurchschnittlichem Niederschlagsaufkommen im Mai und Juni eine N_2O -Emission von $3,97\text{ }\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ bzw. $0,35\text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$.

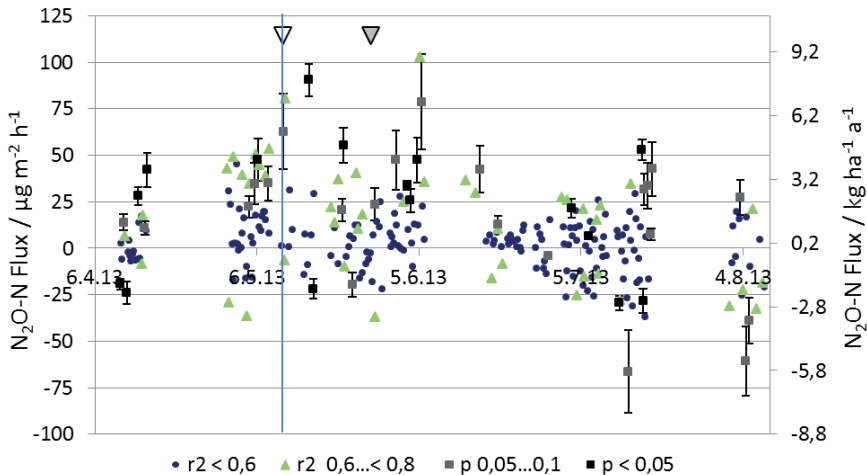


Abb. 3: Verlauf der N_2O -Emission vom 10.4.2013 bis 7.8.2013 auf einem Braunerde-Tschernosem aus Löß mit Brache (bis 9.5.2013, vertikale Linie) und Bewuchs von Sommergerste Düngung, Bodenbearbeitung, Aussaat

Die folgende Abbildung 4 stellt die N_2O -Emission während des Anbaus von Sorghum bic. x sud. dar. Vom 2.5. bis 18.6.2014 gibt es niedrige signifikante N_2O -Fluxes im Bereich von $11,2$ bis $39,7\text{ }\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{ h}^{-1}$, häufig nach Niederschlägen, vor allem aber nach der 1. Mineral-N-Gabe am 3.6.2014 in Höhe von 80 kg N ha^{-1} . Am 19.6. wird Rindergülle zwischen die Reihen der Sorghumpflanzen in 5 cm tiefe Bodenrillen appliziert und danach mit Erde bedeckt. Am folgenden Tag steigt die N_2O -Emission rapide an. Vom 19.6. bis 7.7.2014 werden signifikante N_2O -Flüsse von durchschnittlich $52,9\text{ }\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ gemessen. Danach setzt vom 8. bis 13.7.2014 eine niederschlagsreiche Periode ein mit insgesamt 107 mm . Die signifikanten N_2O -Fluxes steigen weiter an auf $139\text{ }\mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2}\text{ h}^{-1}$ im Mittel der Periode vom 8. bis 20.7.2014. Um die Lachgasmessung fortsetzen zu können, wurde der inzwischen 140 cm hohe Pflanzenbestand von der $78 \times 78\text{ cm}$ großen Probenahme fläche inclusive Stoppel entfernt und ab diesem Zeitpunkt eine Messung zwischen den Reihen imitiert.

Die unvermindert hohen signifikanten N_2O -Fluxes, die im Mittel des Zeitraumes vom 21.7. bis 14.8.2014 $98 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ betragen, sind damit im Zusammenhang zu sehen. Weitere 50 mm Niederschlag in diesem Zeitraum trieben diese Entwicklung voran. In der folgenden Periode vom 15.8. bis 5.9.2014, kurz vor der Ernte, sinken die signifikanten N_2O -Fluxes wieder auf durchschnittlich $28,5 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Im Mittel des Anbauzeitraumes mit Sorghum bic. x sud. und mineralisch-organischer Düngung sind es $36,8 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$, entspr. $3,22 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Es stand viel leicht abbaubare organische Substanz (Rindergülle, hinterbliebene Wurzelrückstände der Sorghumpflanzen) zur Verfügung, die in Verbindung mit mineralischem N und überdurchschnittlichen Niederschlägen im Juli und August die N_2O -Bildung begünstigt hat. Im darauffolgenden Zeitraum mit Brache vom 24.10.2014 bis 7.1.2015 bemisst sich die N_2O -Emission auf $2,73 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$ bzw. $0,24 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

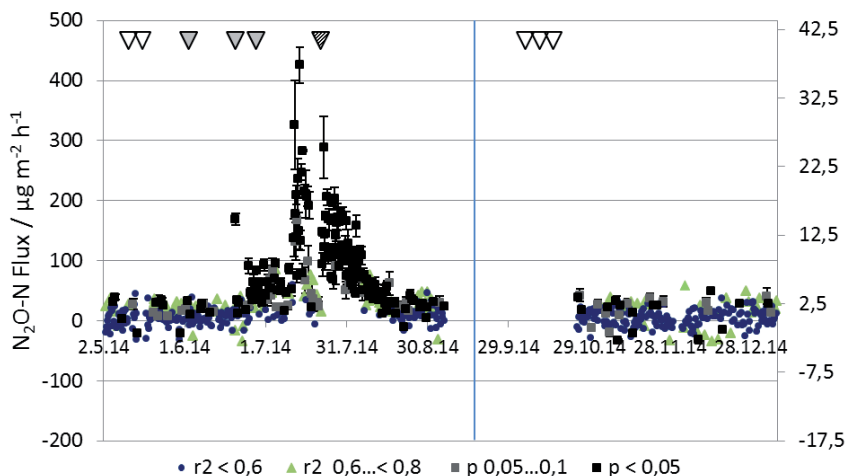


Abb. 4: Verlauf der N_2O -Emission vom 3.5.2014 bis 7.1.2015 auf einem Braunerde-Tschernosem aus Löß mit Bewuchs von Sorghum bic. x sud. (bis 5.9.2015, vertikale Linie) sowie mit Brache (bis 7.1.2015) Entfernen der oberirdischen Pflanzenteile am 21.7.2014, um Messung als „Zwischen-Reihen-Messung“ fortsetzen zu können.

3.2 Schätzung der N_2O -Emission

Für den Untersuchungszeitraum vom 20.1.2012 bis 7.1.2015 ergibt die Mittelwertbildung eine N_2O -Emission von durchschnittlich $0,84 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$

(Tab. 2). Während der Wachstumszeiten von Winterweizen und Sommergerste lagen die Werte mit 0,23 und 0,35 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ sehr niedrig. Für die Brachezeiten wurden 0,24 bis 0,36 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ ermittelt. Im Unterschied hierzu fällt der Wert für die Wachstumszeit mit Sorghum bic. x sud. deutlich höher aus.

Tab.2: N₂O-Emission in einzelnen Zeitabschnitten

Zeitraum	Beschreibung	N ₂ O-N-Emission		Anzahl d mit Messg ¹
		μg m ⁻² h ⁻¹	kg ha ⁻¹ a ⁻¹	
20.1.-21.6.2012	Winterhalbj., Vegetation WiWeiz	2,66	0,23	64/154
29.8.2012- 29.3.2013	Brache	4,07	0,36	101/213
10.4.-7.8.2013	Vegetation/ SoGerste	3,98	0,35	82/130
17.9.2013- 2.5.2014	Winterhalbj./ SoZwifrucht/ Brache	2,49	0,22	116/228
3.5.-5.9.2014	Vegetation/ Sorghum	33,62	2,94	125/127
24.10.2014- 7.1.2015	Brache	2,73	0,24	73/76
Mittelwert _{gew} vom 20.1.2012-7.1.2015			0,84	

¹ im Vergleich zu Anzahl Tagen (d) im Messzeitraum

Demgegenüber steht im Mittel der drei Versuchsjahre eine N-Zufuhr von 157 kg ha⁻¹ a⁻¹ aus Düngung plus 9,7 kg ha⁻¹ a⁻¹ aus Stroh, das auf dem Feld verblieben ist und ist der N-Zufuhr-Abfuhr-Saldo mit -7,8 kg ha⁻¹ a⁻¹ in etwa ausgeglichen. Demnach würde die N₂O-N-Emission etwa 0,5 % des N-Inputs über Düngung betragen.

4. Zusammenfassung

Im Mittel von drei Versuchsjahren wurde auf der Grundlage von kontinuierlichen Messungen eine N₂O-N-Emission von 0,84 kg ha⁻¹ a⁻¹ ermittelt. Neben signifikanten N₂O-Fluxes, die im Winterhalbjahr während Frost-/Tauzyklen auftraten

und während der Vegetationszeit nach der Düngung in Verbindung mit ergiebigen Niederschlägen, gab es eine Vielzahl nicht signifikanter, niedriger Werte. Für die Ableitung eines standortspezifischen Emissionsfaktors bedarf es weiterer Versuchsjahre. Die geringen Niederschläge im Thüringer Becken scheinen eine niedrige N_2O -Emission zu begünstigen.

5. Literaturangaben

- Fuß, R., 2014: R script for calculation of greenhouse-gases (GHG) fluxes. Institute of Agricultural Climate Research, Johann Heinrich von Thünen Institute, Braunschweig, Germany.
- Hangs, R.D., Schoenau, J.J., Lafond, G.P., 2013: The effect of nitrogen fertilization and no till duration on soil nitrogen supply power and post-spring thaw greenhouse-gas emissions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176, 227-237.
- Lempio, D., Freibauer, A., 2012: Automatisches Haubenmesssystem zur Messung von klimarelevanten Spurengasen. Bedienungsanleitung.
- Pfab, H., Palmer, I., Buegger, F., Fiedler, S., Müller, T., Ruser, R., 2011: N_2O fluxes from a Haplic Luvisol under intensive production of lettuce and cauliflower as affected by different N-fertilization strategies. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 545-553.
- Zorn, W., Heß, H., 2007: N-Bedarfs-Analyse-System der TLL.

Analyse des Nitratbelastungspotentials landwirtschaftlicher Betriebssysteme – am Beispiel von Betrieben in der Region Hohenthann (Niederbayern)

F.J. Forster, K.-J. Hülsbergen

Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Technische Universität München, Freising

1. Problematik

Das Gebiet um die Gemeinde Hohenthann im niederbayerischen Landkreis Landshut zeichnet sich durch intensive Landwirtschaft aus. Vor allem die Schweinemast wurde dort in den vergangenen Jahren stark ausgebaut. Gleichzeitig stiegen die Nitratkonzentrationen des Rohwassers in einigen Trinkwassergewinnungsanlagen an. Der Zusammenhang zwischen der Art und Intensität der Landwirtschaft und dem Anstieg der Nitratgehalte im Grundwasser ist jedoch sehr komplex und neben der Bewirtschaftung auch von Standortfaktoren (Boden, Klima, Sickerwasserbildung, Nitratabbau) abhängig.

Aus diesem Grund wird am Beispiel mehrerer Praxisbetriebe untersucht, ob die Flächennutzung in der Region tatsächlich zu hohen Stickstoffüberschüssen und Nitratverlustpotenzialen führt. Es wird analysiert, welcher Zusammenhang zwischen der Bewirtschaftung, dem N-Überschuss (N-Saldo) und dem Nitrataustrag in den Betrieben besteht. Auf dieser Grundlage werden standort- und betriebsspezifische Maßnahmen abgeleitet, um die Nitratverluste zu vermindern.

2. Methodik

Auf 10 Betrieben unterschiedlicher Struktur werden die Stickstoffflüsse mit Hilfe des Betriebsanalyseprogramms REPRO (Hülsbergen, 2003) untersucht. Die Daten für diese Untersuchungen werden von den Betriebsleitern zur Verfügung gestellt und können von der Einzelschlagenebene bis hin zur Ebene des Gesamtbetriebs ausgewertet werden.

Zunächst wird dabei der Stickstoffkreislauf des Betriebs dargestellt, welcher aus der Verknüpfung von Flächenbilanz und Stallbilanz hervorgeht. In diesem Kreislauf wird ein flächenbezogener Stickstoffsaldo ausgewiesen, der um die Stickstoffmineralisation bzw. -immobilisation im Boden korrigiert wird (Kopplung mit der Humusbilanz). Dieser Indikator N-Saldo stellt den gesamten verlustgefährdeten Stickstoff dar und beinhaltet auch Ausbringungsverluste bei der Düngung. Die Ergebnisse des Stickstoffkreislaufs werden mithilfe im Betrieb vorhandener Kontrollgrößen (Gülle-, Futtermittelanalysen, Rationsgestaltung, etc.) ständig plausibilisiert.

In einem zweiten Schritt wird der Stickstoffumsatz im Boden abgeschätzt und über die Sickerwasserrate die theoretische Nitratauswaschung berechnet. Dies beinhaltet die Aufteilung des Düngerstickstoffs in verschiedene Boden-Pools, sowie die Kalkulation von Mineralisations- und Immobilisationsprozessen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

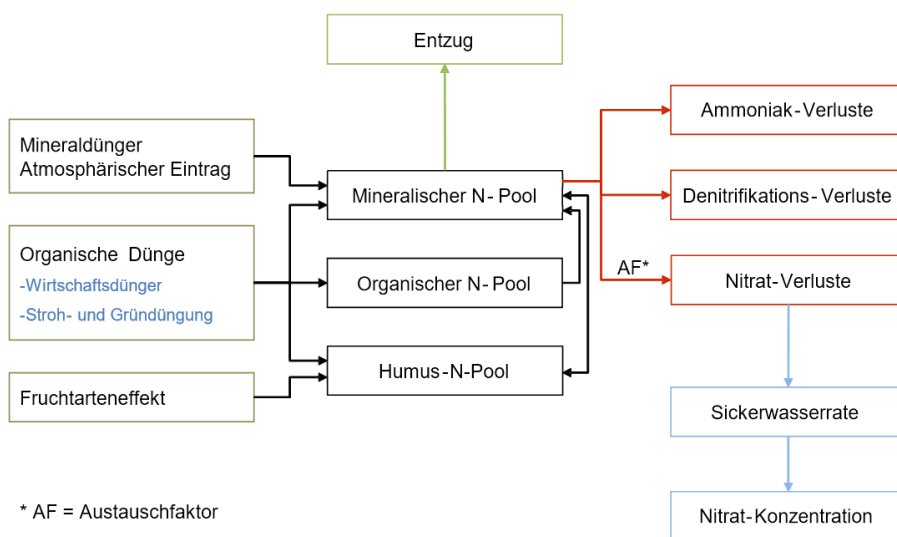


Abb. 1: Schema des N-Umsatz-Tools zur Berechnung der Nitrat-Auswaschung (Abraham, 2001)

Die Mineralisation aus dem organischen Pool, wie auch Sickerwassermenge und Austauschfaktoren werden in Abhängigkeit der Witterung pro Jahr berechnet.

3. Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt den Stickstoffkreislauf eines schweinehaltenden Betriebs mit Biogasanlage in der Region. Die im Stall anfallende Gülle wird zusammen mit eigenem und zugekauftem Kosubstrat in der betriebseigenen Biogasanlage vergoren. Für den dabei anfallenden Gärrest, der nicht auf den eigenen Flächen ausgebracht werden kann, bestehen feste Abnahmeverträge mit benachbarten Betrieben. Damit zeigt dieses Beispiel einen Betrieb mit intensivem Kreislauf, und somit einen für die Region typischen tierhaltenden Betrieb.

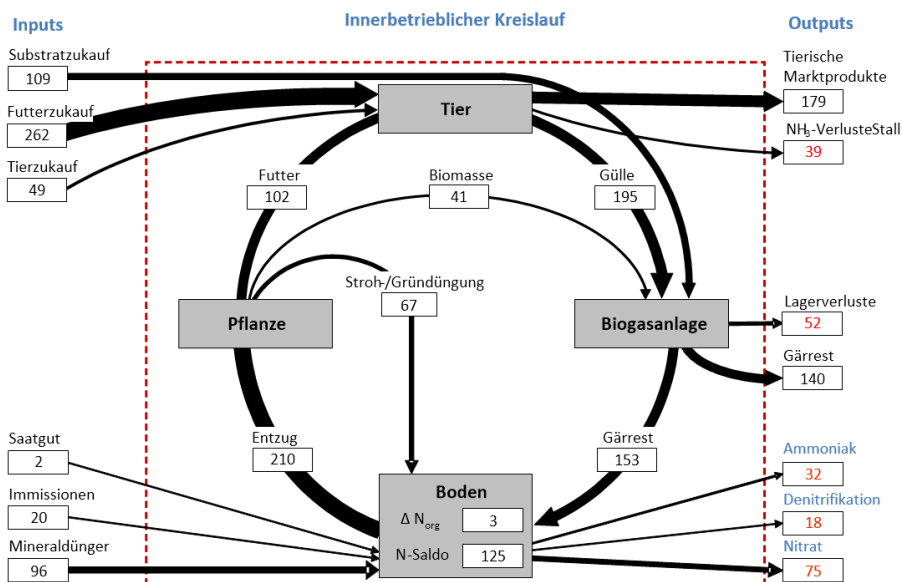


Abb. 2: Stickstoffkreislauf eines Schweinehaltenden Betriebs mit Biogasanlage. Zeitraum 2011-2013. Werte in $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$

Der Kreislauf zeigt auf der linken Seite die betrieblichen Inputs und rechts die Outputs in Form von Marktprodukten und abgegebener Gülle, sowie die Stickstoffverluste. Innerbetrieblich wird aus dem eingesetzten Futter abzüglich der tierischen Marktprodukte und gasförmigen Verluste der Gülleanfall im Stall berechnet. Ebenso wird der Gärrestanfall aus den eingesetzten Substraten ermittelt. Der Gärrest findet schließlich Eingang in die Flächenbilanz, welche bei dem hier betrachteten Betrieb einen N-Saldo von 125 kg N/ha und eine Speicherung im Humus (ΔN_{org}) in Höhe von 3 kg N/ha aufweist.

Die berechnete Sickerwasserrate im Mittel der Jahre 2011-2013 beträgt 218 mm/a, was bei einer NitratAuswaschung in Höhe von 75 kg N/ha zu einer theoretischen Nitratkonzentration von 152 mg NO₃/l Sickerwasser führt.

Mit diesem Ergebnis liegt der Betrieb im oberen Bereich der bisher ausgewerteten Erhebungen, welche eine Spanne von 67 bis 142 kg N/ha N-Saldo aufweisen (Tab. 1). Ursache für die hohen Salden im betrachteten Betrieb ist vor allem das vergleichsweise geringe Ertragsniveau und die daraus resultierenden niedrigeren N-Entzüge.

Tab. 1: Bilanzgrößen und Stickstoffsalden der untersuchten Betriebe

Betriebstyp	N-Input Org. ¹	N-Input Min. ²	N-Entzug ³	N-Saldo (mit ΔN_{org})	ΔN_{org}
Marktfrucht	9	187	154	67	-2
Marktfrucht, Gülleaufnahme	110	143	161	109	10
Milchvieh	143	154	207	104	12
Schweinemast, Biogas	153	96	143	125	3
Schweinemast	217	104	151	142	44

¹Organische Dünger (Gülle, Stallmist)

²Mineraldünger

³Entzug nach Abzug von Stroh- und Gründüngung

Die rechnerische NitratAuswaschung der untersuchten Betriebe liegt im Bereich von 49-90 kg N/ha, welche Konzentrationen von ca. 100-200 mg NO₃/l im Sickerwasser nach sich zieht.

4. Diskussion

Die bisherigen Ergebnisse zeigen relativ hohe Stickstoffüberschüsse in allen Betriebstypen, jedoch mit besonderen Problemen in intensiven Veredelungsbetrieben. Die Ursachen dafür liegen in einem hohen Gülleaufkommen pro Fläche sowie in den relativ geringen N-Entzügen von Druschfrüchten, welche in Veredelungsbetrieben typischerweise angebaut werden.

Um die N-Überschüsse und damit auch die potentielle Nitratauswaschung zu senken, besteht in fast allen Betrieben die Möglichkeit Mineraldünger einzusparen sowie die organischen Dünger effizienter einzusetzen. In Betrieben, in denen das Gülleaufkommen den Pflanzenentzug deutlich übersteigt, sollte zudem eine vermehrte Gülleabgabe oder eine Verminderung des Gülleanfalls angestrebt werden.

5. **Ausblick**

Im weiteren Projektverlauf sollen die Betriebsanalysen fortgeführt und das Modell zur Berechnung der Verlustpfade verfeinert werden. Zudem werden die Modellergebnisse mit Hilfe von N_{\min} -Proben, die auf jedem Betrieb an 3 Terminen im Jahr gezogen werden, sowie mittels Tiefbohrungen (bis 9 m Tiefe) auf ausgewählten Schlägen der Betriebe validiert.

6. **Literaturangaben**

Abraham, J., 2001: Auswirkungen von Standortvariabilitäten auf den Stickstoffhaushalt ackerbaulich genutzter Böden unter Berücksichtigung der Betriebsstruktur, der standortspezifischen Bewirtschaftung und der Witterungsbedingungen. Shaker, Aachen.

Hülsbergen, K.-J., 2003: Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker, Aachen.

Nitratauswaschung nach Körnerraps in Abhängigkeit vom Strohmanagement und der Stoppelbearbeitung

T. Appel¹, F. Fritsch²

¹Fachhochschule Bingen, ²Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR), Bad Kreuznach

1. Einleitung

Körnerraps wird in der Regel reichlich mit Stickstoff (N) gedüngt und nur ein Teil davon wird mit dem Erntegut im Sommer abgefahren. Ein Großteil des Stickstoffs bleibt in Form leicht abbaubarer organischer Substanz auf dem Feld zurück. Vom zeitlichen Verlauf der Mineralisation dieser Streu hängt ab, in welchem Umfang der Stickstoff dann später über die Herbst- und Wintermonate als Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen werden kann. Die Ernterückstände des Rapses können dabei sehr unterschiedlich wirken. Durch ihren Abbau kann es zunächst zur vorübergehenden Immobilisation von Stickstoff im Boden in der mikrobiellen Biomasse kommen und die Freisetzung des ursprünglich in der Streu vorhandenen Stickstoffs dadurch erst verzögert erfolgen. In dem Fall könnte der Stickstoff für die Nachfrucht vor Auswaschung gerettet werden. Die Stickstofffreisetzung aus den Ernterückständen kann aber unter Umständen auch so schnell erfolgen, dass der mineralisierte Stickstoff in der winterlichen Sickerungsperiode aus dem durchwurzelbaren Boden ausgewaschen wird. Der Abbau der Ernterückstände hängt dabei maßgeblich von der Stoppelbearbeitung ab. Eingearbeitete Ernterückstände mineralisieren schneller als das Rapsstroh, das an der Bodenoberfläche liegen bleibt. Die Bodenbearbeitung dürfte allerdings auch die Re-Mineralisierung des möglicherweise immobilisierten Stickstoffs beschleunigen. Ziel des Projektes war es, die Wirkung des Rapsstrohmanagements und der Stoppelbearbeitung auf die Rest-Nitratmengen im Boden und die Nitratauswaschung nach Winterraps besser einschätzen zu können.

2. Material und Methoden

Im Sommer 2014 wurde dazu in Kooperation mit dem DLR in Bad Kreuznach ein landwirtschaftlicher Betrieb ausfindig gemacht, der für die Untersuchung

drei Schläge zur Verfügung stellte. Die Böden der Schläge sind aus tiefgründigem Löss entstanden. Auf den drei Feldern wurden jeweils 8 Großparzellen eingemessen, und zwar Varianten mit und ohne Abfuhr des Rapsstrohs jeweils mit und ohne Bodenbearbeitung. Diese vier Varianten wurden auf jedem Feld jeweils einmal wiederholt. (Abb. 1).

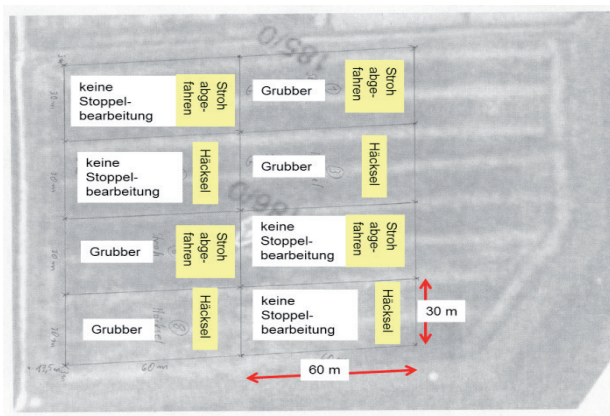


Abb. 1: Versuchsplan als beschriftete Luftbildaufnahme eines der drei Versuchsfelder

Die Rapsernte am 20.7.2014 wurde mit einem Mähdrescher durchgeführt, der das Stroh entweder fein häckselte oder es ungehäckselte im Schwad ablegte. Auf den Parzellen, wo das Stroh im Schwad lag, wurde es später zu Rundballen gepresst und für den Einsatz in einer hofeigenen Strohheizung abgefahren.

Die Böden jeder Parzelle wurden mit mindestens 4 Bohrkernen am Tag der Rapsernte sowie nachfolgend im September, November, Januar, Februar, Mai und Juli beprobt. Die Bodenproben wurden mit 0,01 M CaCl_2 extrahiert und Nitrat und Ammonium (Nmin) in den Extrakten mit einem Continuous-Flow-Analyser (Fa. Skalar) gemessen.

Auf den für die Stoppelbearbeitung vorgesehenen Parzellen wurden am 3.8.2014 ein Schwergrubber und eine Walze zum Zerkleinern von Kluten eingesetzt. Ausfallraps keimte auf allen Parzellen, auch auf den gegrubberten. Der Aufwuchs des Ausfallrapses wurde am 1.10.2014 gemulcht und anschließend die gesamte Fläche (alle Parzellen) ca. 15 cm tief gegrubbert. Drei Tage später wurde mit einer Bestellkombination das Saatbett bereitet und der Winterweizen

(Sorte Ambello) gesät. Der Weizen wurde am 12.3. mit 30 kg N/ha, am 24.4. mit 81 kg N/ha und am 30.5. mit 70 kg N/ha, insgesamt also mit 181 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter gedüngt.

Am 20.5. (BBCH 51, Beginn des Ährenschiebens) und am 15.7. (BBCH 87, Gelbreife) wurden auf jeder Parzelle zwei Quadratmeter des Weizenaufwuchses geschnitten. Bei den gelbreifen Pflanzen am 15.7. wurden die Ähren und das Stroh voneinander getrennt. Der Aufwuchs wurde getrocknet und gewogen. Die Ähren wurden mit einer Standmaschine im Labor gedroschen. Jeweils ein Aliquot des Pflanzenmaterials wurde zerkleinert, das Stroh mit einer Schneidmühle (SM1, Fa. Retsch), das Korn mit einer Zentrifugalmühle (Pulverisette 14, Fa. Fritsch), und dann mit einem Elementaranalysator (Variomax, Fa. Elementar) die Stickstoffkonzentration im Aufwuchs bzw. dem Korn und dem Stroh bestimmt.

Die Untersuchungsergebnisse wurden für die $n = 6$ Parzellen jeder Variante gemittelt und mit Mittelwert und Standardfehler dargestellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

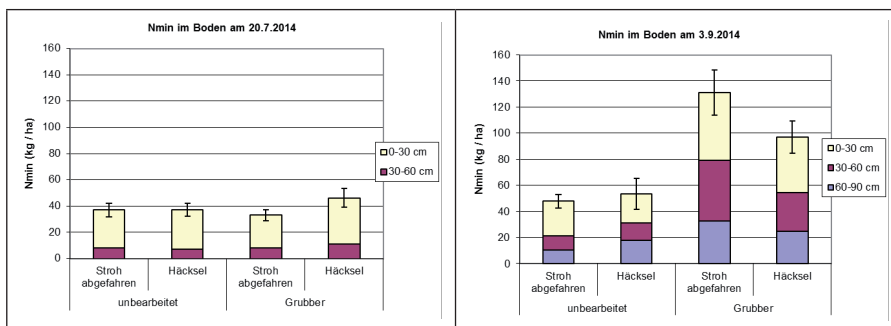


Abb. 2: N_{\min} im Boden zum Zeitpunkt der Ernte des Körnerrapses (links) und 7½ Wochen danach (rechts)

Zum Zeitpunkt der Rapsernte war der N_{\min} -Gehalt in allen Varianten gering, durchschnittlich 38 kg N/ha in der Schicht 0-60 cm (Abb. 2). Wegen des geringen Wassergehalts konnte der Boden nicht tiefer beprobt werden. Es ist aber kaum anzunehmen, dass sich zum Zeitpunkt der Rapsernte im tiefen Unterboden (60-90 cm) nennenswerte N_{\min} -Mengen befanden. Der anorganische Stickstoff

bestand ausschließlich aus Nitrat. Ammonium wurde zu allen Terminen entweder gar nicht oder nur in vernachlässigbar geringen Mengen gemessen.

Die Stoppelbearbeitung mit dem Schwergrubber förderte die Stickstoffmineralisation, was an den hohen Nitrat-Gehalten im Boden der Grubber-Varianten am 3.9.2014 zu erkennen ist (Abb. 2, rechts). Besonders hoch waren die Nitrat-Gehalte in den gegrubberten Parzellen, bei denen das Stroh abgefahren wurde. Das Rapsstroh hatte ein C:N-Verhältnis von 71 bis 81. Eingearbeitet in den Boden, wurde es vermutlich schnell umgesetzt, was eine Stickstoffimmobilisierung induzierte, so dass die Netto-Mineralisation in der Variante, bei der das Stroh auf dem Feld blieb, im Mittel um 34 kg N/ha geringer war als in der gegrubberten Variante mit Strohabfuhr.

In den Varianten ohne Stoppelbearbeitung spielte es für die N_{min}-Gehalte im Boden allerdings keine große Rolle ob das Stroh abgefahren wurde. Aufgrund der fehlenden Stoppelbearbeitung wurde das Stroh vermutlich wesentlich langsamer abgebaut und sein Abbau induzierte deshalb keine Stickstoffimmobilisation.

Im tiefen Unterboden (60-90 cm) wurden in den gegrubberten Varianten im Mittel 38 kg Nitrat-N gefunden, in den nicht gegrubberten Parzellen waren es nur 12. Auch in der Schicht 30-60 cm waren die Nitrat-Gehalte in den gegrubberten Parzellen wesentlich höher. Dieses Bild deutet darauf hin, dass in den gegrubberten Parzellen beträchtliche Mengen an Nitrat mit dem Niederschlagswasser aus der Krume in tiefere Bodenschichten verlagert wurden. Ob die Stickstoffverlagerung letztlich zu einer Auswaschung aus dem effektiven Wurzelraum führte, kann aufgrund der Bodenuntersuchung nicht gefolgert werden, denn der Wurzelraum für den nachfolgend angebauten Winterweizen reicht vermutlich noch deutlich tiefer als 90 cm.

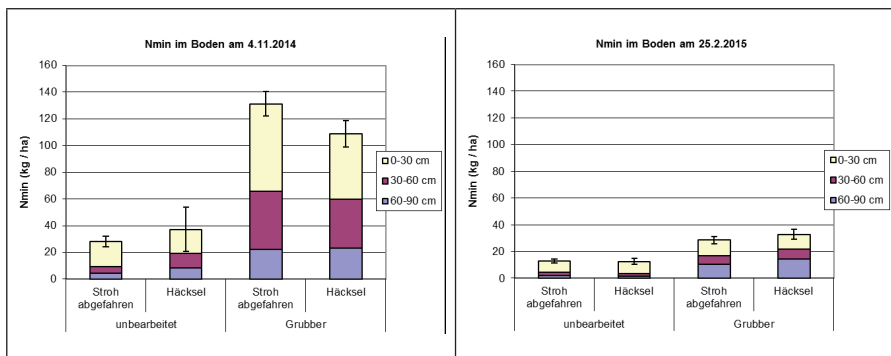


Abb. 3: Nmin im Boden zu Beginn der Hauptsickerungsperiode im Herbst (links) und 11½ Wochen später zu Vegetationsbeginn unter Winterweizen (rechts)

In den zwei Monaten von Anfang September bis Anfang November veränderten sich die Nmin-Gehalte im Boden kaum (Abb. 3). Das bedeutet jedoch nicht, dass in dieser Zeit keine Verlagerung von Nitrat in tiefere Bodenschichten (> 90 cm) stattfand. Wahrscheinlicher ist, dass sich in dieser Zeit die Nitrat-Nachlieferung in den gegrubberten Varianten durch Mineralisation und Nitrifikation mit der Nitrat-Auswaschung in einem Fließgleichgewicht die Waage hielten. Darauf deutet hin, dass im Boden der nicht gegrubberten Parzellen, bei denen die Stickstoffmineralisation nicht durch die Bodenbearbeitung angeregt wurde, die Nitratgehalte im tiefen Unterboden (60-90 cm) abnahmen. Offenbar fehlte auf den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung die Nitrat-Nachlieferung aus der Mineralisation.

Zu Beginn der Vegetation des nach dem Raps angebauten Winterweizens war der Boden auf allen Parzellen bis in 90 cm Tiefe weitgehend von Nitrat entleert (Abb. 3, rechts). Es ist anzunehmen, dass das Nitrat mit den Winterniederschlägen in Schichten tiefer als 90 cm verlagert wurde und es stellt sich die Frage, ob der Winterweizen das in diese Tiefe verlagerte Nitrat noch erreichen kann.

Die Untersuchung des Stickstoffs im Aufwuchs des Winterweizens zeigte tatsächlich, dass zu Beginn des Ährenschiebens (BBCH 51) die Pflanzen auf den Parzellen mit Stoppelbearbeitung im Mittel 32 kg N je ha mehr aufgenommen hatten als der Weizen auf den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung (Abb. 4). In Anbetracht von mindestens 80 bis 100 kg Nmin je ha, die in den gegrubberten Varianten aus der beprobten Schicht 0-90 cm in größere Tiefe verlagert wurden,

erscheint der Unterschied in der N-Aufnahme des Weizens gering und es stellt sich die Frage, ob der Weizen möglicherweise noch im weiteren Verlauf seiner Vegetation das in die Tiefe verlagerte Nitrat erreichen konnte.

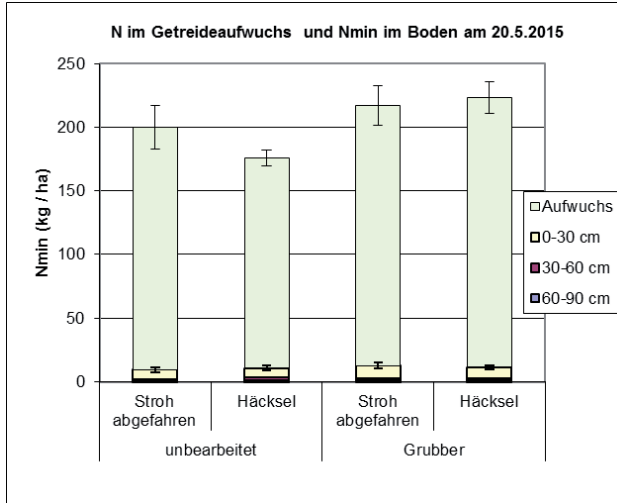


Abb. 4: Stickstoff im Aufwuchs des Winterweizens zu Beginn des Ährenschiebens und Nmin im Boden

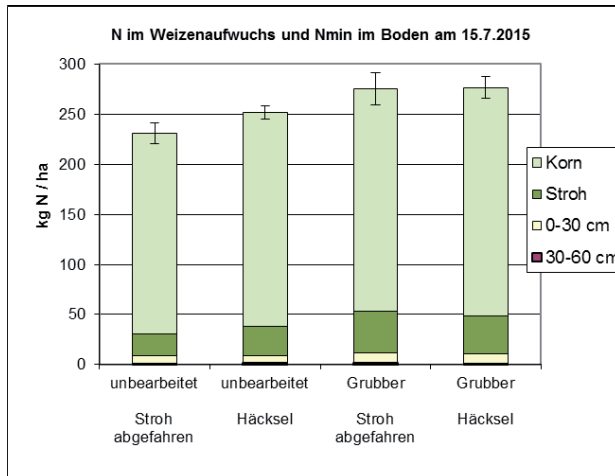


Abb. 5: Stickstoff im Aufwuchs des Winterweizens zur Gelbreife und Nmin im Boden

Der Unterschied zwischen gegrubbert und unbearbeitet hat sich gegenüber der Mai-Probennahme nicht mehr vergrößert (Abb. 5). Das bedeutet, dass der Winterweizen auf den Parzellen mit Stoppelbearbeitung im Vergleich zu den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung seit der Mai-Probennahme keine weiteren Nitratreserven aus der Tiefe nutzen konnte. Die durch die Stoppelbearbeitung angeregte Mineralisation hat also zu mindestens 87 kg Nitrat-N je ha geführt (Differenz des N_{min} 0-90 cm mit und ohne Stoppelbearbeitung im November), von denen der nachfolgend angebaute Winterweizen lediglich 30 kg N je ha nutzen konnte (Differenz der N-Aufnahme mit und ohne Stoppelbearbeitung zur Gelbreife). Das entspricht einem Anteil von gut einem Drittel, schätzungsweise 57 kg N je ha (87 kg N/ha höhere Netto-N-Mineralisation durch die Stoppelbearbeitung minus 30 kg N/ha höhere N-Aufnahme des Weizens) sind aufgrund der Stoppelbearbeitung vermutlich als Nitrat aus dem Boden ausgewaschen worden.

Das Strohmanagement hatte im Vergleich zur Stoppelbearbeitung weniger Einfluss auf die Nitratauswaschung und die N-Aufnahme des Winterweizens. Verblieb das Stroh auf der Fläche und wurde es eingearbeitet, dann waren die Rest- N_{min} -Gehalte im November um 22 kg N je ha geringer als in der Variante, bei der das Stroh abgefahren wurde. Man kann also annehmen, dass in der Variante, in der das Stroh auf dem Feld blieb, entsprechend weniger Nitrat ausgewaschen wurde. Der Winterweizen profitierte von der geringeren Nitratauswaschung allerdings nicht, denn er nahm in den beiden Varianten (gegrubbert Stroh abgefahren bzw. Stroh gehäckselt) gleich viel Stickstoff auf (Abb. 4 und 5).

Auf den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung konnte der Winterweizen möglicherweise in einer späten Phase der Vegetation von der N-Nachlieferung aus dem auf dem Feld belassenen Stroh profitieren, denn zur Gelbreife hatte der Weizen auf den Parzellen mit dem gehäckselten Stroh 25 kg N je ha mehr aufgenommen als auf den Parzellen, wo das Rapsstroh abgefahren worden war.

Durch den Verzicht auf die Stoppelbearbeitung wurde die Nitratauswaschung zwar um schätzungsweise 57 kg N je ha vermindert (Kalkulation oben), für den Landwirt wirkte sich der Verzicht aber negativ aus, denn die Kornerträge des Weizens waren auf den Parzellen ohne Stoppelbearbeitung geringer (Abb. 6).

Wenn ohne Stoppelbearbeitung nach Körnerraps fast 60 kg N je ha weniger Nitrat ausgewaschen wurde, ohne dass sich das in einer vermehrten N-Aufnahme des nachgebauten Getreides äußerte, dann stellt sich die Frage nach dem

Schicksal dieses Stickstoffs. Möglicherweise wird er mit der Zeit auch ohne die Bodenbearbeitung mineralisieren und später zur N-Nachlieferung beitragen.

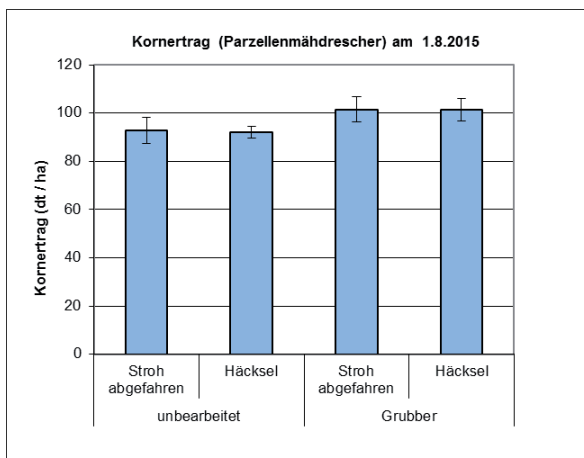


Abb. 6: Kornertrag des nach Raps angebauten Winterweizens

4. Schlussfolgerung

Durch den Verzicht auf eine Stoppelbearbeitung nach dem Körnerraps konnte die Nitratauswaschung um schätzungsweise 60 kg N je ha vermindert werden. Das kostete allerdings ca. 10 % des Kornertrags bei dem nachgebauten Winterweizen.

Wenn auf die Stoppelbearbeitung nicht verzichtet wird, dann sollte zumindest das Rapsstroh auf dem Feld bleiben. Der schnelle Abbau des eingearbeiteten Rapsstrohs verringerte die Nettomineralisation von Stickstoff im Boden (im Versuch um 22 kg N je ha) und das Risiko der Nitratauswaschung.

P-Verfügbarkeit aus co-silierten und co-kompostierten Klärschlammkarbonisaten

M. Nick, S. Bereswill, K. Friedrich, T. Appel

Fachhochschule Bingen

1. Einleitung

Etwa 30 % der Klärschlämme aus der kommunalen Abwasserreinigung werden zurzeit in Deutschland landbaulich verwertet. Das ist nicht nur ein besonders kostengünstiger Weg der Entsorgung, sondern ermöglicht gleichzeitig auch die Rückführung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors in den Nährstoffkreislauf. Ein Nachteil dieser direkten Verwertung besteht in dem Risiko, dass mit den Klärschlämmen auch Schadstoffe und Keime auf die Felder ausgebracht werden. Nach dem Willen der Bundesregierung soll deshalb ab dem Jahr 2025 kein Klärschlamm auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Eine kostengünstige und für den Nährstoffkreislauf ebenso wirksame Alternative ist das Karbonisieren des Klärschlammes. Der Klärschlamm wird dafür unter anoxischen Bedingungen thermisch behandelt. Es entsteht ein kohlenstoffhaltiges Produkt mit einem Ascheanteil von ca. 70 bis 90 %, das als Klärschlammkarbonisat (KSK) bezeichnet wird. In früheren Versuchen hatten KSK, die bei 500 °C hergestellt wurden, eine P-Düngewirkung, die 90 % der Wirkung des vollständig wasserlöslichen Ca-Dihydrogenphosphats entsprach (Mindermann et al. 2014). Im Temperaturbereich von ca. 700 °C werden alle Keime abgetötet und organische Schadstoffe zum großen Teil zerstört. Durch den Zusatz von Chloriden können bei 700 °C möglicherweise sogar Schwermetalle (SM) verdunsten, denn die Chloride senken deren Verdampfungstemperatur. Die Karbonisate könnten so von Schwermetallen entfrachtet werden, die dann in der Rauchgaswäsche der Karbonisierungsanlage landen. Nachteilig an der Karbonisierung bei 700 °C ist allerdings, dass die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in den Karbonisaten mit steigender Temperatur abnimmt (Friedrich et al. 2015). Um diesen Nachteil der hohen Temperatur zu kompensieren, wurde versucht, die P-Verfügbarkeit der KSK zu steigern, indem sie zusammen mit organischem Material kompostiert bzw. siliert wurden.

2. Material und Methoden

2.1 Herstellung der Klärschlammkarbonisate

Für den Versuch wurde ein Klärschlamm (KS) aus dem Vererdungsbecken der Kläranlage Dörsbachtal verwendet. Der KS wurde im Belebungsbecken aerob stabilisiert und mit FeCl_2 simultan gefällt. Einer Teilmenge des KS wurde für den Versuch KCl als Additiv untergemischt (15 % bezogen auf den Aschegehalt). Je eine Portion des Klärschlammes wurden mit und eine ohne Additiv bei 80°C getrocknet und dann anschließend mit einer Schlagkreuzmühle $< 2\text{ mm}$ zerkleinert. Die so vorbereiteten KS-Portionen wurden dann in dem Laborreaktor (PYREKA) der Fa. PYREG GmbH, Dörth, karbonisiert. Die KS-Portion ohne KCl-Additiv wurde dabei mit zwei unterschiedlichen Temperaturen behandelt, eine Teilmenge wurde bei 500°C (KSK 500°C) und eine andere bei 700°C (KSK 700°C) karbonisiert. Die KS-Portion mit dem KCl-Additiv wurde nur bei 700°C karbonisiert (KSK KCl). Das Material verweilte jeweils 32 min im Reaktor.

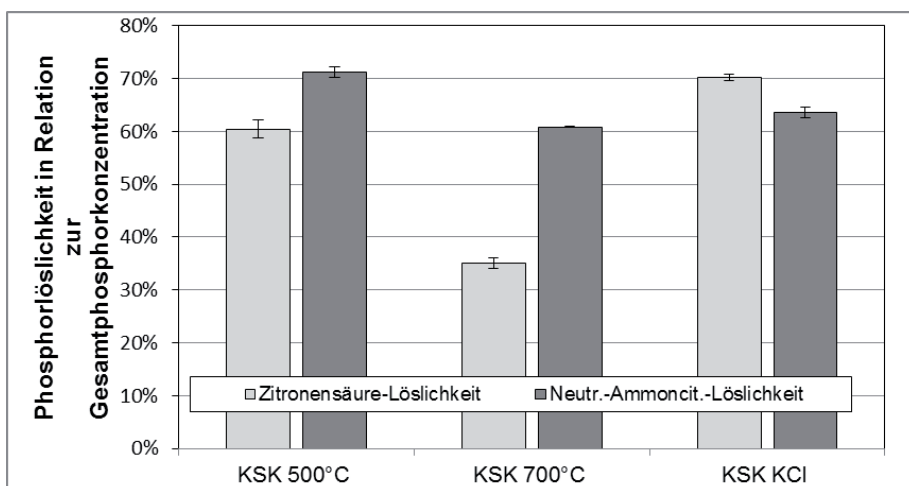


Abb. 1: Zitronensäure und Neutral-Ammoniumcitrat lösliches Phosphat in den Klärschlammkarbonisaten (Gesamt-P = 100 %)

Der Gesamt-P-Gehalt (inverser Königswasseraufschluss) in den so hergestellten Karbonisaten betrug 0,44 %, 0,47 % und 0,40 % (KSK 500°C , KSK 700°C und KSK KCl). Neutral-Ammoniumcitrat lösliches bzw. Zitronensäure lösliches Phosphat wurde in den KSK nach VDLUFA (1995), Methode 4.1.4 bzw. 4.1.6.2 analysiert. Die drei KSK enthielten ca. 60 % bis 70 % des Gesamt-P als Neutral-Ammoniumcitrat lösliches Phosphat (Abb. 1). Bei KSK 500°C und KSK KCl war

der Anteil an Zitronensäure löslichem Phosphat ähnlich hoch, in der KSK 700°C mit nur 35 % aber deutlich geringer. Die höhere Karbonisierungstemperatur verminderte also die Zitronensäurelöslichkeit des im Karbonisat enthaltenen Phosphors.

2.2 Kompostierung bzw. Silierung

Für die Kompostierung bzw. die Silierung wurde Rasengrünschnitt verwendet. Mit einer Fliehkraftkugelmühle wurden die Karbonisate KSK 700°C und KSK KCl gemahlen und dann mit dem Grünschnitt vermischt (Tab. 1). Zur Kontrolle wurden auch Portionen ohne KSK hergestellt (Kompost nativ bzw. Silage nativ).

Tab. 1: Zusammensetzung der Silage und des Komposts aus Karbonisat und Rasengrünschnitt

Substrat	KSK 700°C	KSK KCl	Rasengrünschnitt ^{a)}
Kompost nativ	-	-	550,0g
Kompost KSK 700°C	125,5g	-	424,5g
Kompost KSK KCl	-	98,2g	451,8g
Silage nativ	-	-	550,0g
Silage KSK 700°C	125,5g	-	424,5g
Silage KSK KCl	-	98,2g	451,8g

^{a)} Angaben bezogen auf die Trockensubstanz (TS) des Materials

Die für die Kompostierung vorgesehenen Portionen aus Rasengrünschnitt mit und ohne KSK-Einmischung wurden in luftdurchlässige Kunststoffbehälter gefüllt, die dann, um die Rotte zu beschleunigen, in einem Brutschrank bei 40 °C gestellt wurden. Alle zwei bis drei Tage wurden die Behälter aus dem Schrank genommen, um den entstehenden Kompost zu durchmischen und Feuchtigkeitsverlust mit H₂O auszugleichen. Nach vier Wochen wies der Kompost eine krümelige Struktur auf und war teilweise mit einer weißen Pilzschicht versehen.

Für die Herstellung der Silagen wurden die Grünschnittportionen mit und ohne eingemischte KSK mit der Hand verdichtet und in mehrere Schichten Kunststoffolie gewickelt, die dann noch einmal mit Aluminiumfolie umwickelt wurde, um die Sauerstoffzufuhr sicher zu unterbinden. Die Silage wurde bei Raumtempera-

tur (20 °C bis 25 °C) aufbewahrt. Nach 4 Wochen hatte die Silage den typischen säuerlich aromatischen Duft ohne unangenehme Noten.

Aliquote der fertigen Komposte und der Silagen wurden getrocknet, pulverisiert und anschließend auf ihren P-Gehalt und den pH-Wert zusammen in einer Serie mit den nicht kompostierten bzw. silierten Karbonisaten analysiert (Tab. 2).

Tab. 2: P-Gehalt und pH-Wert der Silagen und der Komposte

Substrat	Basizität in % CaO	P-Gehalt ^{a)} (mg P/ g TS)
KSK 500°C	n.b.	44,43
KSK 700°C	n.b.	47,21
KSK KCl	n.b.	40,37
Kompost nativ	5,58	3,75
Kompost KSK 700°C	5,31	14,24
Kompost KSK KCl	4,04	40,37
Silage nativ	2,41	2,63
Silage KSK 700°C	1,65	9,56
Silage KSK KCl	0,85	6,79

^{a)} Angaben bezogen auf die Trockensubstanz (TS) des Materials; n.b. = nicht bestimmt

2.3 Gefäßversuch im Gewächshaus

Um zu testen, wie verfügbar der Phosphor in den Karbonisaten ist, wurde ein Gefäßversuch in Kick-Brauckmann-Gefäßen angesetzt. Als Versuchsboden diente ein P-arme Oberboden (schluffiger Lehm; CAL-P < 0,4 mg/100 g; pH 5,7; 9 kg feldfeuchter Boden je Gefäß, n = 5 Parallelen je Variante). Der Boden wurde mit den Karbonisaten, Komposten und Silagen gedüngt (Tab. 3). Die Komposte und Silagen wurden direkt nach der Herstellung mit einer Schere zerkleinert und in dieser Form zugegeben. Die Karbonisate wurden mit der Schlagkreuzmühle gemahlen und mit dem Versuchsboden gemischt. Um die P-Düngewirkung vergleichen zu können, wurden zwei Varianten mit Ca-Dihydrogenphosphat, ein wasserlöslicher P-Dünger, angesetzt sowie eine Kontrolle ohne P-Düngung. Stickstoff, Kalium, Magnesium und Mikronährstoffe wurden in allen Gefäßen ausreichend gedüngt. Die Böden in den Gefäßen wurden auf ca. 50 % ihrer Wasserhaltekapazität befeuchtet und 2 Wochen lang im Gewächshaus ohne Pflanzenbewuchs aufgestellt. Nach dieser Inkubationsphase wurde Mais gesät. Der

Aufwuchs der Pflanzen wurde nach einer Vegetationszeit von 4 Wochen geerntet. Die Stoppeln blieben im Boden. Anschließend wurde Weidelgras gesät, dessen Aufwuchs nach 3 Wochen (1. Schnitt) und dann noch einmal nach weiteren 2 Wochen (2. Schnitt) geerntet wurde. Im Pflanzenaufwuchs wurden jeweils der Trockenmasseanteil und die P-Konzentration (Mikrowellendruckaufschluss, ICP-OES) gemessen.

Tab. 3: Varianten des Gefäßversuchs

Substrat	Temperatur^{a)} (°C)	Additiv	siliert	kompos- tiert	Düngung (mg P je 100 g Boden)
Kontrolle	-	-	-	-	0,0
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	-	-	-	6,5
2x Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	-	-	-	13,0
KSK 500°C	500	-	-	-	6,5
KSK 700°C	700	-	-	-	6,5
KSK KCl	700	KCl	-	-	6,5
Kompost nativ	-	-	-	X	0,95
Kompost KSK 700°C	700	-	-	X	6,5
Kompost KSK KCl	700	KCl	-	X	6,5
Silage nativ	-	-	X	-	1,25
Silage KSK 700°C	700	-	X	-	6,5
Silage KSK KCl	700	-	X	-	6,5

^{a)} Temperatur beim Karbonisieren

In der Variante „Kompost nativ“ wurde je Gefäß 19,1 g TS Kompost gedüngt, das war genauso viel wie dem Kompostanteil (ohne Kohle) in der Variante „Kompost KSK 700°C“ entsprach. In der Variante „Silage nativ“ wurde entsprechend verfahren und genauso viel Silage gedüngt (35,9 g TS je Gefäß) wie dem Silage-Anteil an der Düngung (ohne KSK) in der Variante „Silage KSK 700 °C“ entsprach.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Pflanzenertrag und P-Aufnahme

Die Verfügbarkeit des Phosphors aus den Düngern war für den Trockenmasseertrag und die P-Aufnahme ausschlaggebend (Abb. 2 und 3). Die mit den co-

silierten oder co-kompostierten KSK gedüngten Pflanzen lieferten signifikant höhere Erträge als die nur mit Kompost bzw. Silage oder nur mit KSK gedüngten.

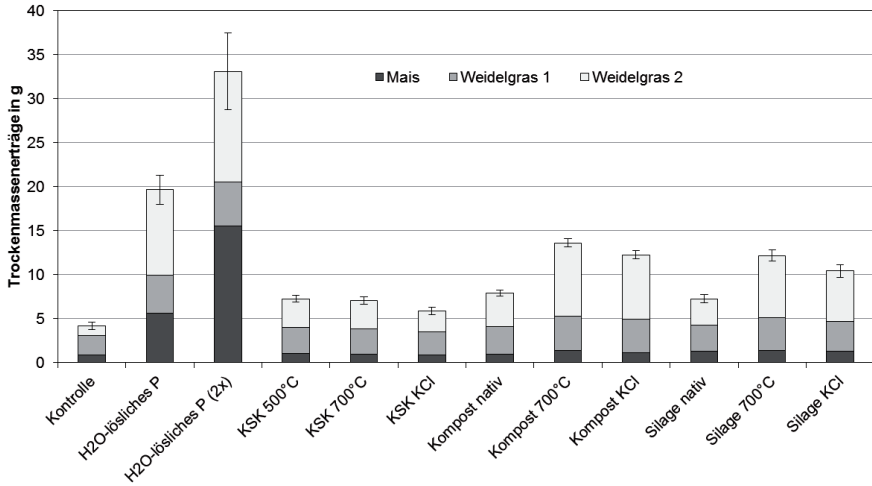


Abb.2: Trockenmasseertrag je Gefäß des Maisaufwuchses sowie des anschließend kultivierten Weidelgrases (1. und 2. Schnitt)

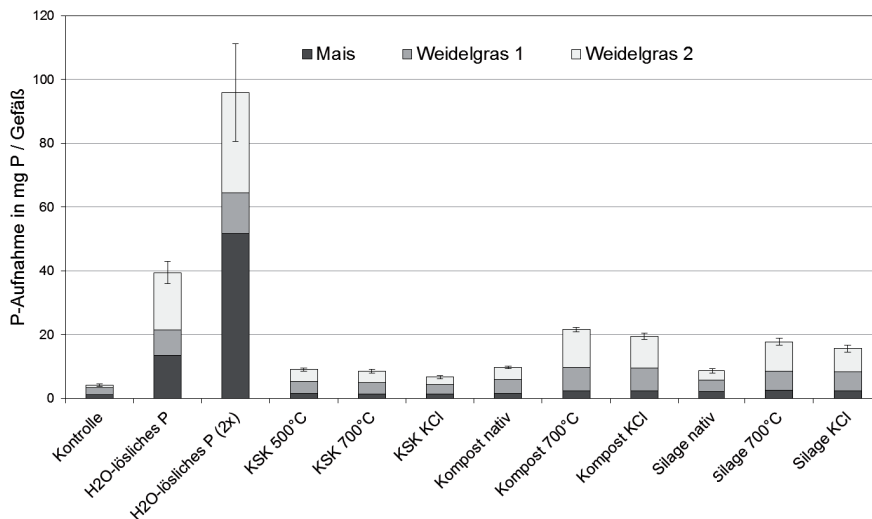


Abb.3: Phosphor-Aufnahme des Maisaufwuchses sowie des anschließend kultivierten Weidelgrases (1. und 2. Schnitt)

3.2 Apparente Wiederfindung des gedüngten Phosphors

Die apparente Wiederfindung (AW in %) des mit dem Dünger applizierten Phosphors im Aufwuchs der Pflanzen ist definiert:

$$AW = \frac{P\text{-Aufnahme}_{\text{gedüngt}} - P\text{-Aufnahme}_{\text{Kontrolle}}}{\text{gedüngte P-Menge}} * 100$$

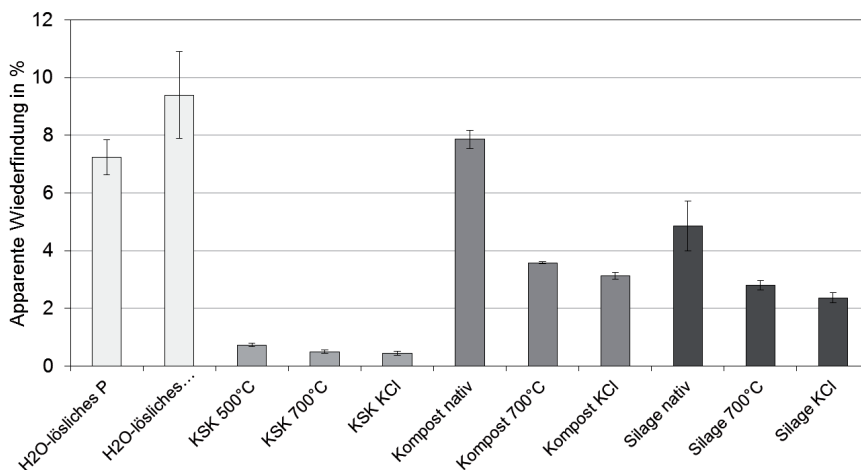


Abb. 4: Apparente Wiederfindung des Dünger-P bezogen auf die ungedüngte Kontrolle

Eine hohe AW zeigt an, dass der Phosphor eines Düngemittels gut pflanzenverfügbar ist. Die höchste apparente Wiederfindung hatte der wasserlösliche Mineraldünger (Abb. 4). Kaum niedriger war allerdings der Wert für den Kompost (7,9%). Das zeigt, wie wertvoll auch organische Phosphate für die Pflanzen sein können. Die AW des mit der Silage gedüngten Phosphors war deutlich niedriger (4,8%). Schlecht verfügbar war der Phosphor in allen drei Karbonisaten, wenn diese nicht kompostiert oder siliert wurden (0,56 % im Mittel der drei Varianten). Die AW des Phosphors aus den silierten bzw. kompostierten Gemischen war niedriger als bei dem Kompost und der Silage ohne KSK, aber mehrfach höher als bei den drei reinen Karbonisaten.

Um einschätzen zu können, ob die Verfügbarkeit des Phosphors aus den Karbonisaten durch die Co-Silierung bzw. die Co-Kompostierung gesteigert wurde,

ist es notwendig, statt der P-Aufnahme der Kontrolle die P-Aufnahme der Varianten „Kompost nativ“ bzw. „Silage nativ“ als Bezugsgröße zu wählen. Das war mit folgender Formel leicht möglich, weil die Varianten Kompost KSK 700 °C und Silage KSK 700 °C die gleichen Mengen an Kompost bzw. Silage enthielten wie die entsprechenden nativ-Varianten ohne KSK:

$$AW = \frac{P\text{-Aufnahme}_{\text{Kompost } 700^\circ\text{C}} - P\text{-Aufnahme}_{\text{Kompost nativ}}}{\text{gedüngte P-Menge}_{\text{Kompost } 700^\circ\text{C}} - \text{gedüngte P-Menge}_{\text{Kompost nativ}}}$$

Der Anteil an Kompost und Silage im Dünger der KCl-Varianten war größer als die in den jeweiligen nativ-Varianten gedüngten Mengen. Für die Berechnung der apparenten Wiederfindung des Phosphors aus den mit KCl behandelten co-kompostierten bzw. co-silierten Karbonisaten wurde dieser Unterschied über einen zusätzlichen Faktor rechnerisch korrigiert, indem die jeweils unterschiedliche Menge an Kompost bzw. Silage berücksichtigt wurde. Die Berechnung zeigte, dass die Co-Kompostierung bzw. die Co-Silierung die apparente Wiederfindung des Phosphors aus dem Karbonisat ohne Additiv von 0,5 % auf 2,8 bzw. 2,3 % steigerte (Abb. 5). Bei dem mit KCl behandelten Karbonisat war die Wirkung allerdings geringer.

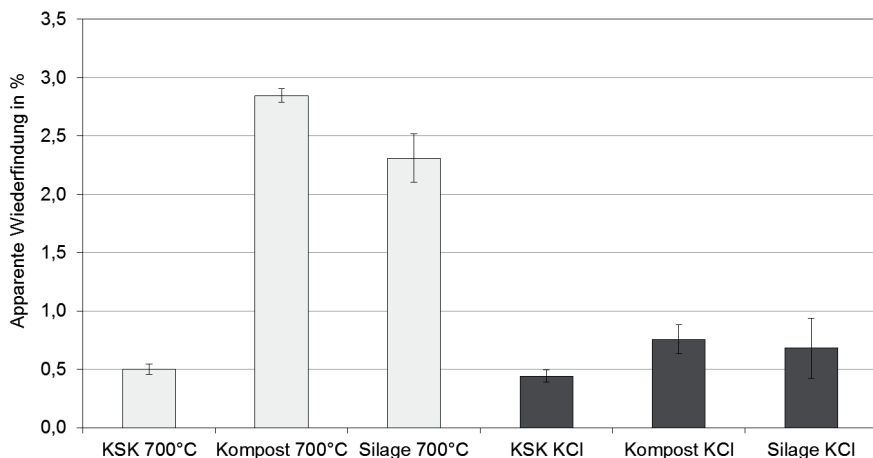


Abb. 5: Apparente Wiederfindung des aus der Kohle stammenden Phosphors im Pflanzenaufwuchs

4. Schlussfolgerung

Durch Co-Kompostierung bzw. Co-Silierung kann der Phosphor in den Karbonisaten besser pflanzenverfügbar gemacht werden, und zwar etwa um den Faktor 5 beim 700°C-Karbonisat ohne Additiv und um den Faktor 1,4 beim Karbonisat, das mit KCl behandelt wurde.

5. Literaturangaben

Mindermann, B, Friedrich, K., Mertens, M., Appel, T., 2014: P-Düngewirkung von karbonisierten Klärschlämmen in Abhängigkeit von der Art der P-Fällung. VDLUFA-Schriftenreihe 70, 246-252.

Friedrich, K., Schuh, K., Appel, T., 2015: Trockene Klärschlammkarbonisierung – ist ein dezentrales Phosphorrecycling möglich? Kurzfassung des Vortrags auf dem 5. Wissenschaftskongress Abfall- und Ressourcenwirtschaft der Deutschen Gesellschaft für Abfallwirtschaft e.V. am 19. und 20. März 2015 an der Universität Innsbruck.

Freisetzung von Phosphor aus Recycling-Produkten mit Klärschlamm

C. Keupp¹, B. Göbel¹, D. Horn², D. Steffens³, T. Appel⁴

¹Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Triesdorf, ²EUF-Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit, Ochsenfurt,

³Institut für Pflanzenernährung, Justus-Liebig-Universität Gießen, ⁴Fachhochschule Bingen

1. Einleitung

In den vergangenen 10 Jahren wurden verschiedene Forschungsvorhaben realisiert, in denen Rückgewinnungsverfahren von Phosphor aus Klärschlamm entwickelt wurden. Die untersuchten Verfahren werden bisher i. d. R. aber nur im Labor oder im halbtechnischen Maßstab betrieben.

Für die Bewertung der Löslichkeit werden in der Düngemittelverordnung verschiedene Extraktionsmethoden angegeben. Lingenberg et al. (2014) überprüften die Wirksamkeit von Phosphor in den neuen P-Recycling-Produkten anhand von Extraktionsmethoden (Wasser, Neutral-Ammon-Zitrat, Ammon-Zitrat, 2%ige Zitronensäure, 2%ige Ameisensäure) und mittels eines Gefäßversuchs mit Mais.

Das Verfahren der Elektro-Ultrafiltration (EUF) ist ein gängiges labortechnisches Analyseverfahren zur Untersuchung von Böden auf pflanzenverfügbare und nachlieferbare Nährstoffe (Németh, 1982). Bei geeigneter Wahl der Arbeitsbedingungen ist es möglich, die Kinetik der P-Nachlieferung von Böden zu untersuchen (Steffens, 1994). In den vorliegenden Untersuchungen wurde die Möglichkeit überprüft, die Freisetzung von Phosphor in den P-Recycling-Produkten mit dem EUF-Verfahren zu erfassen.

2. Material und Methoden

2.1 Probematerialien

Als Probematerialien wurden Karbonisate aus Klärschlamm eingesetzt. Der Klärschlamm wurde dazu mit einem PYREG-Reaktor unter anaeroben Verhält-

nissen bei unterschiedlicher Verweildauer und einer Temperatur von 500 °C karbonisiert (Probe 1-3). Aliquote der Karbonisate bzw. des Klärschlammes wurden am Institut für Pflanzenernährung an der Universität in Gießen im Muffelofen bei 500 °C verascht und mit vier handelsüblichen P-Düngern sowie dem Karbonisat aus der Niedertemperaturkonvertierung (NTK) des Klärschlammes verglichen (Tab. 1).

Tab. 1: Probematerialien der Untersuchungen

Variante	Material	Herkunft	Behandlung
V1	Probe 1	Klärschlamm	pyrolysierte Probe bei 500 °C und 7 min Aufenthaltszeit
V2	Probe 2	Klärschlamm	pyrolysierte Probe bei 500 °C und 14 min Aufenthaltszeit
V3	Probe 3	Klärschlamm	pyrolysierte Probe bei 500 °C und 21 min Aufenthaltszeit
V4	Probe 4	Klärschlamm	veraschte Probe aus V1 bei 500 °C
V5	Probe 5	Klärschlamm	veraschte Probe aus V2 bei 500 °C
V6	Probe 6	Klärschlamm	veraschte Probe aus V3 bei 500 °C
V7	Probe 7	Klärschlamm	veraschter Klärschlamm bei 500 °C
V8	Rhenania-phosphat	P-Dünger	CaNaPO ₄ , aus alkalischem Rohphosphat-Glühauflschluss
V9	Thomasphosphat	P-Dünger	Schlacke-Nebenprodukt der Stahlerzeugung
V10	Triple superphosphat	P-Dünger	Rohphosphatauflschluss mit H ₂ SO ₄ und H ₂ PO ₄
V11	Hyperphos	P-Dünger	unaufgeschlossenes weicherdiges Rohphosphat
V12	NTK aus Klärschlamm	Klärschlamm	Niedertemperaturkonvertierung an der Universität Gießen

2.2 Extraktion von Phosphor aus dem Boden mit der Elektro-Ultrafiltration (Standard-Methode)

Die Elektro-Ultrafiltration (EUF) wird für die Bestimmung von löslichen Pflanzennährstoffen in Böden eingesetzt. Das Verfahren basiert darauf, eine Bodenprobe in Wasser zu suspendieren (Boden : Wasser = 1 : 10) und die Pflanzennährstoffe, die dabei in Lösung gehen, fortlaufend aus dem Lösungsgleichgewicht zu entfernen. Hierzu wird die Suspension einem elektrischen Feld ausgesetzt. Dabei wandern die in der wässrigen Phase gelösten Kationen durch die Ultramembran hindurch zur Kathode und die Anionen zur Anode. In der Routine werden Nitrat, löslicher organischer Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium, Schwefel und Bor untersucht. Durch Variation der Extraktionsbedingungen werden Nährstofffraktionen unterschiedlicher Pflanzenverfügbarkeit gewonnen (Németh, 1982). Die Bedingungen für das EUF-Standardverfahren sind in Tabelle 2 beschrieben.

Tab.2: Extraktionsbedingungen beim Standard-EUF-Verfahren (Németh, 1982; VDLUFA, 2002)

Fraktion	Zeit [min]	Temperatur [°C]	Spannung [V]	Stromstärke [mA]
1. Fraktion	30	20	max. 200	max. 15
2. Fraktion	5	80	max. 400	max. 150

2.3 Extraktion von Phosphor aus Klärschlamm-Recyclingprodukten und P-Dünger mit der Elektro-Ultrafiltration (10-fach fraktioniert)

Die Extraktion von Phosphor aus Klärschlamm-Recyclingprodukten und P-Düngemitteln wurde mit einer modifizierten EUF-Methode durchgeführt. Dabei wurde die Filtration in 10 Fraktionen unterteilt, wobei 5 Fraktionen bei milden Extraktionsbedingungen und weitere 5 Fraktionen bei verschärften Bedingungen erstellt werden (Scholz, 2012; Horn, 2010). Jedes Extrakt wird nach jeweils fünf Minuten getrennt aufgefangen. Diese Vorgehensweise soll es ermöglichen, die Dynamik der Nährstofffreisetzung zu betrachten. Folgende Extraktionsbedingungen wurden angewendet:

Tab. 3: Extraktionsbedingungen beim 10-fach fraktionierten EUF-Verfahren (Scholz, 2012; Horn, 2010)

Fraktion	Zeit [min]	Temperatur [°C]	Spannung [V]	Stromstärke [mA]
1.-5. Fraktion	je 5	20	max. 200	max. 15
6.-10. Fraktion	je 5	80	max. 400	max. 150

Als Extraktionsmedium diente in einem ersten Verfahren deionisiertes Wasser, in einem zweiten Verfahren DTPA (Scholz, 2012; Horn, 2010). Deionisiertes Wasser ist das übliche Medium für die Extraktion von Makronährstoffen wie Phosphor. Die Extraktion mit DTPA wird für Mikronährstoffe und Schwermetalle herangezogen. Der prinzipielle Ablauf gestaltet sich wie bei der Standard-EUF-Methode. Während bei der Standarduntersuchung 5 g Boden eingewogen werden, wurde bei der Untersuchung der Klärschlamm-Recyclingprodukte und P-Düngemittel eine Einwaage von 1 g (< 1 mm) gewählt. Hintergrund ist die hohe P-Konzentration der Probematerialien. Jedes Material wurde 3-fach wiederholt untersucht. Die anschließende Analytik fand mit der ICP-OES statt.

Mittelwertunterschiede wurden mit dem Student-Newman-Keuls-Test auf Signifikanz geprüft. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben in den Grafiken sind nicht signifikant ($p \leq 5\%$) verschieden. Fehlerbalken in den Grafiken kennzeichnen den Standardfehler (SE).

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 EUF-extrahierbarer Phosphor im Boden

Die eingearbeiteten Materialien erhöhten die P-Gehalte im Boden (Abb. 1). Bei den Varianten V1 bis V3 (pyrolysierte Klärschlämme) wurde mit zunehmender Zeit der Pyrolyse (7 min, 14 min, 21 min) weniger EUF-P1 und -P2 aus dem Boden extrahiert. Wurde der pyrolysierte Klärschlamm zusätzlich verascht (V4-V6), waren die P1- und P2-Gehalte tendenziell höher als bei alleiniger Pyrolyse (V1-V3). Die bei 500 °C veraschten Varianten (V4-V6 sowie V7) unterschieden sich nicht signifikant untereinander. Die höchsten P1- und P2-Konzentrationen fanden sich in den Böden, die mit den konventionellen Düngern Rhenaniaphosphat, Triplesuperphosphat und Hyperphos gedüngt wurden. Böden, die mit Thomasphosphat gedüngt wurden, zeigten von den klassischen P-Düngern

überraschenderweise die niedrigsten P1- und P2-Gehalte, da eine gute P-Verfügbarkeit erwartet wurde (Steffens; 1987)

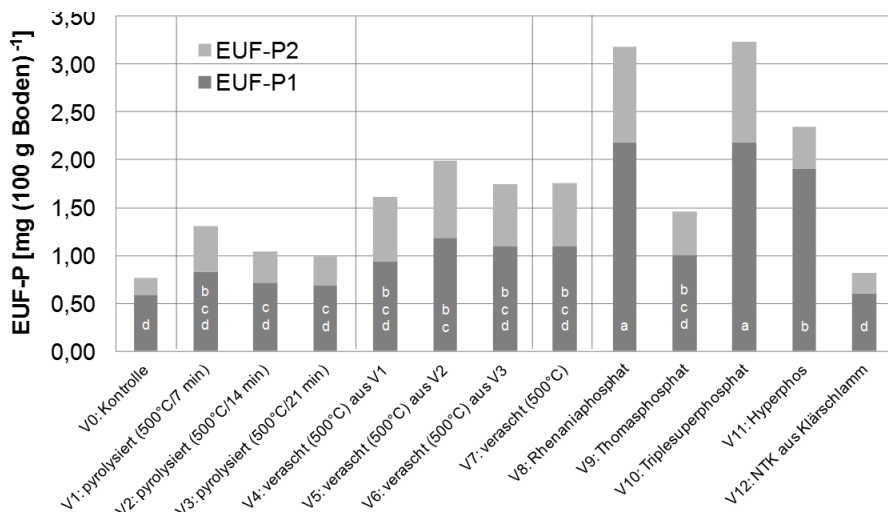


Abb. 1: EUF-extrahierbarer Phosphor (EUF-P1 und EUF-P2) im Boden nach einwöchiger Inkubationszeit

3.2 EUF-extrahierbarer Phosphor in Klärschlamm-Recyclingprodukten und P-Düngemitteln

Die P-Freisetzungsraten aus den Klärschlammprodukten und Düngemitteln wurden durch eine sequenzielle Extraktion in zehn nacheinander folgenden Schritten mit dem EUF-Verfahren bestimmt.

Dadurch wurde das Freisetzungsverhalten von Phosphor im Zeitverlauf sichtbar gemacht. Für die Beschreibung wird der Verlauf einer 10-fach fraktionierten Extraktion mit deionisiertem Wasser herangezogen und kumuliert dargestellt. Die aufaddierten Konzentrationen in Abhängigkeit der Zeit können dann durch eine mathematische Funktion beschrieben werden (Abb. 2). Die quadratische Funktion ergab eine sehr genaue Beschreibung der Summenkurve mit Bestimmtheitsmaßen (R^2) überwiegend größer als 0,99, wie auch Untersuchungen von Scholz (2012) gezeigt haben.

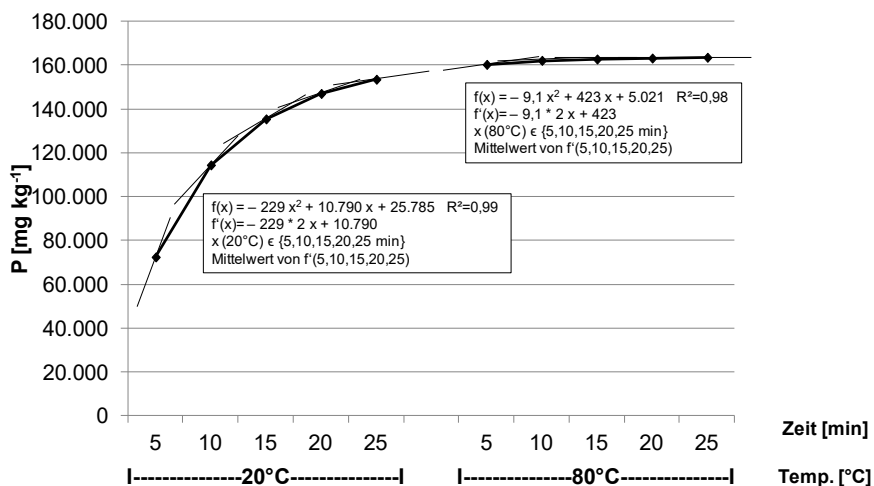


Abb. 2: Kumulierte P-Freisetzung aus Triplesuperphosphat (TSP), Wiederholung 1. Mathematische Beschreibung der Funktion und Ermittlung der mittleren Initial- (IFR) und Langfrist-Freisetzungsrates (LFR)

Für die Bestimmung der Freisetzungsrates wurde aus der quadratischen Funktion die erste Ableitung gebildet. Dazu wurde in jedem gemessenen Punkt (Fraktion 1-5 und Fraktion 6-10) die Steigung berechnet und daraus eine mittlere Freisetzungsrates ermittelt (Abb. 2). Die Freisetzungsrates aus der kumulierten Fraktionen 1-5 wird auf Grund des leicht löslichen Nährstoffanteils als Initial-Freisetzungsrates (IFR) bezeichnet, die nachfolgende Rate aus der Fraktionen 6-10 mit den schwer löslichen Anteilen als Langfrist-Freisetzungsrates (LFR).

Es zeigt sich, dass die Klärschlammprodukte V1 bis V3 mit zunehmender Verweilzeit im Pyrolyseaktor abnehmende Initial- und Langfrist-Freisetzungsrates hatten (Abb. 3). Durch die zusätzliche Veraschung bei 500 °C nahm die Initial-Freisetzungsrates von P wieder beträchtlich zu (V4-V6). Die veraschten Klärschlämme (V4-V6) unterschieden sich bei der Initial-Freisetzungsrates (IFR) mit 17 bis 22 mg P (kg min)⁻¹ praktisch nicht, ebenso bei der Langfrist-Freisetzungsrates (LFR) mit 82 bis 90 mg P (kg min)⁻¹. Der nicht pyrolysierte und direkt veraschte Klärschlamm (V7) zeigt mit IFR = 27 mg P (kg min)⁻¹ und LFR = 163 mg P (kg min)⁻¹ signifikant höhere Freisetzungsrates als die anderen unterschiedlich behandelten Recyclingprodukte (Abb. 3).

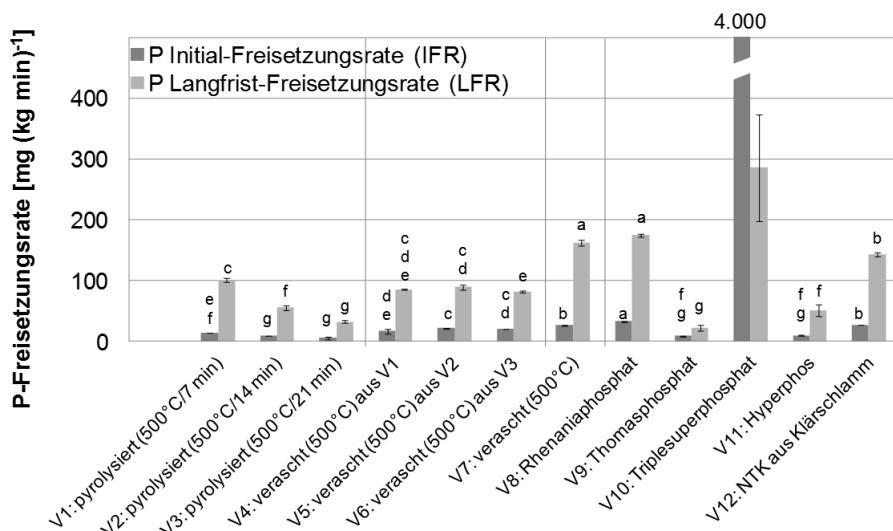


Abb. 3: Initial (IFR)- und Langfrist (LFR)-Freisetzungsraten von Phosphor von pyrolysierten Klärschlämmen und P-Düngern

3.3 Freisetzungverhalten von Phosphor der Klärschlammrecyclingprodukte und P-Düngemittel

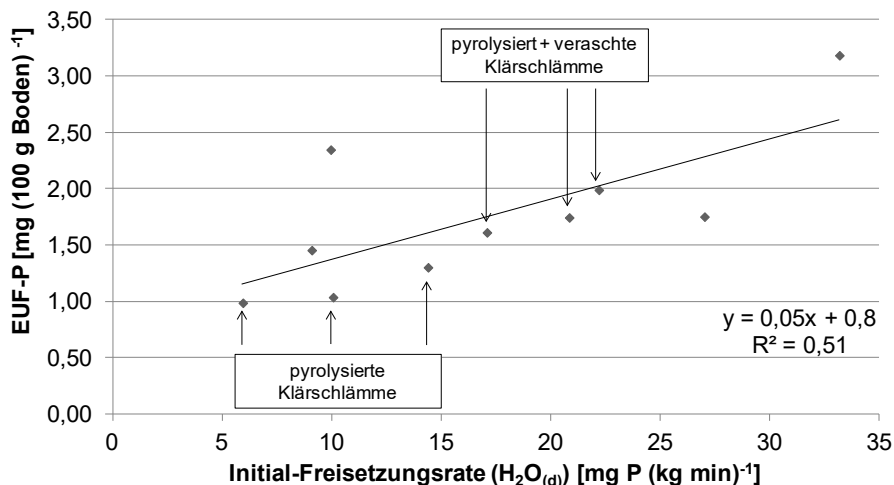


Abb. 4: Beziehung der P-Initial-Freisetzungsrate (IFR) der behandelten Klärschlämme bzw. P-Dünger und des gesamtlöslichen EUF-P nach einer Woche Inkubationszeit

Der dem Boden zugeführte Phosphor aus den P-Recyclingprodukten und P-Düngern wird entsprechend seiner Löslichkeit freigesetzt (Abb. 4). Der Zusammenhang belegt, dass mit zunehmender P-Initial-Freisetzungsrates des Materials (ohne TSP) der Gehalt an löslichem EUF-Phosphor im Boden zunimmt ($R^2 = 0,51$). Insbesondere die P-Freisetzungsrates bei vergleichbaren Materialien wie V1-V3, aber auch V4-V6, wird durch EUF-P im Boden gut wiedergegeben. Die Ergebnisse gehen einher mit der P-Aufnahme von Mais im Gefäßversuch (nicht gezeigt).

4. Fazit

Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Bestimmung der P-Freisetzungsrates aus Klärschlamm-Recyclingprodukten mittels EUF das Freisetzungverhalten von Phosphor sowie die unterschiedliche Bioverfügbarkeit beschreiben kann.

5. Literaturangaben

- Horn, D., 2010: Elektro-Ultrafiltrationsverfahren zur Bestimmung der Löslichkeit und Mobilität von Schwermetallen und/oder Schadstoffen für Abfall- und Altlastenmaterialien sowie Schwermetall- und/oder Schadstoff kontaminierte Böden. DPMA. Intern. VN: WO 2010/054778 A1.
- Lingenberg, L., Steckenmesser, D., Koch, C., Steffens, D., 2014: Wie künftig die Wirksamkeit von Phosphor-Recycling Produkten bewerten. Vortrag Pflanzliche Produktion III: Phosphor, VDLUFA-Kongress 2014 in Hohenheim.
- Németh, K., 1982: Electro-ultrafiltration of aqueous soil suspension with simultaneously varying temperature and voltage. *Plant and Soil* 64, 7-23.
- Scholz, J., 2012: Vergleichende Bewertung von Elektro-Ultrafiltration mit herkömmlichen Extraktionsverfahren hinsichtlich des Auslaugverhaltens von Abfallstoffen sowie deren Einordnung in den Bereich der Altlastenanalytik. Diplomarbeit Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fachbereich Umweltingenieurwesen.
- Steffens, D., 1987: Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen Phosphatdüngerformen auf die Phosphatverfügbarkeit in der Rhizosphäre von Raps. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 150, 75-80.

Steffens, D., 1994: Phosphorus release kinetics and extractable phosphorus after long-term fertilization. Soil Science Society of America Journal, Vol. 58 No. 6, p. 1702-1708.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 6.4.2 Bestimmung der durch Elektro-Ultrafiltration (EUF) löslichen Anteile von Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Natrium, Schwefel und Bor. VDLUFA-Methodenbuch I, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Phosphorverfügbarkeit mineralischer Recycling-Produkte aus der Klärschlammaufbereitung in Kombination mit Bioeffektoren, Ergebnisse aus Gefäß- und Feldversuchen

I. Wollmann, K. Möller

Universität Hohenheim, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt, Stuttgart

1. Einleitung

Vor dem Hintergrund der weltweiten Phosphat-Verknappung wurden zahlreiche Technologien entwickelt um Phosphor (P) aus kommunalem Klärschlamm zu recyceln. Phosphorhaltige Produkte können hierbei sowohl aus der flüssigen Phase durch Fällung als auch nach einer thermischen Behandlung des Schlammes, als Kohlen, Schlacken und Aschen rückgewonnen werden. Im Rahmen des CORE ORGANIC II-Projektes IMPORVE-P (Improved Phosphorus Resource Efficiency in Organic Agriculture via Recycling and Enhanced Biological Mobilization) wurde an der Universität Hohenheim die P-Verfügbarkeit verschiedener rückgewonnener P-Produkte im Labor, sowie in Gefäß- und Feldversuchen untersucht. Die getesteten Produkte umfassen 2 Struvite ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) aus unterschiedlichen Herstellungsverfahren (Stuttgarter Verfahren und „Berliner Pflanze“), ein Calcium-Phosphat (Ca-P), eine P-haltige Schlacke aus der Schmelzvergasung, sowie jeweils zwei Pyrolysekohlen und Klärschlammaschen (KSA). In den Versuchen wurde darüber hinaus getestet, ob eine Applikation wachstumsstimulierender Mikroorganismen (Bioeffektoren) die P-Aufnahme aus Boden und Düngemitteln zusätzlich steigern kann. Ziel war es, verschiedene, aus Klärschlamm rückgewonnene P-Produkte hinsichtlich ihrer P-Düngewirkung zu vergleichen, und die analytischen Ergebnisse aus dem Labor im Gefäß- und Feldversuch zu validieren. Aus den Ergebnissen einer Fraktionierungsanalyse der P-Produkte nach Hedley et al. (1982) (Abb. 1) wurden folgende Hypothesen abgeleitet: 1. Die rückgewonnenen P-Produkte weisen eine höhere Pflanzenverfügbarkeit auf als die Rohphosphat (PR) Kontrolle; 2. Struvite und Ca-P haben von den rückgewonnenen P-Produkten die höchste P-Verfügbarkeit; 3. Unter den thermisch rückgewonnenen Produkten weisen die Pyrolysekohlen die höchste P-Verfügbarkeit auf; und schließlich 4. Durch die Applikation wachstumsstimulierender Mikroorganismen (Bioeffektoren) wird die P-Verfügbarkeit aus Boden und Düngemitteln erhöht.

2. Material und Methoden

Die P-Löslichkeit der rückgewonnenen P-Produkte, sowie eines Rohphosphates (PR) wurden in einer modifizierten sequenziellen Fraktionierungsanalyse nach Hedley et al. (1982) untersucht. Dafür wurde je 1 g des Produktes in 50 ml Zentrifugen Röhrchen eingewogen und mit 30 ml 0,5 M NaHCO₃ versetzt, 16 h bei 180 UpM geschüttelt und anschließend für 10 min bei 2500 g zentrifugiert. Der Überstand wurde durch Blaubandfilter (MN 640 d) in Scintillationsgefäße abfiltriert und bis zur Messung bei 5 °C im Kühlschrank gelagert. Im Filter überbleibende Partikel wurden vorsichtig mit der darauffolgenden Extraktionslösung in die Zentrifugen Röhrchen rückgespült, diese dann mit 0,1 M NaOH bis zur 30 ml Marke aufgefüllt, geschüttelt, zentrifugiert und filtriert. Der letzte Extraktionsschritt erfolgte auf gleiche Weise mit 30 ml 1 M H₂SO₄. Pro P-Produkt wurden zwei Wiederholungen durchgeführt. Der P-Gehalt jeder der drei Fraktionen wurde jeweils am ICP-OES gemessen. Für die graphische Darstellung wurden die P-Gehalte der einzelnen Fraktionen in % des Gesamtgehaltes aller P-Fraktionen umgerechnet.

Von Nov. 2013 bis Dez. 2014 wurden zwei Gefäßversuche im Gewächshaus durchgeführt. In Gefäßversuch 1 wurde das Struvit aus dem Stuttgarter Verfahren (Struvit 1), sowie eine Mg-KSA auf ihre P-Verfügbarkeit hin untersucht. Die Testpflanzen bildeten eine Fruchtfolge aus Rotklee (3 Schnitte), gefolgt von Mais und zuletzt Weidelgras. Als Bioeffektor Produkte wurden die mikrobiellen Stämme *Bacillus amyloliquefaciens* (FZB 42) und *Pseudomonas sp.* Proradix (Proradix®) untersucht. In Gefäßversuch 2 wurden Struvit 1, Struvit 2 („Berliner Pflanze“), sowie das Ca-P, eine Schlacke, eine Pyrolysekohle und die Mg-KSA untersucht. Die Testpflanze war Mais. Das hier getestete Bioeffektor Produkt war der *Bacillus amyloliquefaciens* Stamm aus dem Produkt FZB 42.

Beide Gefäßversuche wurden identisch aufgebaut. Als Kontrollvarianten galten jeweils eine ungedüngte Variante, sowie eine mit PR und Ca(H₂PO₄)₂ gedüngte Kontrolle. Die P-Düngemittel wurden entsprechend 50 mg P kg TM⁻¹ ausgebracht, N, K und Mg wurden ausreichend mineralisch gedüngt. Die N-Versorgung des Rotklees erfolgte nach einer geringen Startgabe symbiontisch. Bioeffektoren wurden in vierzehntägigem Abstand mit 2.00E+08 KBE*Applikation*Gefäß⁻¹ appliziert. Der verwendete Boden war ein schluffiger Lehm mit P_{CAL} 2,2 mg P 100 g TM⁻¹ und pH 7,2 (CaCl₂), die Topfgröße betrug 1,8 l. Die Pflanzen wurden regelmäßig auf 50 % WHC bewässert. Der Spross

wurde jeweils auf TM und P-Konzentration (Nasschemischer Aufschluss unter Druck, VDLUFA (2011)) hin untersucht. Die P-Aufnahme wurde berechnet aus $TM \cdot P$ -Konzentration.

In dem zweijährigen Feldversuch mit Mais wurden als rückgewonnene P-Produkte beide Struvite, sowie das Ca-P, die Pyrolysekohle, eine Na-KSA und ein Biokompost untersucht. Kontrollvarianten waren ungedüngte, und mit PR gedüngte Behandlungen. Die Applikationsmenge für P betrug 80 kg P ha^{-1} . Stickstoff wurde in Form von Horngries gedüngt. Als Bioeffektor Produkt wurde im Feld *Pseudomonas sp. Proradix* (Proradix®) getestet. Proradix wurde pro Versuchsjahr jeweils zweimal nach Auflaufen des Mais in die Reihe appliziert, in einer Konzentration von $1.00E+09 \text{ KBE} \cdot \text{kg Boden}^{-1}$. Der Boden der Versuchsfläche war ein schluffiger Lehm mit einem P_{CAL} Gehalt von $3,0 \text{ mg P} \cdot 100 \text{ g Boden}^{-1}$ und pH 6,6 (CaCl_2). Pro Behandlung wurden 4 Wiederholungen angelegt, die Parzellengröße betrug jeweils $3 \cdot 10 \text{ m}$. Von der oberirdischen Biomasse wurde TM und P-Konzentration im Pflanzenmaterial bestimmt.

Bei allen Versuchen handelte es sich um vollständig randomisierte Anlagen mit vier, bzw fünf (Gefäßversuch 1) Wiederholungen. Die statistische Auswertung erfolgte mit einer zweifaktoriellen ANOVA und einem nachfolgenden Tukey Test bei einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$.

3. Ergebnisse

Die in Abbildung 1 in schwarz dargestellte, mit NaHCO_3 extrahierte P-Fraktion wird als der pflanzenverfügbare P-Pool angesehen (Hedley et al., 1982). In allen rückgewonnenen Produkten macht dieser verfügbare P-Pool die geringste Fraktion aus, wobei Ca-P und beide Struvite von allen Produkten den höchsten pflanzenverfügbaren Teil beinhalten. Die dunkelgrau dargestellte Bicarbonat Fraktion stellt den labilen P-Pool dar, welcher an amorphen und kristallinen Al-/Fe- Oxiden und -Hydroxiden und Tonmineralen assoziiert ist (Buehler et al., 2002). Die Pyrolysekohlen weisen mit 30, bzw. 22 % den höchsten labilen P-Pool auf, gefolgt von den Struviten, in den übrigen Produkten ist der labile P-Pool verschwindend gering. Der weitaus größte Teil des P liegt in allen Produkten in dem mit H_2SO_4 extrahierbaren, stabilen P-Pool, der die nicht pflanzenverfügbare Fraktion darstellt (hellgrau gestreifte Fläche). Insbesondere die KSA-Produkte und die P-Schlacke bestehen aus annähernd 100 % stabi-

lem P. Ausgehend von diesen Ergebnissen ist die erwartete Düngewirkung der P-Schlacke und der KSA vergleichbar gering wie die des PR.

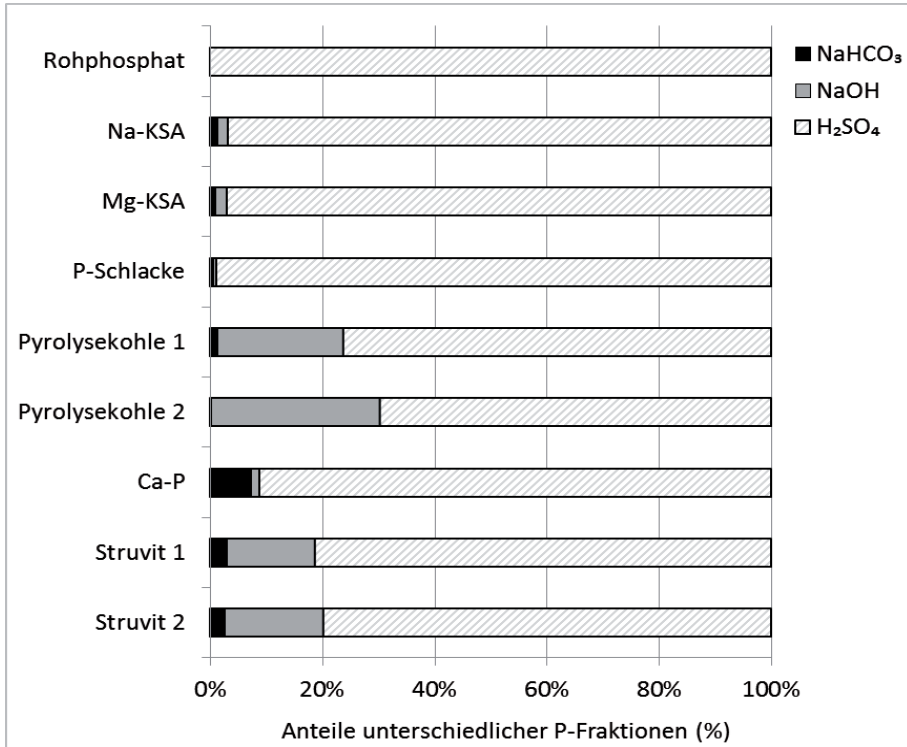


Abb.1: Anteile unterschiedlicher P-Fractionen (%) von rückgewonnenen P-Produkten aus Klärschlamm im Vergleich zu Rohphosphat

Sowohl bei der TM, als auch bei der P-Aufnahme erzielten die mit Struvit gedüngten Pflanzen Werte, die sich nicht von der $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ Kontrolle unterschieden (Abb. 2). Die mit KSA gedüngten Pflanzen wiesen hingegen eine vergleichbare Biomassebildung wie die ungedüngte und die PR Kontrolle auf. Die P-Aufnahme in den Behandlungen KSA und PR lag sogar in einem niedrigeren Bereich als die ungedüngte Behandlung. Die in diesem Versuch applizierten Bioeffektor Produkte Proradix und RhizoVital führten zu keinen Veränderungen in TM und P-Aufnahme der Pflanzen (Ergebnisse nicht dargestellt).

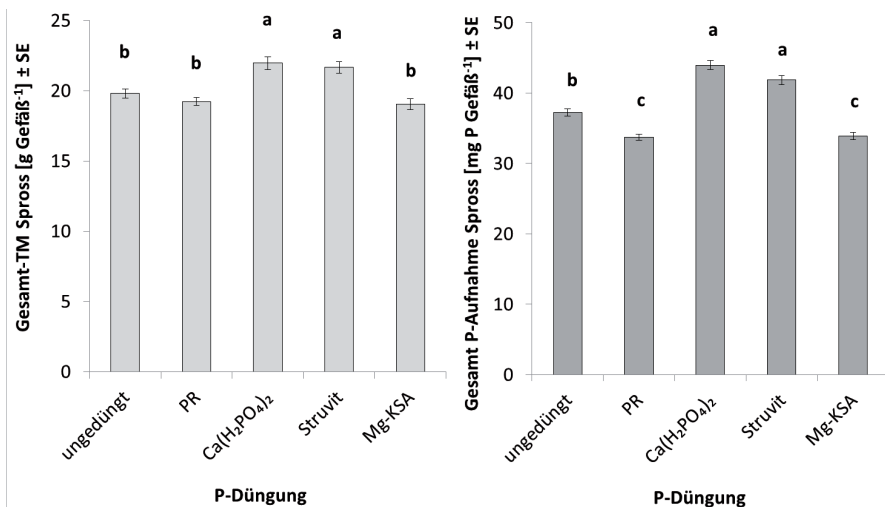


Abb. 2: Mittlere Gesamt-TM und P-Aufnahme (N = 4) aller in Gefäßversuch 1 gewachsenen Pflanzen (Klee, Mais, Weidelgras) pro Gefäß in Abhängigkeit verschiedener Düngebehandlungen. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Behandlungen (p ≤ 0,05)

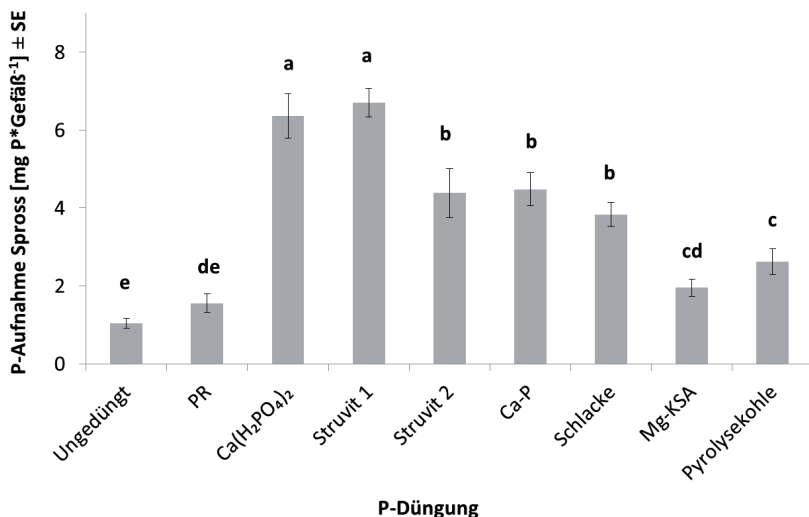


Abb. 3: Mittlere oberirdische P-Aufnahme (N = 4) von Mais pro Gefäß aus Gefäßversuch 2 in Abhängigkeit verschiedener Düngebehandlungen. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Behandlungen (p ≤ 0,05)

Die PR Behandlung stellte sich unter den gegebenen Bedingungen als unwirksam heraus. Auch hatte die Applikation des Bioeffektor Produktes RhizoVital FZB42 keinen Einfluss auf TM und P-Aufnahme in Gefäßversuch 2.

In Abbildung 4 sind die Ergebnisse aus dem 1. Jahr des Feldversuches mit Mais dargestellt. Die Erträge schwankten zwischen 118-140 dt TM ha⁻¹, die Unterschiede zwischen den Behandlungen waren nicht signifikant. Im zweiten Versuchsjahr (2015) lagen die TM Werte in einem insgesamt niedrigeren Bereich (nicht dargestellt), auch hier waren die Unterschiede zwischen Behandlungen jedoch nicht signifikant. Die P-Aufnahme im Jahr 2014 schwankte zwischen 19,6 und 33,4 kg P ha⁻¹. Zwischen den rückgewonnenen P-Produkten waren die Unterschiede nicht signifikant. Einzig durch eine deutlich reduzierte P-Aufnahme in der mit PR gedüngten Behandlung ergaben sich signifikante Unterschiede dieser Behandlung zu beiden Struviten und dem Biokompost. Die TM und P-Aufnahme konnte im Jahr 2014 nicht durch die Applikation des Bioeffektor Produktes Proradix gesteigert werden. Die P-Aufnahmen aus dem zweiten Versuchsjahr befinden sich noch in der Auswertung.

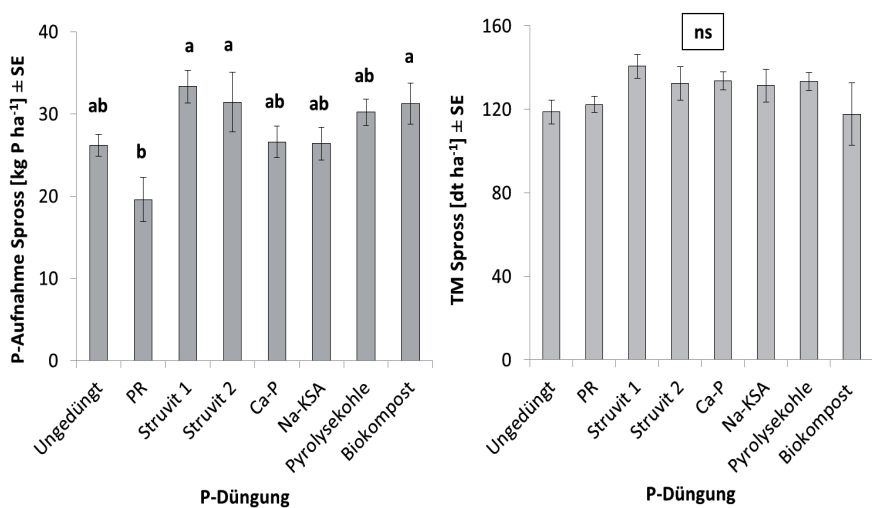


Abb. 4: Mittlere TM und P-Aufnahme (N = 4) von Mais aus dem 1. Jahr des Feldversuches, 2014, in Abhängigkeit verschiedener Düngemethoden. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede, ns = nicht signifikant ($p \leq 0,05$)

4. Diskussion

Struvite zeigten trotz ihres hohen Anteils an nicht wasserlöslichen P (Abb. 1), und selbst unter dem neutralen Boden pH eine sehr hohe P-Verfügbarkeit in beiden Gefäßversuchen (Abb. 2, 3), die vergleichbar war mit der von $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Ähnliche Ergebnisse erzielten Cabeza et al. (2011) mit Mais und Massey et al. (2009) mit Sommerweizen. Die deutlichen Unterschiede in der P-Aufnahme zwischen Struvit 1 und 2 (Abb. 3) sind wahrscheinlich auf eine Verunreinigung der Produkte zurückzuführen. Vermutlich handelt es sich bei Struvit 2 um kein reines Struvit, sondern um eine Mischung aus Struvit und Ca-P, wodurch dessen P-Verfügbarkeit herabgesetzt wurde. Dagegen enthält das Ca-P anscheinend gewisse Anteile an Struvit, worauf seine relativ gute P-Verfügbarkeit zurückgeführt werden kann. Für eine eindeutige Aussage wäre hier jedoch eine Röntgenfluoreszenzanalyse der einzelnen Produkte nötig.

Die KSA war in beiden Gefäßversuchen unwirksam und erzielte TM Erträge und P-Aufnahmen die zum Teil geringer waren als die der ungedüngten Kontrolle (Abb. 2). Diese niedrige P-Verfügbarkeit der KSA kann auf den in diesen Versuchen neutralen pH der Bodenlösung zurückgeführt werden. Nach Nanzer et al. (2014) nimmt die relative Düngeeffektivität von KSA mit zunehmender Alkalinität der Bodenlösung ab. In den Versuchen von Cabeza et al. (2011) wurde KSA unter sauren und neutralen Bodenbedingungen getestet. Hier zeigte sich jedoch unter beiden Bedingungen lediglich eine relative Dünge Wirkung von 45 % (neutraler pH) und < 20 % (saurer pH), im Vergleich zu TSP (100 %). Dieser niedrige Düngeeffekt der KSA stimmt auch überein mit den Ergebnissen der Hedley-Fraktionierung (Abb. 1), die nahelegen dass die untersuchten KSA zu fast 100 % aus stabilem, nicht pflanzenverfügbarem P bestehen. Zusätzlich wurde die ohnehin niedrige P-Verfügbarkeit der KSA vermutlich durch ihre eigene Alkalinität weiter herabgesetzt, was die geringere P-Aufnahme in der Behandlung KSA im Vergleich zur ungedüngten Kontrolle (Abb. 2) erklärt. Aus Abbildung 2 und den Ergebnissen des Feldversuches (Abb. 4) wird deutlich, dass derselbe, von Sinclair et al. (1993) gezeigte Kalkungseffekt auch auf die PR Behandlung zutrifft. Verwunderlich ist, dass die Pyrolysekohle in Gefäßversuch 2 eine geringere P-Verfügbarkeit aufweist als die P-Schlacke. Aus den Ergebnissen der Hedley-Fraktionierung (Abb. 1) wurde die Annahme abgeleitet, dass Pyrolysekohle wegen ihres hohen Anteils an labilem P eine höhere P-Verfügbarkeit aufweist als die P-Schlacke, die nur einen sehr geringen Anteil an pflanzenverfügbarem P beinhaltet. Aus diesen Ergebnissen muss abgeleitet werden, dass

die Löslichkeit von Düngemitteln nicht mit deren tatsächlicher P-Verfügbarkeit im Boden übereinstimmt. Sowohl bei den Struviten als auch bei den Pyrolysekohlen und der P-Schlacke wurden nicht den Erwartungen entsprechende P-Verfügbarkeiten gezeigt, wodurch die Hypothese 3 verworfen werden muss. Auch die erste Hypothese, dass alle rückgewonnenen P-Produkte eine höhere Pflanzenverfügbarkeit aufweisen als die PR Kontrolle, kann nur eingeschränkt angenommen werden, da diese für die KSA nicht zutrifft. Die zweite Hypothese, dass Struvite und Ca-P von den rückgewonnenen P-Düngemitteln die höchste P-Verfügbarkeit aufweisen, kann angenommen werden.

Die fehlenden Unterschiede im TM Ertrag zwischen den Behandlungen und zur ungedüngten Kontrolle im Feldversuch zeigen, dass selbst ein nach Gehaltsklasse B eingestufte Boden (CAL-P 3 mg 100 g Boden⁻¹) offenbar noch ausreichend verfügbares P für Pflanzenwachstum bereithält. Untersuchungen zufolge (Bünemann et al., 2006, Holford, 1997) werden lediglich zwischen 10-30 % des mit Düngemitteln applizierten P im ersten Jahr, und maximal etwa 50 % insgesamt, von der Pflanze aufgenommen. Entsprechend sind für eine aussagekräftigere Bewertung die Ergebnisse des zweiten Versuchsjahres abzuwarten. Dennoch könnte vor diesem Hintergrund generell abgewogen werden, ob anstatt einer kurzfristigen P-Düngung zu einer Kultur nicht eine langfristige P-Düngestrategie des Bodens mehr Sinn macht.

Die applizierten Bioeffektor Produkte hatten keinen Einfluss auf die erhobenen Pflanzeigenschaften. Untersuchungen von Egamberdiyeva (2007) mit *Bacillus*- und *Pseudomonas* Stämmen zeigten einen stimulierenden Effekt auf Wachstum und P-Aufnahme von Mais. Dieser Effekt war stärker in einem Boden mit geringerem Nährstoffgehalt als in einem gut mit Nährstoffen versorgten Boden, was möglicherweise in den hier beschriebenen Versuchen ein limitierender Faktor gewesen sein könnte. Freitas et al. (1997) konnten in Versuchen mit verschiedenen *Bacillus* Stämmen ein stimuliertes Pflanzenwachstum, jedoch keine erhöhte P-Aufnahme in Raps feststellen. Die genauen Mechanismen durch welche Rhizobakterien das Pflanzenwachstum stimulieren scheinen unklar (Freitas et al., 1997) und bedürfen daher weiterer Untersuchungen.

5. Literaturangaben

- Buehler, S., Oberson, A., Rao, I.M., Friesen, D.K., Frossard, E., 2002: Sequential Phosphorus Extraction of a ^{33}P -Labeled Oxisol under Contrasting Agricultural Systems. *Soil Science Society of America Journal* 66(3): 868-877.
- Bünemann, E.K., Heenan, D.P., Marschner, P., McNeill, A.M., 2006: Long-term effects of crop rotation, stubble management and tillage on soil phosphorus dynamics. *Australian Journal of Soil Research* 44, 611-618.
- Cabeza, R., Steingrobe, B., Römer, W., Claasen, N., 2011: Effectiveness of recycled P products as P fertilizers, as evaluated in pot experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 91, 173-184.
- Egamberdiyeva D., 2007: The effect of plant growth promoting bacteria on growth and nutrient uptake of maize in two different soils. *Applied Soil Ecology*, 36 (Suppl 2-3): 184-189.
- Freitas, de J.R., Banerjee, M.R., Germida, J.J., 1997: Phosphate-solubilizing rhizobacteria enhance the growth and yield but not phosphorus uptake of canola (*Brassica napus* L.). *Biol Fertil Soils* 24, 358-364.
- Hauter, R., Steffens, D., 1985: Einfluß einer mineralischen und symbiontischen Stickstoffernährung auf Protonenabgabe der Wurzeln, Phosphat-Aufnahme und Wurzelentwicklung von Rotklee. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 148, 633-646.
- Hedley, M.J., Stewart, J.W.B., Chauhan, B., 1982: Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Science Society of America Journal*, 46(5), 970-976.
- Holford, I.C.R., 1997: Soil phosphorus, its measurements and its uptake by plants. *Australian Journal of Soil Research* 35, 227-239.
- Massey, M.S., Davis, J.G., Ippolito, J.A., Sheffield, R.E., 2009: Effectiveness of recovered magnesium phosphates as fertilizers in neutral and slightly alkaline soils. *J. Agron.* 101, 323-329.
- Nanzer, S., Oberson, A., Berger, L., Berset, E., Hermann, L., Frossard, E., 2014: The plant availability of phosphorus from thermo-chemically treated sewage sludge ashes as studied by ^{33}P labeling techniques. *Plant and Soil*, 1-18.

Sinclair, A.G., Johnstone, P.D., Smith, L.C., Risk, W.H., O'connor, M.B., Roberts, A.H. Morton, J.D., Nguyen, L., Shannon, P.W., 1993: Effect of reactive phosphate rock on the pH of soil under pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 36(3), 381-384.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2011: Methode 2.1.1, Nasschemischer Aufschluss unter Druck. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. VII Umweltanalytik 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchungen zum Einfluss stabilisierter N-Dünger auf die Verfügbarkeit und Aufnahme von Mangan in Weizen

M. Dreyer, B. Görlach, K.H. Mühling

Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Christian-Albrechts-Universität, Kiel

1. Einleitung

Im Boden sinkt die Pflanzenverfügbarkeit von Mangan bei steigenden pH-Werten deutlich ab, da dieses dann zunehmend als MnO_2 (Braunstein) in einer nicht pflanzenverfügbaren, oxidierten Form vorliegt. Durch den Einsatz saurer N-Dünger (NH_4^+ -Dünger) kann der pH-Wert im Boden gesenkt und somit die Mn-Verfügbarkeit gesteigert werden. Hierbei kann die pH-Absenkung einerseits durch die H^+ -Freisetzung im Zuge der Nitrifikation und andererseits durch die H^+ -Abgabe in die Rhizosphäre bei NH_4^+ -Aufnahme hervorgerufen werden (Schnug, 1982). Durch den gleichzeitigen Einsatz von Nitrifikationshemmern kann weiterhin die Ammoniumoxidation vorübergehend unterbunden und folglich die damit verbundene H^+ -Freisetzung bzw. pH-Absenkung im Gesamtboden reduziert werden. Bedingt durch die primäre NH_4^+ -Ernährung ist dann eine stärkere Versauerung der Rhizosphäre zu erwarten. Insofern ist bei NH_4^+ -Stabilisierung auch mit Veränderungen hinsichtlich der Mn-Verfügbarkeit zu rechnen. Aus theoretischen Überlegungen heraus ist zu erwarten, dass durch die Versauerung der Rhizosphäre die Mn-Verfügbarkeit steigt, was wiederum zu einer besseren Mn-Versorgung der Weizenpflanzen führt.

Ziel der Arbeit war es zu überprüfen, in welchem Ausmaß der Zusatz des Nitrifikationshemmers Dicyandiamid (DCD) zu unterschiedlichen N-Düngern die pH-Werte in Gesamtboden und Rhizosphäre beeinträchtigt und welche Auswirkungen dies auf die Mn-Versorgung der Weizenpflanzen hat.

2. Material und Methoden

2.1 Gefäßversuch

Zur Klärung der Versuchsfrage wurde ein Mitscherlich-Gefäßversuch unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt. Es wurde ein 16/8 h

Tag-Nacht-Rhythmus mit Temperaturen von 20/8 °C gewählt. Die Pflanzen wurden für 7 Wochen bei 5 °C vernalisiert. Die Bodenfeuchte wurde auf 70 % nFK eingestellt. Als Versuchsboden wurde ein stark humoser sandiger Lehm aus Ostholstein verwendet. Unter praktischen Anbaubedingungen wurde auf diesem Boden bereits häufiger Mn-Mangel beobachtet, so dass dieser besonders geeignet für die Bearbeitung der Fragestellung erschien. Der Boden zeichnet sich durch einen hohen Gehalt an freiem Carbonat und einer daraus resultierenden hohen Pufferkapazität aus. Der pH-Wert des Bodens lag zu Versuchsbeginn bei 7,4.

Im Versuch wurden $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (CN), NH_4NO_3 (AN), $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (SSA = Schwefelsaures Ammoniak) und zusätzlich das stark reduzierend wirkende $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$ (ATS = Ammoniumthiosulfat) jeweils mit und ohne DCD-Zusatz (15 % von N) verglichen. Die CN-Variante wurde ebenfalls mit DCD geprüft, um nicht ausschließende direkte Effekte des Nitrifikationshemmers auf die Manganverfügbarkeit (z. B. Hemmung Mn-reduzierender Bakterien) sichtbar machen zu können. Insgesamt wurden entsprechend den Varianten 3 g N je Gefäß zu je einem Drittel zur Aussaat, zur Bestockung und zu Schossbeginn appliziert (Tab. 1). Jede Variante wurde in fünffacher Wiederholung geprüft.

Zu EC 31 und EC 49 wurde die Mn-Versorgung der Pflanzen (gesamte oberirdische Substanz) nach Säureaufschluss (HNO_3) am AAS bestimmt. Zu beiden Zeitpunkten erfolgte auch die Bestimmung des pH-Wertes (CaCl_2) im Gesamtboden und in der Rhizosphäre. Die Gewinnung des Bodenmaterials „Gesamtboden“ erfolgte mit dem Bohrstock aus der gesamten Tiefe des Mitscherlichgefäßes (ca. 25 cm). Dabei wurde stets darauf geachtet, die Proben möglichst fern der Pflanzen zu ziehen. Je Gefäß wurden fünf Einstiche durchgeführt und der Boden anschließend zu einer Mischprobe vereinigt. Die Gewinnung des „Rhizobodens“ erfolgte nach Hendriks und Jungk (1981). Dazu wurden je Gefäß zwei bis drei Pflanzen mit Hilfe eines Gartenmessers großzügig gelockert und dann vorsichtig aus dem Boden herausgezogen. Es wurde darauf geachtet, dass möglichst wenig Wurzeln im Boden verblieben. Größerer Erdanhang wurde durch vorsichtiges Schütteln von den Wurzeln entfernt. Der anschließend noch an den Wurzelhaaren haftende Boden wurde dann als Rhizoboden definiert. In vorhergehenden Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass mit dieser Methode eine Trennung von Gesamt- und Rhizoboden reproduzierbar möglich ist (Weidemann und Mühlhling, 2011).

Tab. 1: Zusammenfassende Darstellung der N-Düngungstermine sowie der durchgeführten Probenahmen und Analysen im Versuchsverlauf.

Datum	EC-Stadium	Tage nach 1. N-Gabe	Tage nach 2. N-Gabe	Tage nach 3. N-Gabe	Maßnahme
12.10.13	-	-	-	-	Aussaat <u>1. N-Gabe (1 g/Gefäß)</u>
20.11.13- 07.01.14	13/21	87	-	-	Vernalisation (5 °C)
15.01.14	21	95	-	-	<u>2. N-Gabe (1 g/Gefäß)</u>
21.02.14	31	132	37	-	pH-Messung Mn-Analyse Pflanzen Inkubationsversuch
25.02.14	31/32	136	41	-	<u>3. N-Gabe (1 g/ Gefäß)</u>
27.03.14	49	166	71	30	pH-Messung Mn-Analyse Pflanzen

2.2 Inkubationsversuch

Die Reduktion von Mn-Oxiden in Böden erfolgt durch die Aktivität anaerober Bodenbakterien (Schachtschabel, 1957). Da direkte Effekte des DCD auf die Mn-Reduzierer und somit auf die Mn-Verfügbarkeit nicht gänzlich ausgeschlossen werden können, erfolgte ein dem Gefäßversuch direkt angegliederter Bodenkubationsversuch zur Erfassung des Mn-Reduktionspotentials gemäß dem methodischen Ansatz von Kothari et al. (1991). Danach kann nach definierter Inkubationszeit anhand der Reduktion von zuvor zugesetztem MnO_2 zu Mn^{2+} indirekt auf die Aktivität Mn-reduzierender Bodenorganismen geschlossen werden. Dazu wurden zu EC 31 aus jedem Gefäß fünf Einstiche aus der vollen Gefäßtiefe entnommen, anschließend gut vermischt, mit Braunstein und Glucose versetzt und danach für 96 h bei 30 °C im Klimaschrank inkubiert. Anschließend wurde das reduzierte Mangan mit 0,025 M $CaCl_2$ -Lösung extrahiert und am AAS erfasst.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 pH-Werte in Gesamtboden und Rhizosphäre

Zu **EC 31** (37 Tage nach der 2. N-Gabe) konnte in keiner der Varianten der Gesamtboden-pH gegenüber dem Ausgangs-pH wesentlich abgesenkt wer-

den (Tab. 2), was offensichtlich auf die hohe Säure-Pufferkapazität des Bodens zurückzuführen ist. Wenngleich einige Unterschiede abgesichert sind, so sind diese insgesamt doch eher gering und wenig eindeutig. Deutlicher sind die pH-Effekte in der Rhizosphäre ausgeprägt. Auch hier liegen die pH-Werte praktisch nicht unter dem Ausgangswert, jedoch kommt es, bedingt durch die N-Form, zu unterschiedlich starken pH-Erhöhungen. Es ist offensichtlich, dass es mit zunehmenden NH_4^+ -Anteil im Dünger zu immer niedrigeren pH-Werten in der Rhizosphäre kommt und ein DCD-Zusatz diesen Effekt verstärkt. Dies ist für die AN-, SSA- und ATS-Varianten statistisch gesichert. Die hohen pH-Werte in den CN-Varianten und der unstabilierten SSA-Variante sind offenbar auf die dort primär vorherrschende NO_3^- -Ernährung und dem damit verbundenen Netto- H^+ -Entzug (Schubert und Yan, 1997) in der Rhizosphäre verbunden.

Zu **EC 49** (30 Tage nach der 3. N-Gabe) liegen die pH-Werte im Gesamtboden im Versuchsmittel um 0,2 pH-Einheiten höher als zu EC 31 (pH 7,7 vs. pH 7,5) und damit um 0,3 pH-Einheiten über dem Ausgangswert. Auch hier erfolgte in keiner der Varianten eine pH-Absenkung unter den Ausgangswert und die Effekte sind damit insgesamt als gering zu bewerten. Eindeutiger sind auch hier wieder die pH-Effekte in der Rhizosphäre, wenngleich auch etwas schwächer ausgeprägt als zu EC 31. Die tiefsten Rhizosphären-pH-Werte im Versuch werden in den beiden ATS-Varianten erreicht, da hier offenbar noch die NH_4^+ -Ernährung überwiegt. Dieser Befund kann damit erklärt werden, dass das Thiosulfat ein sehr starkes Reduktionsmittel ist und folglich auch eine nitrifikationshemmende Wirkung besitzt. Daher liegt der Stickstoff in diesen Varianten wahrscheinlich noch als NH_4^+ vor, während in den anderen Varianten aufgrund nachlassender Wirkung des DCD bereits die NO_3^- -Ernährung überwiegt.

3.2 Mn-Versorgung der Pflanzen und Mn-Verfügbarkeit

Zu **EC 31** sind hinsichtlich der Mn-Versorgung der Pflanzen deutliche Unterschiede zwischen den Varianten vorhanden (Tab. 2). Die CN-Variante weist zu EC 31 mit 32 mg/kg TS die geringste Mn-Konzentration auf. Demgegenüber zeigen die SSA-Variante sowie die ATS-Varianten signifikant höhere Mn-Konzentrationen, während die beiden AN-Varianten eine Mittelstellung einnehmen. Die mit Abstand höchste Mn-Konzentration weist mit 109 mg/kg TS die ATS-Variante ohne DCD-Zusatz auf. Auffallend ist, dass in der stabilisierten Vergleichsvariante die Mn-Konzentration mit 57 mg/kg TS nur halb so hoch liegt. Ähnliche Effekte treten in etwas geringerem Ausmaß auch in den SSA-Varianten auf.

Zu **EC 49** liegen die Mn-Konzentrationen insgesamt niedriger, zugleich sind die Unterschiede zwischen den Varianten weniger deutlich ausgeprägt. Die CN-, AN- und SSA-Varianten mit und ohne DCD unterscheiden sich in der Mn-Konzentration nicht signifikant und nehmen Werte zwischen 9 mg/kg TS (CN) und 15 mg/kg TS (SSA+DCD) an. Es ist tendenziell erkennbar, dass mit steigendem NH_4^+ -Anteil die Mn-Konzentration zunimmt. Genau wie zu EC 31 konnte in der ATS-Variante wieder die mit Abstand höchste Mn-Konzentration (45 mg/kg TS) im Versuch erreicht werden. Auch hier kommt es durch den DCD-Zusatz zu einer eindeutig geringeren Mn-Konzentration (28 mg/kg TS).

Die Ergebnisse aus dem Inkubationsversuch (Abb. 1) zeigen, dass die Mn-Reduktion in den CN-Varianten am niedrigsten liegt und mit zunehmenden NH_4^+ -Anteil im Dünger immer weiter ansteigt (Abb. 1). Die ATS-Varianten weisen tendenziell die höchste Mn-Reduktion auf. Weiterhin ist ersichtlich, dass der DCD-Zusatz offensichtlich keinen Einfluss auf die Mn-Reduktion hat.

Insgesamt zeigt sich, dass mit steigendem NH_4^+ -Angebot (CN < AN < SSA u. ATS) auch die Mn-Aufnahme immer weiter ansteigt, jedoch nur in den Varianten ohne DCD-Zusatz. In den CN- und AN-Varianten kann durch den DCD-Zusatz ebenfalls eine Steigerung der Mn-Konzentration erreicht werden. In den reinen NH_4^+ -Varianten SSA und ATS kommt es durch den DCD-Zusatz hingegen zu einer verminderten Mn-Aufnahme. Da in diesen beiden Varianten im Inkubationsversuch keine verminderte Mn-Reduktion nachgewiesen werden konnte (Abb. 1), kommt eine geringere Mn-Verfügbarkeit im Boden als Ursache praktisch nicht infrage. Vielmehr wird als Ursache für die verminderte Mn-Aufnahme beim DCD-Zusatz ein unspezifischer Kationen-Antagonismus ($\text{NH}_4^+/\text{Mn}^{2+}$) als wahrscheinlich angesehen. In früheren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass eine NH_4^+ -Ernährung gegenüber einer NO_3^- -Ernährung zu einer geringen Aufnahme verschiedener Kationen führt (Kirkby, 1968, Merkel, 1973).

4. Zusammenfassung

Bei steigendem NH_4^+ -Anteil im Dünger liegen die pH-Werte in der Rhizosphäre regelmäßig tiefer, wobei der Effekt durch den Zusatz von DCD verstärkt wird. Gleichzeitig kommt es dann zu einer verbesserten Mn-Versorgung der Pflanzen, wobei ein DCD-Zusatz in reinen NH_4^+ -Düngern zu einer niedrigeren Mn-Versorgung führt. Die Effekte treten zu EC 31 deutlicher in Erscheinung.

Tab.2: pH-Werte in Gesamtboden und Rhizosphäre sowie Mn-Konzentration in der Trockensubstanz (TS) zu EC 31 und 49. Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten innerhalb einer Spalte (Duncan, $P \leq 0,05$). Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen Gesamtboden und Rhizosphäre zum jeweiligen Termin (* = $P \leq 0,05$; ** = $P \leq 0,01$; *** = $P \leq 0,001$).

Variante	pH				Mn (mg/kg TS)	
	EC 31		EC 49		EC 31	EC 49
	Boden	Rhizosphäre	Boden	Rhizosphäre		
Ca(NO ₃) ₂	7,4 ab	8,1 e***	7,8 c	8,0 d	32 a	9 a
Ca(NO ₃) ₂ + DCD	7,7 c	7,9 d**	7,7 b	7,9 cd**	40 ab	10 ab
NH ₄ NO ₃	7,7 c	8,0 de**	7,7 b	7,9 cd***	39 ab	11 ab
NH ₄ NO ₃ + DCD	7,3 a	7,7 c	7,7 bc	8,0 d**	45 bc	13 ab
(NH ₄) ₂ SO ₄	7,7 c	7,9 d**	7,8 bc	7,9 c	55 cd	14 ab
(NH ₄) ₂ SO ₄ + DCD	7,5 b	7,3 a**	7,6 a	7,7 b	42 b	15 b
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	7,5 b	7,7 c	7,7 bc	7,5 a**	109 e	45 d
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₃ + DCD	7,4 ab	7,5 b	7,6 ab	7,4 a*	57 d	28 c
Versuchsmittel	7,5	7,8	7,7	7,8	52	18

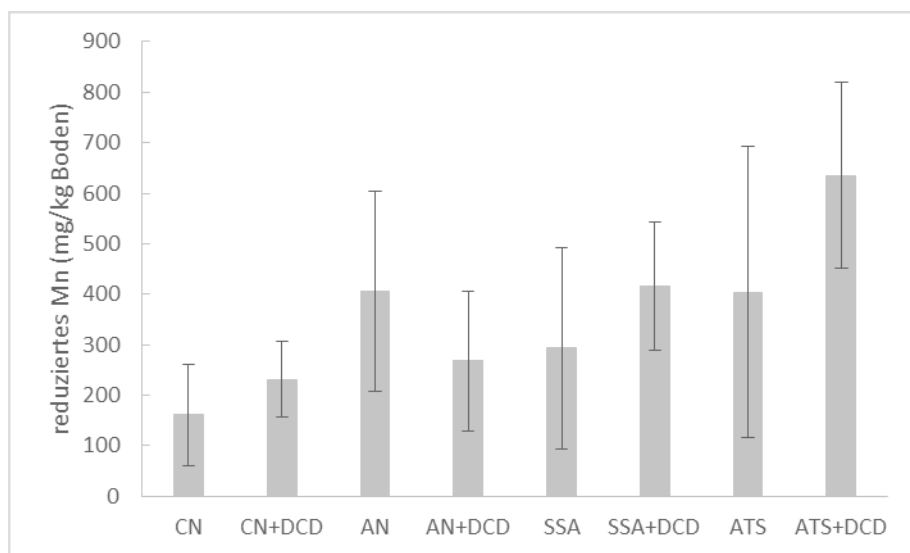


Abb.1: Manganreduktionspotential nach vorherigem Vegetationseinfluss. Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung.

Ein direkt negativer Einfluss des DCD auf die Mn-Verfügbarkeit kann nach den Resultaten aus dem Inkubationsversuch ausgeschlossen werden. Als Ursache für die verminderte Mn-Aufnahme beim DCD-Zusatz wird ein unspezifischer Kationen-Antagonismus vermutet.

5. Literaturangaben

- Hendriks, L., Jungk, A., 1981: Erfassung der Mineralstoffverteilung in Wurzel-nähe durch getrennte Analyse von Rhizo- und Restboden. Z. Pflanzen-ernähr. Bodenk. 144, 276-282.
- Kirkby, E.A., 1968: Influence of ammonium and nitrate nutrition on the cation-anion balance and nitrogen and carbohydrate metabolism of white mustard plants grown in dilute nutrient solutions. Soil Science 105, 133-141.
- Kothari, S.K., Marschner, H., Römheld, V., 1991: Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus and rhizosphere micro-organisms on manganese reduction in the rhizosphere and manganese concentration in maize (*Zea mays* L.). New Phytol. 117, 649-655.
- Merkel, D., 1973: Der Einfluss des $\text{NO}_3\text{-NH}_4$ -Verhältnisses in der Nährlösung auf Ertrag und Gehalte an organischen und anorganischen Ionen in Tomatenpflanzen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 134, 236-246.
- Schachtschabel, P., 1957: Die Bestimmung des Manganversorgungsgrades von Böden und seine Beziehung zum Auftreten der Dörrfleckenkrankheit bei Hafer. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 78, 147-167.
- Schnug, E., 1982: Untersuchungen zum Einfluss bodenversauernder Düngung auf die Spurennährstoff-Versorgung von Kulturpflanzen. Dissertation aus dem Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Schubert, S., Yan, F., 1997: Nitrate and ammonium nutrition of plants: effects on acid/base balance and adaptation of root cell plasmalemma H^+ ATPase. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 160, 275-281.
- Weidemann, C., Mühlhling, K.H., 2011: Einfluss verschiedener N-haltiger Düngemittel auf die pH-Werte im Boden und Rhizosphäre sowie die Mn-Gehalte von Boden und Winterweizen. Schriftenreihe des Instituts für Pflanzenbau und -züchtung der CAU Kiel 71, 97-103.

Wie beeinflusst der gestiegene Ertrag der Zuckerrübe deren Nährstoffaufnahme?

K. Bürcky¹, T. Hetterich², J. Heyn³, D. Horn⁴, D. Koch³

¹Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenanbau, Ochsenfurt, ²Bodengesundheitsdienst GmbH, Ochsenfurt, ³Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel, ⁴EUF–Arbeitsgemeinschaft zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit und Bodengesundheit, Ochsenfurt

1. Einleitung

Der Ertrag der Zuckerrübe ist in den letzten 20 Jahren erheblich angestiegen (Abb. 1). Die Melassebildner wurden, im wesentlichen züchterisch bedingt, reduziert. Dies geschah vor dem Hintergrund von deren Einfluss auf die Zuckerausbeute in der Fabrik und fand ihren Niederschlag in der „Neuen Braunschweiger Formel“. Weiterhin hat sich das Rübe-Blatt-Verhältnis geändert.

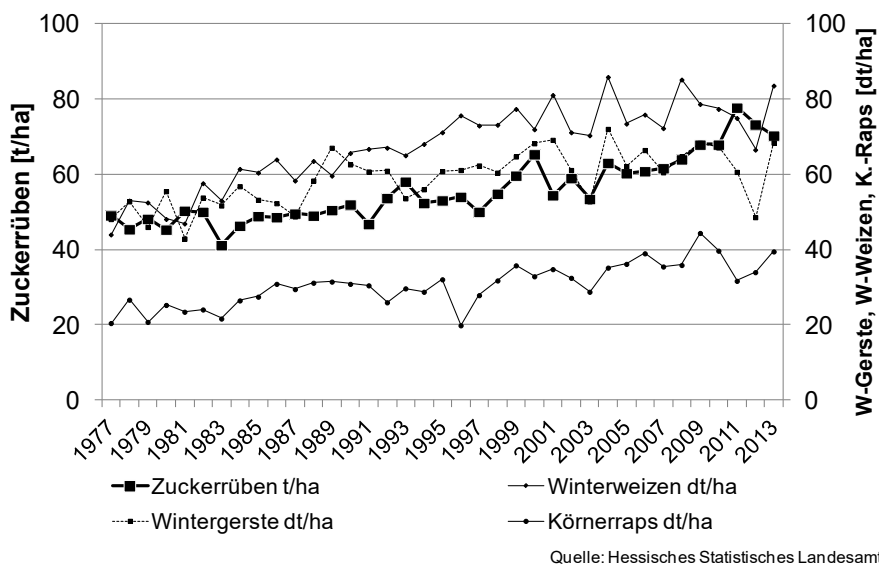


Abb. 1: Ernteerträge der wichtigsten Kulturen von 1977 bis 2013 in Hessen (Hessisches Statistisches Landesamt)

Optimierte Anbaumaßnahmen, wie höhere Bestandesdichten und eine angepasste Düngung werden in der landwirtschaftlichen Praxis umgesetzt. Aus diesen Entwicklungen entstand die Frage, wie sich die Nährstoffaufnahme der Zuckerrübe verändert hat.

2. Material und Methoden

In den Jahren 2010 bis 2013 wurden Feldversuche im Einzugsgebiet der süddeutschen Zuckerwirtschaft mit Varianten zur N, K und S-Düngung mit insgesamt 114 Umwelten angelegt und Ertrag und Qualität der Zuckerrübe, sowie die in Rübe und Blatt enthaltenen Nährstoffe untersucht. Die Ergebnisse werden mit älteren Untersuchungsergebnissen von Feldversuchen des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH) zur Düngung von Zuckerrüben verglichen (Heyn und Horst, 2003), die u. a. in den Faustzahlen für die Landwirtschaft (KTBL, 2005), sowie im Bundesgesetzblatt zur Düngeverordnung, 2007, ihren Niederschlag finden.

3. Ergebnisse

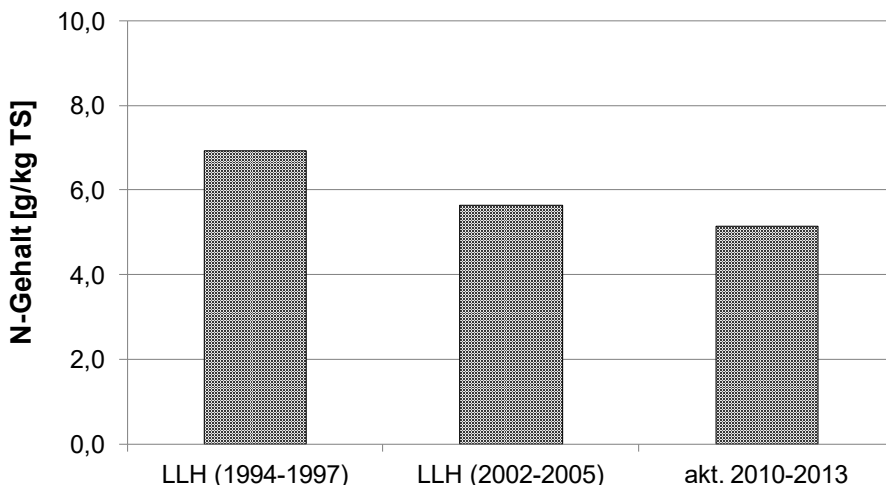


Abb. 2: Stickstoffgehalt der Rübe in Versuchen des Landesbetriebs Landwirtschaft Hessen (LLH) sowie der aktuellen Versuchsserie 2010-2013.

Teilergebnisse der Untersuchungen der Rübe zeigen, dass der Stickstoffgehalt im Zeitverlauf kontinuierlich von annähernd 7 g/kg auf rund 5 g/kg TS abgenommen hat (Abb. 2).

4. Fazit

Bei gestiegenen Rübenerträgen und abnehmenden Nährstoffgehalten in der Rübe hat sich die Stickstoffaufnahme der Rübe praktisch nicht verändert. Detaillierte Ergebnisse, vor allem auch zu anderen Nährstoffen sowie den im Blatt enthaltenen Nährstoffmengen werden demnächst mitgeteilt.

5. Literaturangaben

Bundesgesetzblatt, 2007: Teil I Nr. 7, Bekanntmachung der Neufassung der Düngeverordnung, 220-240.

Heyn, J., Horst, H., 2003: Zur Nährstoffaufnahme durch Zuckerrüben. VDLUFA-Kongressband, 383-389.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), 2005: Faustzahlen für die Landwirtschaft.

Winner, C., 1982: Zuckerrübenanbau. DLG-Verlag Frankfurt.

Entwicklung einer Beprobungsmethode zur Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik nach Gülleinjektion in Maisfeldversuchen

M. Westerschulte, C. Federolf, H. Pralle, D. Trautz, H.-W. Olf
Hochschule Osnabrück, Osnabrück

1. Einleitung

Zur Optimierung der Stickstoffnutzungseffizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern im Maisanbau kommt zunehmend deren streifenförmige Injektion unter die spätere Maisreihe zum Einsatz (Ahmed et al., 2012, Schmitt et al., 1995, Schröder et al., 2015). Allerdings ist für ein besseres Verständnis dieses Systems eine Beschreibung der Bodenstickstoffdynamik notwendig (Dell et al., 2011). Aufgrund der hohen N_{\min} -Konzentrationsunterschiede zwischen dem Injektions- und dem ungedüngten Zwischenreihenbereich und weil das „Gülleband“ von der Oberfläche aus nicht exakt geortet werden kann, ist die Anwendung des üblichen Bohrstockverfahrens zur Charakterisierung der Boden-N-Dynamik nicht möglich. Deshalb wurde in drei aufeinander aufbauenden Feldversuchen eine Methode entwickelt, die eine verlässliche Darstellung der räumlichen und zeitlichen Boden-N-Dynamik ermöglicht. Dabei fand die N-Umsetzung im Injektionsbereich, die Verlagerung in den Zwischenreihenbereich und eine Beprobungstiefe bis 90 cm Berücksichtigung.

2. Material und Methoden

2.1 Die neue Bodenbeprobungsmethode

Das Ziel war eine rasterartige Beschreibung der N_{\min} -Konzentrationen im Bodenprofil. Dafür wurde das Standard-Bohrstockverfahren mit einer Bodenmonolithbeprobung mittels speziell angefertigter Metallschaufel (15 cm hoch, 15 cm breit, 10 cm tief) kombiniert (vgl. Abb. 1).

Die Beprobung im Zwischenreihenbereich erfolgte mit einem Pürkhauer-Bohrstock im Abstand von 15 und 30 cm zur Reihe (Abb. 1; B 15 und B 30). Die Proben von links und rechts der Reihe wurden zu Mischproben zusammengefasst und in drei Schichten differenziert (Oben: 0-30 cm; Mitte: 30-60 cm; Unten: 60-90 cm).

Unterhalb der Maisreihe wurde eine ca. 30-40 cm tiefe Profilgrube angelegt, um mittels der Metallschaufel die Bodenmonolithe oberhalb, im und unterhalb des Güllebandes zu entnehmen. Zur Beprobung unterhalb des dritten Bodenmonolithen kam wiederum der Bohrstock bis in 90 cm Tiefe zum Einsatz (Abb. 1; B0).

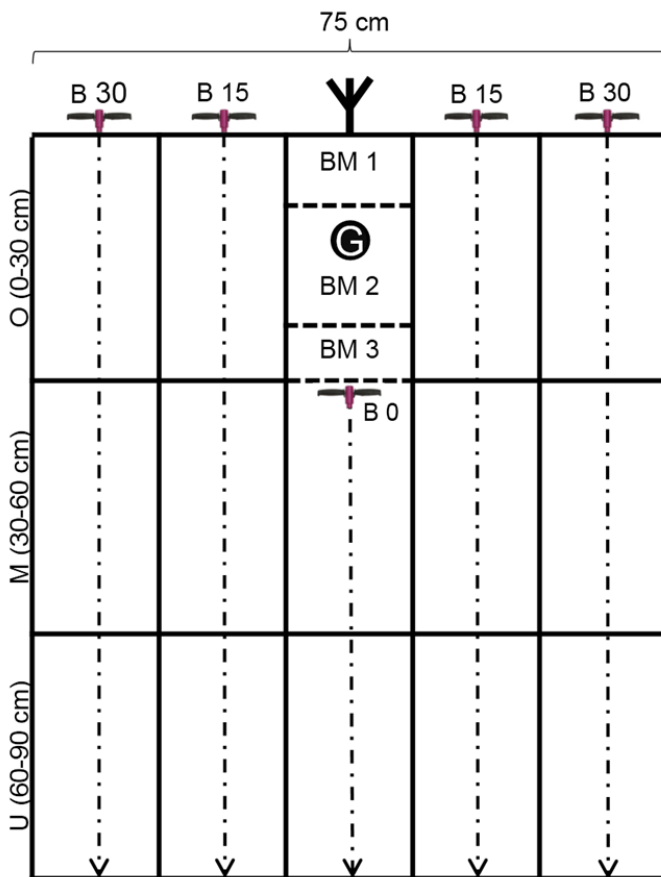


Abb. 1: Schema der rasterartigen Bodenbeprobung; BM = Bodenmonolith; B 15 / 30 = Bohrstock mit 15 / 30 cm Distanz zur Maisreihe; O / M / U = Oben / Mitte / Unten

2.2 Entwicklungsversuch

Der Entwicklungsversuch wurde 2013 auf einem Gley-Podsol (Bodenart: Sand) in Wehnen durchgeführt. Dabei wurde eine Gülleinjektions-Variante aus einem bestehenden Mais-Düngungsversuch mit insgesamt elf Varianten (randomi-

sierte Blockanlage, vier Wiederholungen) ausgewählt. Die Parzellen bestanden aus vier Maisreihen mit einem Reihenabstand von 75 cm. In der ausgewählten Variante erfolgte am 07.05.2013 die Injektion von 48 m³/ha (125 kg NH₄-N/ha) Mastschweinegülle in eine Tiefe von 14 cm (Oberkante). Das Gülleband war ca. 7 cm hoch und 6 cm breit. Die Maisaussaat fand drei Tage später am 10.05.2015 statt.

Die Bodenbeprobungen wurden zum Nachauflauf (23 Tage nach Injektion (TNI)) und 10-Blatt-Stadium (64 TNI) entsprechend Abb. 1 in einer der beiden Kernreihen pro Parzelle und in allen Wiederholungen durchgeführt. Im Zwischenreihenbereich wurden Mischproben aus jeweils einem Bohrstock links und rechts, aufgeteilt in die drei Tiefen, entnommen. Anschließend erfolgte die Entnahme eines Bodenmonolithen pro Wiederholung für jede der drei Tiefen (0-10 cm, 10-25 cm, 25-40 cm). Für die Bohrstöcke unterhalb der BM-Entnahme wurden wiederum zwei Bohrstockproben pro Mischprobe gezogen. Dabei wurden die Bohrstöcke bei der ersten Beprobung (23 TNI) noch durch das Gülleband geschlagen und bei der zweiten Beprobung (64 TNI) unterhalb der Bodenmonolithentnahme eingeschlagen. Alle Bodenproben wurden in Eimern gesammelt, intensiv von Hand homogenisiert, auf 5 mm gesiebt und anschließend direkt eingefroren.

2.3 Optimierungversuch

Die Durchführung des Optimierungsversuches erfolgte im Herbst 2013 nach der Maisernte auf einem Gley (Bodenart: Sand) in Wallenhorst-Lechtingen. Dabei wurde am 29.11.2013 ein einfaches, 16 m langes Gülleband (25 m³/ha Mastschweinegülle; 105 kg NH₄-N/ha) in eine Tiefe von ca. 17 cm (Oberkante) injiziert. Dieses war ca. 5 cm breit und 7 cm hoch. Die Bodenbeprobung fand 5 TNI bis in eine Tiefe von 60 cm statt. Dabei wurden links und rechts des Güllebandes jeweils 32 Bohrstockproben (differenziert in 0-30 cm und 30-60 cm) erhoben, um die Streuung der N_{min}-Gehalte links und rechts der Injektionszone charakterisieren zu können. Acht Bodenmonolithentnahmen wurden gleichmäßig verteilt entlang dem Gülleband in den Tiefen 0-10 cm (BM 1), 10-25 cm (BM 2) und 25-30 cm (BM 3) durchgeführt. Die Aufbereitung der Proben erfolgte analog zum Entwicklungsversuch. Bei den Bodenmonolithentnahmen wurde allerdings der gesamte Probenumfang in Teilproben (ca. 250-350 g) aufgeteilt, um die Homogenisierungsqualität überprüfen zu können. Das ergab sechs Teilproben pro BM 1, zehn Teilproben pro BM 2 und vier Teilproben pro BM 3.

2.4 Validierungsversuch

Der Validierungsversuch wurde 2014 auf einem Plaggenesch-Podsol (Bodenart: Sand) in Wallenhorst-Hollage durchgeführt. Wie im Entwicklungsversuch wurde eine Variante aus einem bestehenden Mais-Düngungsversuch (randomisierte Blockanlage; vier Wiederholungen) mit insgesamt sechs Varianten ausgewählt. Jede Parzelle bestand wiederum aus vier Maisreihen mit 75 cm Reihenabstand. In der ausgewählten Variante wurden am 11.04.2014 23 m³/ha (127 kg NH₄-N/ha) Mastschweinegülle in eine Tiefe von 12 cm (Oberkante) injiziert. Das Gülle-Band war ca. 5 cm hoch und 5 cm breit. Die Maisaussaat erfolgte am 25.04.2015.

Die Bodenbeprobungen wurden zum Nachauflauf (24 TNI) und 10-Blatt-Stadium (61 TNI) entsprechend Abbildung 1 in beiden Kernreihen durchgeführt. Es wurden zwölf Bohrstöcke pro Mischprobe für jeden Beprobungsbereich, per Schablone gleichmäßig auf beide Kernreihen aufgeteilt, entnommen. Die Bodenmonolith-Entnahme erfolgte in Tiefen von 0-8 cm (BM 1), 8-23 cm (BM 2) und 23-30 cm (BM 3). Es wurden sechs Bodenmonolithe (drei pro Kernreihe) je Tiefe und Parzelle in einzelnen Eimern entnommen.

Die Homogenisierung der Bohrstockproben fand direkt mittels elektrischem Handmixer (handelsüblicher Küchenmixer) statt. Die einzelnen Bodenmonolithe wurden zunächst von Hand homogenisiert, wobei größere, sichtbare Wurzeln entfernt wurden. Anschließend kam ebenfalls der elektrische Handmixer zum Einsatz. Daraufhin wurden ca. 300 ml von den sechs einzelnen Bodenmonolithen entnommen, zu einer Mischprobe zusammengeführt und wiederum mittels Handmixer homogenisiert. Letztlich wurden die Proben auf 5 mm gesiebt und ca. 300-400 g Boden pro Probe eingefroren.

2.5 Bodenanalyse

Die gefrorenen Bodenproben wurden bei 4 °C aufgetaut und anschließend mittels Calciumchloridlösung ($c(\text{CaCl}_2) = 0,0125 \text{ mol/l}$) bei einem 1:4 Masse-Volumen-Verhältnis extrahiert. Letztlich erfolgte die Bestimmung der NH₄-N- und NO₃-N-Gehalte spektrophotometrisch und daran die Berechnung der Konzentration an mineralischem N ($\text{mg N}_{\text{min}}/\text{kg Boden}$).

2.6 Statistik

Für die Beschreibung der mittleren N_{\min} -Konzentrationen wurde das arithmetische Mittel verwendet. Die Streuung dieser Konzentrationen wurde mittels Variationskoeffizienten bzw. der Min.-Max.-Spanne dargestellt. Die Definition und der anschließende Ausschluss von Ausreißern basierte auf dem Grubbs-Test (zweiseitig; 5 % Signifikanzniveau). Der notwendige Stichprobenumfang (n) wurde nach Gomez und Gomez (1984) bestimmt. Danach gilt:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2}{d^2} \times \frac{VK(\%)^2}{10000}$$

wobei:

Z_{α} = Wert der Standardnormalverteilung bei Signifikanzniveau α ,

d = akzeptierte Fehlerspanne (%-Abweichung vom Mittelwert),

VK = Variationskoeffizient.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Entwicklungsversuch

Die Ergebnisse des Entwicklungsversuches zeigen, dass der methodische Ansatz grundsätzlich geeignet ist (vgl. Abb. 2). Beim ersten Beprobungstermin (23 TNI) konnte der Bereich des Güllebandes mit 237 mg N_{\min} pro kg Boden deutlich gekennzeichnet werden. Tendenziell fielen die Konzentrationen zum Zwischenreihenbereich und mit zunehmender Bodentiefe ab. Die erhöhte Konzentration im Bereich oberhalb des Güllebandes (57 mg/kg) ließ auf ein leichtes „Hochdrücken“ der Gülle während der Injektion zurückschließen. Auffällig und unrealistisch war, dass die Konzentration im Bereich des dritten Bodenmonolithen (29 mg/kg) geringer ist, als im darunter liegenden Raster (51 mg/kg). Das konnte auf eine N_{\min} -Verschleppung entlang des Bohrstocks (B 0) aufgrund des Durchschlagens des Güllebandes zurückgeführt werden. Dies wurde im Folgenden bei der Probenahme zum 10-Blatt-Stadium vermieden. Zum zweiten Beprobungstermin (64 TNI) ist die Konzentration im Injektionsbereich durch Pflanzenentzüge und Verlagerungsprozesse deutlich abgefallen (19 mg/kg). In der mittleren und unteren Bodenschicht sind die Konzentrationen angestiegen. Weiterhin fielen die Gehalte zum

Zwischenreihenbereich hin tendenziell ab. Insgesamt ließ sich die räumliche und zeitliche Dynamik nachvollziehbar darstellen.

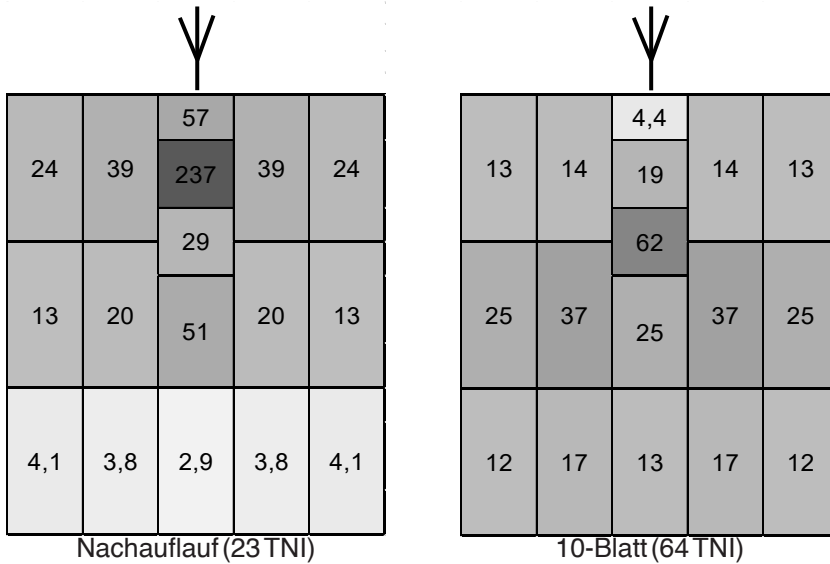


Abb. 2: N_{min}-Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Entwicklungsversuch; TNI = Tage nach Injektion

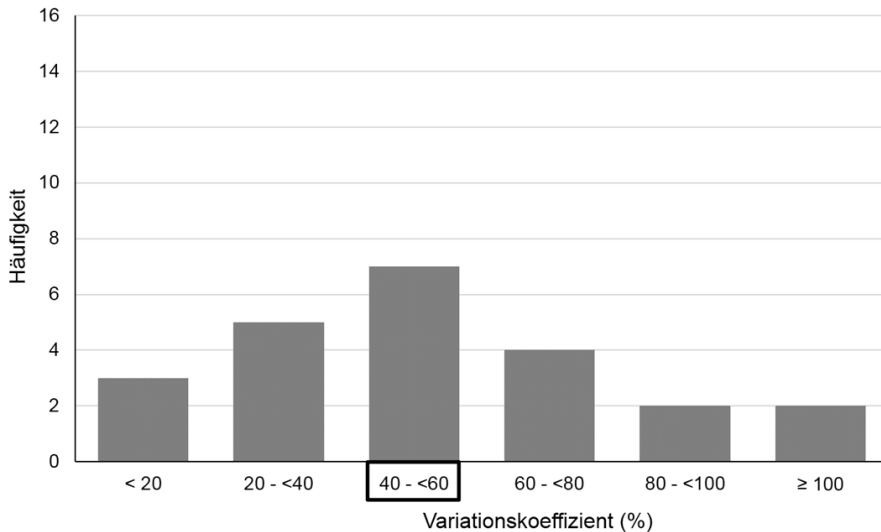


Abb. 3: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{min}-Konzentrationen beider Beprobungstermine des Entwicklungsversuches

Allerdings gab es Probleme mit starken Streuungen der Werte zwischen den Wiederholungen, was sehr hohe Variationskoeffizienten zur Folge hatte (vgl. Abb. 3). Diese lagen überwiegend zwischen 40-60 %. Dadurch wurde eine statistische Absicherung der Ergebnisse und somit deren Aussagekraft deutlich eingeschränkt.

Mögliche Ursachen (z. B. mangelhafte Probenhomogenisierung, zu geringer Stichprobenumfang) wurden im Optimierungsversuch analysiert.

3.2 Optimierungsversuch

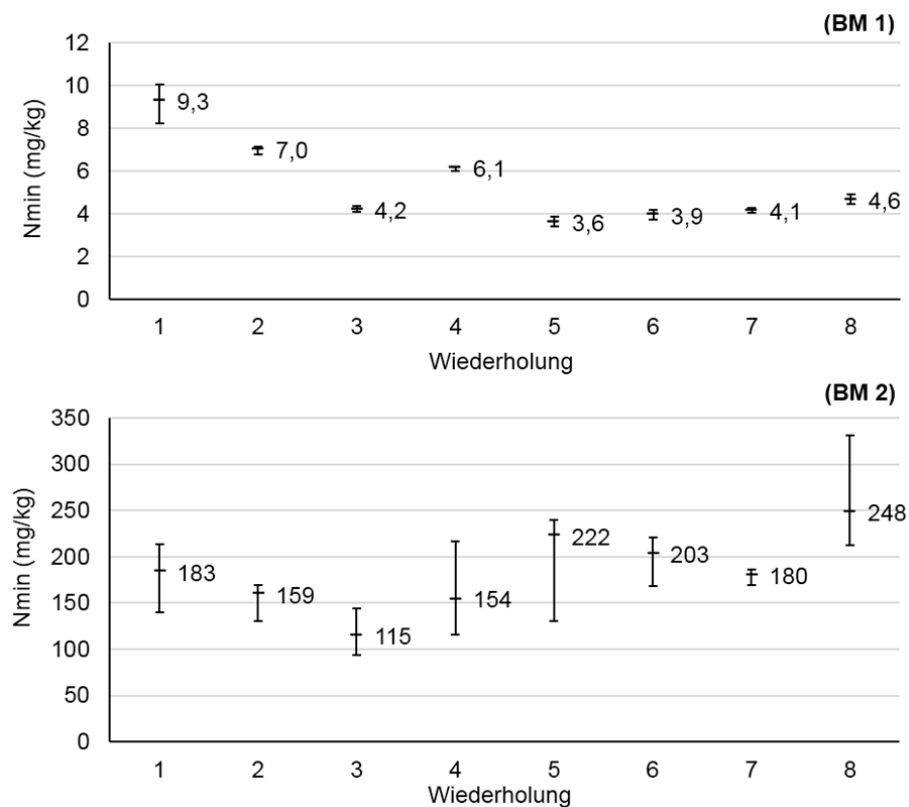


Abb. 4: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min. - Max.) der N_{min}-Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben der Bodenmonolithe des Optimierungsversuches; BM 1=0-10 cm Tiefe; BM 2=10-25 cm Tiefe

Die Überprüfung der Homogenisierungsqualität ergab, dass außerhalb des direkten Injektionsbereiches eine Durchmischung des Probenmaterials von

Hand und anschließendes Sieben auf 5 mm ausreichend war. Dies konnte aus den sehr geringen Spannen der N_{\min} -Konzentrationen von den Teilproben der homogenisierten Bodenmonolithe, die oberhalb des Güllebandes entnommen wurden, gefolgert werden (vgl. Abb. 4; BM 1).

Im Bereich des Güllebandes (BM 2) stellte sich dies völlig anders dar. Die Werte innerhalb eines homogenisierten Bodenmonolithen streuten so stark, dass die interne Streuung z. T. größer war als die Streuung zwischen den Wiederholungen (vgl. Abb. 4; BM 2). Dies ist möglicherweise auf die Bildung von Gülle-Boden-Verbindungen zurückzuführen, die eine intensivere Durchmischung erfordern.

Zur Ableitung des notwendigen Stichprobenumfanges pro Mischprobe ergibt sich nach Gomez und Gomez (1984) der in Abbildung 5 dargestellte Zusammenhang. Bei einem definierten Signifikanzniveau ($\alpha = 10\%$) und je nach akzeptierter Fehlerspanne (%-Abweichung vom Mittelwert: d) kann in Abhängigkeit vom empirisch erhobenen Variationskoeffizienten (VK (%)) auf den notwendigen Stichprobenumfang geschlossen werden.

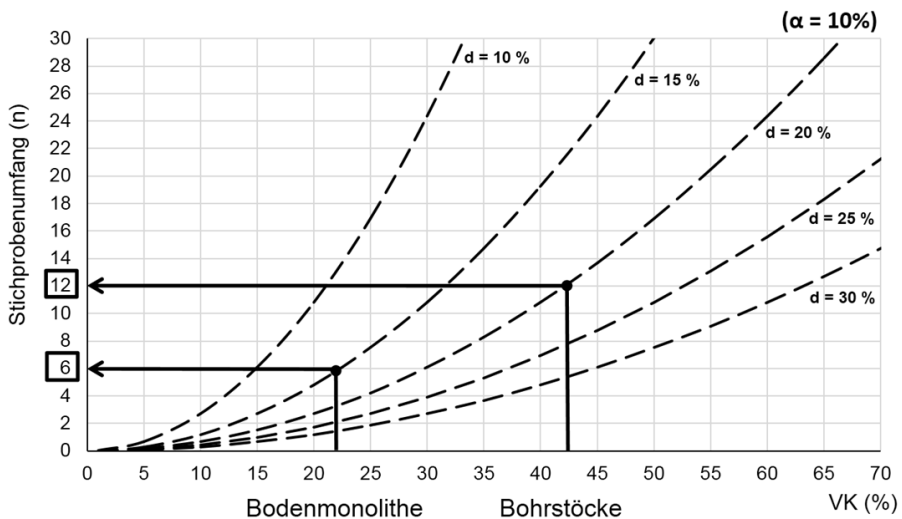


Abb.5: Ableitung der notwendigen Stichprobenumfänge (nach Gomez und Gomez 1984); VK = Variationskoeffizient; d = akzeptierte Fehlerspanne um den Mittelwert; α = Signifikanzniveau

Da im Bereich der Bodenmonolithe gerade zu Vegetationsbeginn sehr hohe N_{\min} -Konzentrationen vorliegen und weil die N-Umsetzung im direkten Bereich des Güllebandes von besonderem Interesse ist, wurde eine Fehlerspanne von lediglich $d = 15 \%$ um den Mittelwert akzeptiert. Der erhobene VK von $\approx 22 \%$ führte somit zu einem notwendigen Stichprobenumfang von sechs Bodenmonolithen pro Mischprobe. Da die Konzentrationen in den Bereichen der Bohrstockbeprobung i. d. R. wesentlich geringer sind, wurde in diesem Fall eine Fehlerspanne von $d = 20 \%$ akzeptiert. Der erhobene VK von $\approx 43 \%$ führte somit zu einem notwendigen Stichprobenumfang von zwölf Bohrstöcken pro Mischprobe.

3.3 Validierungsversuch

Im Validierungsversuch erfolgte die Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse. Der Stichprobenumfang wurde im Vergleich zu den beiden vorhergehenden Versuchen erhöht und für eine bessere Homogenisierung wurde ein elektrischer Handmixer verwendet. Weiterhin wurde die Beprobung auf beide Parzellen-Kernreihen verteilt, um mögliche Unterschiede zwischen den Injektionsscharen auszugleichen. Außerdem wurde die Gesamt-Beprobungstiefe der drei Bodenmonolithe auf 0-30 cm beschränkt, um eine bessere Vergleichbarkeit mit der üblichen 0-30 cm Schichtdicke zu gewährleisten.

Die Ergebnisse bestätigen die grundlegenden Erkenntnisse aus den vorhergehenden Versuchen. Beim ersten Beprobungstermin (24 TNI) konnte der Injektionsbereich mit sehr hohen N_{\min} -Konzentrationen (170 mg/kg) gekennzeichnet werden (Abb. 6). Leichte N_{\min} -Verlagerungen hatte es bis zu diesem Termin in den Bereich des 3. Bodenmonolithen gegeben (34 mg/kg). Wiederum fielen die Konzentrationen zum Zwischenreihenbereich und mit zunehmender Tiefe ab.

Bis zum 6-Blatt-Stadium (61 TNI) hatte es starke Niederschläge gegeben, wodurch es zu deutlichen N_{\min} -Verlagerungen unterhalb der Maisreihe kam. Dadurch und durch den Pflanzenentzug sind die Konzentrationen im Injektionsbereich deutlich abgefallen (34 mg/kg; Abb. 6). Eine N_{\min} -Verlagerung in den Zwischenreihenbereich war nur in sehr geringem Maße festzustellen.

Die Homogenisierungsqualität im Bereich des Güllebandes (BM 2) konnte im Vergleich zum Ergebnis des Optimierungsversuches durch den elektrischen Handmixer deutlich verbessert werden. Das wird bei Betrachtung der Spannen

der N_{min} -Konzentrationen der Teilproben in Abbildung 7 deutlich. Diese liegen alle <5% vom Mittelwert der jeweiligen Wiederholung.

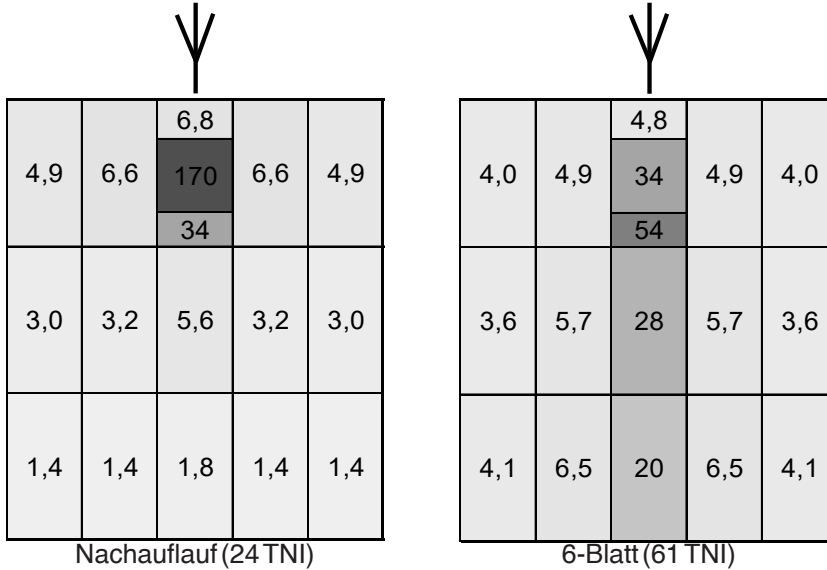


Abb. 6: N_{min} -Konzentrationen (mg/kg) im Bodenprofil zu zwei Beprobungsterminen im Validierungsversuch; TNI = Tage nach Injektion

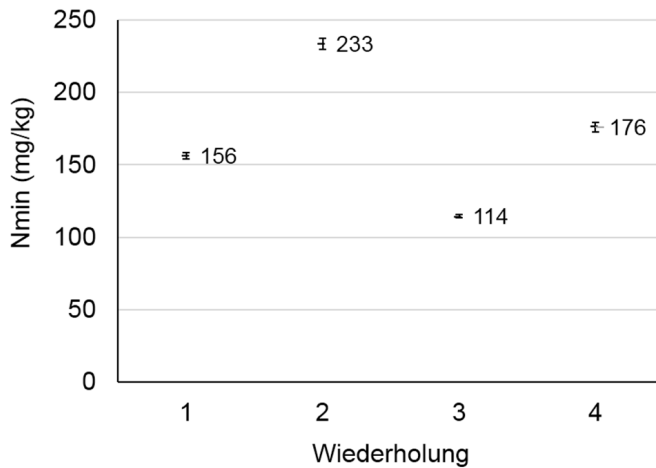


Abb. 7: Arithmetisches Mittel und Spanne (Min. – Max.) der N_{min} -Konzentrationen (mg/kg) von den Teilproben des mittleren Bodenmonolithen (BM 2; 8-23 cm Tiefe) des Validierungsversuches zum Nachauflauf-Beprobungstermin (24 TNI)

Außerdem konnte durch die beschriebenen Optimierungsmaßnahmen die Streuung zwischen den Wiederholungen deutlich verringert werden. Das veranschaulichen die Variationskoeffizienten, die in diesem Versuch überwiegend < 20 % lagen (vgl. Abb. 8). Folglich wurde die Datenqualität stark verbessert und dadurch die Aussage der erhobenen Werte deutlich gesteigert.

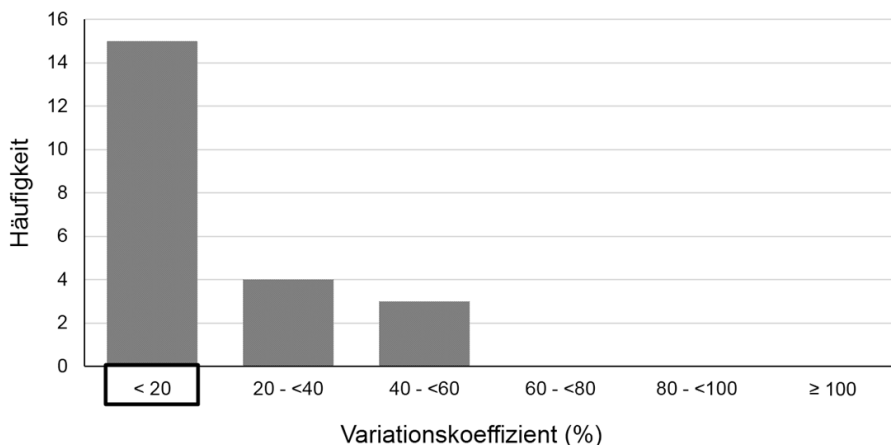


Abb. 8: Verteilung der Variationskoeffizienten (%) der N_{\min} -Konzentrationen beider Beprobungstermine des Validierungsversuches

4. Fazit

Die neue Bodenbeprobungsmethode ermöglicht eine repräsentative Beschreibung der räumlichen und zeitlichen Boden- N_{\min} -Dynamik bei Gülleinjektion unter die Maisreihe. Durch die entwickelte Metallschaufel ist eine genaue Charakterisierung des Injektionsbereiches bis in 30 cm Tiefe möglich. Darunter und im Zwischenreihenbereich ist der Pürkhauer-Bohrstock zur Beprobung geeignet. Wichtig sind eine intensive Homogenisierung der Probe aus dem direkten Bereich des Güllebandes und die Einhaltung des notwendigen Stichprobenumfanges. Das Durchschlagen des hochkonzentrierten Güllebandes mit dem Bohrstock ist zu vermeiden. Die Methode kann auf andere Reihenkulturen und -abstände übertragen werden.

5. Literaturangaben

- Ahmed, S.I., Mickelson, S.K., Pederson, C.H., Baker, J.L., Lorimor, J.C., Weber, D.F., 2012: Swine manure rate, timing, and application method effects on post-harvest soil nutrients, crop yield, and potential water quality implications in a corn-soybean rotation. *Trans. ASABE* 56, 395-408.
- Dell, C.J., Meisinger, J.J., Beegle, D.B., 2011: Subsurface application of manure slurries for conservation tillage and pasture soils and their impact on the nitrogen balance. *J. Environ. Qual.* 40, 352-361.
- Gomez, K.A., Gomez, A.A., 1984: *Statistical procedures for agricultural research*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., Canada, pp. 534-535.
- Schmitt, M.A., Evans, S.D., Randall, G.W., 1995: Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. *J. Prod. Agric.* 8, 186-189.
- Schröder, J.J., Vermeulen G.D., von der Schoot, J.R., van Dijk, W., Huijsmans, J.F.M., Moeffels, G.J.H.M., van der Schans, D.A., 2015: Maize yields benefit from injected manure positioned in bands. *Eur. J. Agron.* 64, 29-36.

6. Danksagung

Die Studie war Teil des Forschungsprojektes „Optimierung der Stickstoff- und Phosphat-Effizienz aus flüssigen organischen Wirtschaftsdüngern durch „Depot-Applikation“ zur Verminderung der Umweltbelastung“, welches durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanziert wurde.

Prüfung alternativer Labormethoden mit dem Ziel der Bewertung der N-Düngewirkung organischer Dünger

F. Ebertseder^{1,2}, E. Homeier³, D. Lohr³, K. Fischer-Kaiser², G. Henkelmann², Ch. Haas¹, S. von Tucher¹, H. Heuwinkel³

¹Lehrstuhl für Pflanzenernährung, Technische Universität München, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ³Hochschule Weihenstephan-Triesdorf

1. Einleitung

Organische Dünger unterscheiden sich in ihrer N-Düngewirkung zum Teil erheblich. Wobei dies sowohl von dem Anteil an mineralischen Stickstoffverbindungen im Wirtschaftsdünger als auch von der Menge und Qualität der organischen Substanz abhängig ist. Bisher wird diese N-Düngewirkung anhand folgender Parameter bewertet: Menge und Anteil $\text{NH}_4\text{-N}$, Gesamt-N (N_t), C/N-Verhältnis der organischen Substanz, oder aber die Wirkung wird gleich in Mineraldüngeräquivalenten ausgedrückt (Gutser, et al., 2005; Lichti und Wendland, 2013).

Um den Einsatz organischer Dünger möglichst effizient und umweltschonend gestalten zu können, ist eine belastbare Prognose der kurz- aber auch mittelfristigen N-Düngewirkung entscheidend. Erfahrungen aus der Praxis sowie Erkenntnisse aus vorangegangenen wissenschaftlichen Untersuchungen stellen zum einen die sehr unterschiedliche kurz- und langfristige N-Düngewirkung unterschiedlicher Wirtschaftsdünger heraus, zum anderen thematisieren sie die hohe Schwankungsbreite formal gleicher Dünger (Gutser et al., 2005). In Einzeluntersuchungen fallen zudem immer wieder organische Dünger auf, die z.B. bei gleich hohem Anteil $\text{NH}_4\text{-N}$ am Gesamt-N im Pflanzenversuch signifikant unterschiedliche Erträge liefern. Dabei werden die Ursachen u.a. in stark differierenden Nährstoffgehalten bei gleicher Menge applizierten $\text{NH}_4\text{-N}$ sowie in der unterschiedlichen Zusammensetzung und Qualität der organischen Substanz vermutet (Gutser et al., 2010).

Dies zeigt, dass die oben genannten Parameter nicht ausreichend sind, um die N-Wirkung organischer Dünger hinreichend abzuschätzen.

Die Zielstellung dieser Arbeit ist es, neue, einfache Messgrößen auf ihre Eignung zur Beschreibung der Variabilität von Güllen und Gärresten zu über-

prüfen, um in einem zweiten Schritt zu prüfen, ob sie die N-Düngewirkung im Vergleich zu den üblichen Parametern besser beschreiben.

Dabei wurden folgende Anforderungen an die neuen Parameter gestellt:

1. Einfach und reproduzierbar;
2. Abbildung der Variabilität im Probensortiment im Allgemeinen;
3. Beschreibung spezifischer Unterschiede in der „Qualität“ der organischen Substanz;
4. Verbesserung der Prognose der N-Düngewirkung.

2. Material und Methoden

2.1 Biogasgärreste und Gülle

Die Biogasgärreste und Gülle stammen aus unterschiedlichen Betrieben, die am Biogas-Pilotanlagen-Monitoringprogramm der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft teilnehmen (Bachmaier et al., 2011 und Ebertseder et al., 2012). Im Folgenden werden diese mit fortlaufenden Nummern und der Bezeichnung „BGR“ (Gärrest) bzw. „Gülle“ gekennzeichnet.

Insgesamt wurden 10 Rindergülle (9 Milchvieh, 1 Bullenmast) und 14 Biogasgärreste untersucht, wobei zwei der Biogasanlagen mit Mist und 12 Anlagen mit Gülle als Wirtschaftsdüngeranteil im Einsatzstoffmix betrieben wurden. Zwei Proben wurden aus der Untersuchung herausgenommen, da hier die Probenahme nicht korrekt durchgeführt wurde.

2.2 Titration

Als erste alternative Untersuchungsgröße zur besseren Prognose der Düngewirkung bzw. zur Bewertung der Qualität der organischen Substanz, wurde eine Titration getestet.

Hierzu wurden die Gülle und Gärreste mit 0,05 molarer Schwefelsäure von ihrem jeweiligen Ausgangs pH-Wert auf einen pH-Wert von 4,0 titriert. Dies erfolgte sequentiell je nach Puffervermögen in Zugabeschritten von 0,2 bis 2,0 ml Säure, wobei nach jeder Zugabe der neue pH-Wert festgehalten wurde. Dabei wurde von Ebertseder (2015) in einer Untersuchung vermutet, dass mit dieser bisher so noch nicht verwendeten Methode über den Säureverbrauch

in der Titration ein Rückschluss auf die Hydrolyseneigung und somit auf die N-Verfügbarkeit der organischen Substanz in den Wirtschaftsdüngern möglich ist. Annahme ist dabei, dass die mit der Höhe der verbrauchten Schwefelsäure zunehmende Hydrolysierung zu wichtigen Teilen endständige Aminogruppen erfasst und somit auf die Verfügbarkeit von Norg rückgeschlossen werden kann. Dies insbesondere, da ab einem pH-Wert unter 6 der sicherlich vorhandene Karbonatpuffer aufgebraucht ist (Sommer und Husted, 1995; Hecht, 2008). Allerdings ist noch mit weiteren Puffersystemen wie dem Phosphatpuffer oder der puffernden Wirkung organischer Säuren zu rechnen. Aus diesem Grund kann dieser Parameter allein nur als ein qualitativer Beleg für die Verfügbarkeit von N verstanden werden, dessen Stärke jedoch in der einfachen Ermittlung und der direkten Vergleichbarkeit mehrerer Proben liegt (Ebertseder, 2015).

2.3 Oxidation

Des Weiteren wurde versucht mit einem anderen Ansatz die Verfügbarkeit bzw. Stabilität des C_{org} näher zu beschreiben, um darauf einen Qualitätsparameter für die Interpretation einer N-Düngewirkung aufzubauen. Dabei kam ein Mehrphasen-Kohlenstoffanalysator zur mengenmäßigen Bestimmung des Kohlenstoffgehalts zur Anwendung. Manning et al. (2005) sowie Peltre et. al. (2013) berichten, dass diese Art der thermischen Analyse bei organischen Böden geeignet ist, um die verschiedenen Formen und Mengen des Kohlenstoffs zu unterscheiden. Des Weiteren wird von ihnen postuliert, dass die relativ labile Zellulose zwischen 300 und 350 °C und das stabilere Lignin zwischen 400 und 650 °C zersetzt wird. In dieser Arbeit wurden zur differenzierten Analyse verschiedene Temperaturschritte, welche von Erfahrungswerten aus Voruntersuchungen abgeleitet wurden (200, 225, 250, 275, 300, 400, 500, 600 und 1000 °C) frei gewählt. Dabei wird davon ausgegangen, dass mit steigender Temperaturstufe die Stabilität der erfassten C-Fraktion zunimmt und mit der C-Menge und dem Anteil der einzelnen Fraktionen eine Qualitätsunterscheidung, sowie ein Hinweis auf die Interpretation der N-Düngewirkung der organischen Dünger möglich wird. Bewusst wurde in Anlehnung an die aeroben Umsatzbedingungen im Boden eine Verbrennung unter Sauerstoff gewählt. Die quantitative Bestimmung des gebildeten Kohlenstoffdioxids erfolgte über Infrarotsensoren. Die Auswertung erfolgte mit der gerätespezifischen Software.

Da die geprüften organischen Dünger unterschiedlich hohe TS-Gehalte aufwiesen, galt es Probleme durch ein plötzliches Sieden des Wassers in der Probe zu

vermeiden. Dazu wurden den Proben je nach Viskosität unterschiedliche Mengen an gereinigtem Quarzsand beigemischt. Das jeweilige Gemenge wurde homogenisiert, um daraus die zu analysierende Proben in zweifacher Wiederholung zu ziehen. Die Messergebnisse sind auf die unterschiedlichen Sand/Dünger-Verhältnisse umgerechnet und in der einheitlichen Bezugsgröße mg C/g TM dargestellt. In den Ergebnissen ist zu berücksichtigen das CO_2 , das bei Temperaturen oberhalb von 600°C gebildet wird auch karbonatischen Ursprungs sein kann. Diesem wurde in dieser Untersuchung keine weitere Beachtung geschenkt, da es in der Untersuchung nur von marginaler Bedeutung war.

2.4 Untersuchung von Standardmessgrößen zur N-Verfügbarkeit

Die Gehalte an $\text{NH}_4\text{-N}$ wurden durch Destillation mit Natronlauge bestimmt. Der Gesamt-N (N_t) wurde nach der Kjeldahl-Methode durch Destillation im Anschluss an den Aufschluss mit Schwefelsäure (H_2SO_4) gemessen. Daraus wurde anschließend der organische N berechnet, der sich aus der Differenz zwischen N_t und $\text{NH}_4\text{-N}$ ergibt (VDLUFA, 1995).

2.5 Statistik

Die statistische Auswertung, wie das multiple lineare Regressionsmodell und die Hauptkomponentenanalyse, erfolgte mit der Software The Unscrambler X[®]. Als Signifikanzniveau wurde $p \leq 5\%$ gewählt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die verwendeten 22 Gärresten und Güllen zeigen nach der Untersuchung und innerhalb der „klassischen“ Parametern, wie zu erwarten war, eine große Streuung auf (Tabelle 1). Dies würde eine unterschiedliche N-Düngewirkung prognostizieren.

Die Daten zur thermischen Oxidation gewinnen deutlich an Aussagekraft, wenn sie einer PCA-Analyse unterzogen werden. Hierbei erklärten die ersten beiden Hauptkomponenten etwa 85% der zwischen den Proben beobachteten Varianz (nicht dargestellt). Nachdem offen ist, welche Eigenschaft die jeweilige Hauptkomponente umschreibt und es aufgrund der noch ausstehenden Ergebnisse der pflanzenbaulichen Untersuchungen nicht möglich war eine Verrechnung

Tab. 1: Variabilität der Schlüsselparameter zur Bewertung der N-Düngewirkung der untersuchten Gärreste und Güllen (n = 22).

Gärrest/ Gülle	TS	N _t	C _{org}	NH ₄ -N	NH ₄ ⁺ -N/N _t	C _{org} /N _t	C _{org} /N _{org}
n=22	[%]	--- [mg/g FM]---			-		
MW	8,0	4,7	34,3	2,7	56,3	7,7	17,3
MAX	12,6	10,2	58,2	6,4	71,2	12,0	24,4
MIN	4,7	2,8	20,2	1,4	35,7	4,5	11,8
CV (%)	27	34	29	44	16	33	21

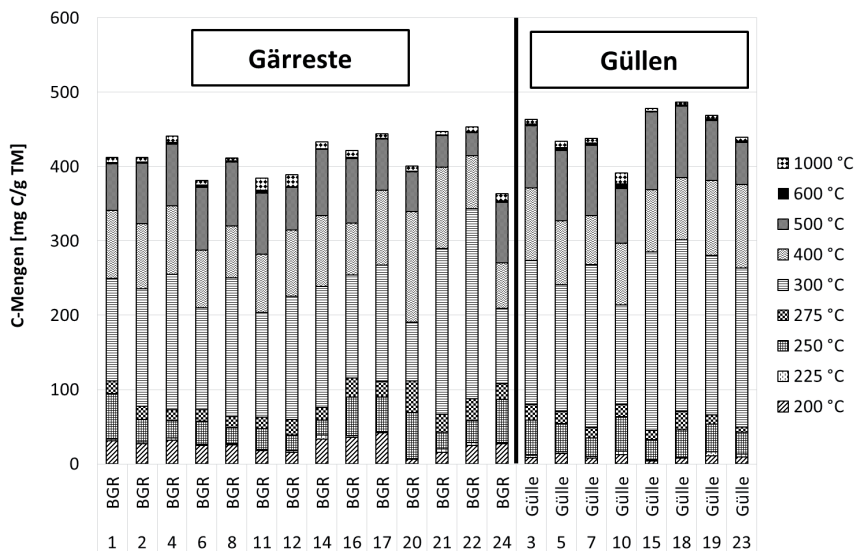


Abb. 1: Variabilität der C-Menge insgesamt und über die einzelnen Fraktionen (Temperaturstufen) der Gülle- und Gärrest-Proben (n = 22) aus der thermischen Oxidation.

mit der N-Düngewirkung durchzuführen, wurde geprüft inwieweit die Verteilung der Proben im PCA-Plot aus den Daten der Oxidation mit anderen Messgrößen in Verbindung steht. Dazu wurden die Daten zum $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt, zum Säureverbrauch und Quotienten aus $\text{NH}_4\text{-N}/\text{N}_t$ herangezogen. In allen Auswertungen gibt es Proben, die aufgrund einer deutlichen Distanz zur Platzierung der Mehrheit der Proben in ihrer Gruppe auffallen. Die Bedeutung für die Prognose der N-Düngewirkung ist an dieser Stelle völlig offen. Aber eines belegen diese Informationen deutlich: das Potenzial über die Oxidation neue Informationen zur Variation in den Probeneigenschaften zu erfassen.

Die Untersuchung der Güllen und Gärreste mittels Titration, um die hydrolysierbare organische Substanz bewerten zu können, zeigt eine deutliche Differenzierung innerhalb der Biogasgärreste (Abbildung 2). Dabei wird ein hoher Säureverbrauch in der Titration mit einer geringeren Stabilität bzw. einer leichteren Hydrolysierbarkeit der organischen Substanz interpretiert. Wir nehmen an, dass dies u.a. eine größere Verfügbarkeit von N durch die Hydrolyse z.B. endständiger Aminogruppen bedeuten könnte.

Auffallend war auch die Kinetik der Hydrolyse (Kurvenverlauf) innerhalb der Gärreste aber ganz besonders im Vergleich zu den Güllen. Der etwas unterschiedliche Start-pH erwies sich in dieser Betrachtung bei beiden als ebenso irrelevant, wie die Wirkung eines eventuell unterschiedlichen Karbonatpuffers (u.a. war die C-Menge $> 600^\circ\text{C}$ immer gering). Der Unterschied zwischen der Gärresten und Güllen war durch eine hohe Pufferung zwischen pH 6,5 und pH 5,5 bestimmt, damit unterhalb des Karbonatpuffers, die nur die Gärreste aufwiesen. Nachdem dann auch noch der Gesamtverbrauch klar zwischen beiden Düngertypen differenziert wird geschlossen, dass Gärreste einen höheren Anteil leicht hydrolysierbarer organischer Substanz im Vergleich zu den Milchviehgüllen aufwiesen. Wobei die Menge an hydrolysierbarer organischer Substanz zwischen den Gärresten außerdem noch deutlich differenziert war. Dies war so nicht erwartet worden, als doch in der Biogasanlage der leicht zersetzbare Kohlenstoff zuerst umgesetzt wird (Schieder et al., 2010). Nachdem dies aber unter anaeroben Bedingungen abläuft, ist zu vermuten, dass die Stabilität der organischen Substanz unter aeroben Bedingungen anders zu fassen wäre und damit diese Beobachtung eines großen Potenzials hydrolysierbaren C_{org} nicht auszuschließen ist. Eine Prüfung des CO_2 -Freisetzungsverlaufes aus Gärresten und Güllen während einer aeroben Inkubation, als auch die Prüfung auf andere Puffersysteme sind an dieser Stelle noch durchzuführen.

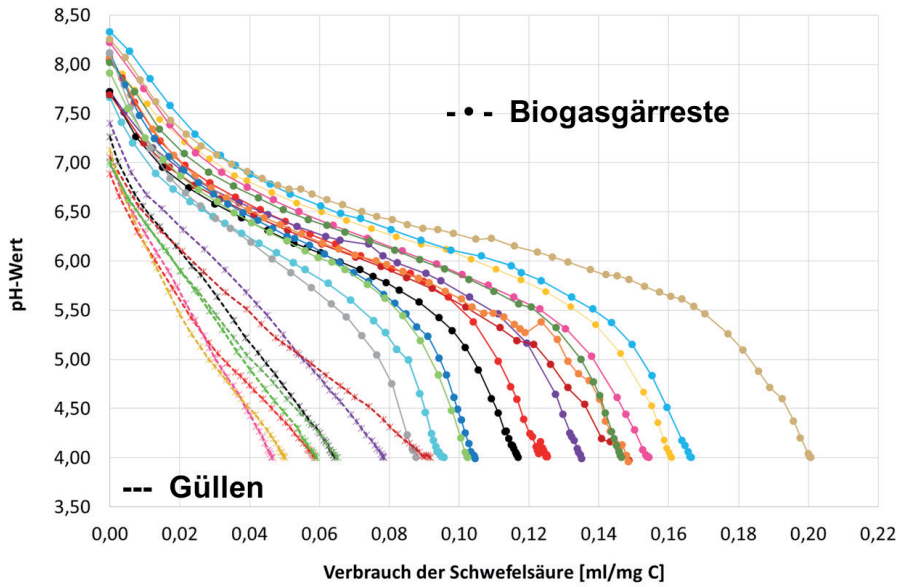


Abb. 2: Variabilität der Gülle- und Gärrest-Proben (n=22) beschrieben durch den Säureverbrauch (Verlauf und Menge) während der Titration.

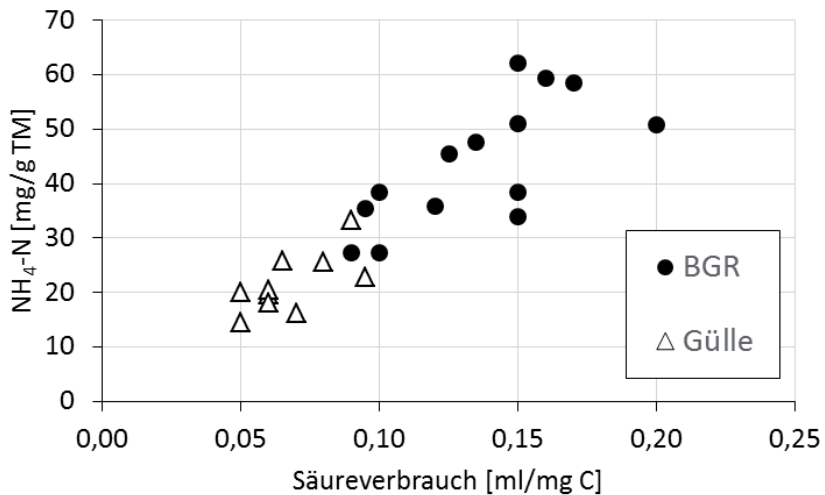


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Säureverbrauch in der Titration und der NH₄-N-Konzentration in den organischen Düngern.

Auch im Vergleich mit einer etablierten Größe, hier dem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt, können die Titrationsdaten eine zusätzliche Variation aufzeigen (Abbildung 3). So wiesen vier Proben bei einem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt von etwa 25 mg/g TM eine klare Spreizung im Säureverbrauch auf, während andere Proben im Ammonium differenzierten, bei gleichbleibendem Säureverbrauch.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse ist in den Güllen vorerst von einem geringeren Anteil an leicht zersetzbarer organischer Substanz auszugehen und somit von der Grundidee her auch eine direkte an das reine $\text{NH}_4\text{-N}$ Angebot gebundene N-Düngewirkung zu erwarten. Während bei verschiedenen Gärresten ein höherer Anteil leicht abbaubarer organischer Substanz vorhanden zu sein scheint, wodurch sich eine über das direkte $\text{NH}_4\text{-N}$ Angebot hinausgehende Düngewirkung ergeben könnte. Diese Hypothese soll in weiteren Inkubations- und Gefäßversuchen geprüft werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Zu diesem Zeitpunkt, ohne eine Überprüfung der Methoden im Pflanzenversuch, kann zusammengefasst werden, dass beide vorgestellten, alternativen Messgrößen die große Variationsbreite der Proben beschreiben. Des Weiteren enthalten diese Messgrößen eine durch bisherige Bewertungsparameter nicht beschriebene Varianz. Die Titration ermöglichte zudem eine eindeutige Differenzierung zwischen Milchviehgüllen und Biogasgärresten, deren Erklärung noch aussteht und deren Bedeutung für die Prognose der N-Düngewirkung an hergeht. Weitere Untersuchungen (Inkubationsversuch und Topfversuch) bei denen die Varianz der beiden Parameter – Titration und schrittweise Oxidation – als Selektionskriterium genutzt wurden, sind in Bearbeitung. Diese Versuche werden zeigen, ob mittels dieser Parameter die Variabilität in der N-Düngewirkung besser beschrieben werden kann.

5. Literaturangaben

Bachmaier, J., Ebertseder, F., Effenberger, M., Kissel, R., Rivera Garcia, E., Gronauer, A. (2011): Wissenschaftliche Begleitung der Pilotbetriebe zur Biogasproduktion in Bayern – Fortsetzung 2008 – 2010. LfL-Schriftenreihe 5/2011, Freising, ISSN 1611-4159.

- Ebertseder, F., Kissel, R., Rivera Gracia, E., Lehner, A., Bachmaier, H., Effenberger M. (2012): Monitoring und Dokumentation von Praxis-Biogasanlagen – Abschlussbericht. LfL-Schriftenreihe 8/2012, Freising, ISSN: 1611-4159.
- Ebertseder, F. (2015): Beurteilung der Düngewirkung von Biogasgärresten anhand pflanzenbaulicher und laboranalytischer Parameter, Masterarbeit, TUM, Freising.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizer on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168 (4), 439-446.
- Gutser, R., Ebertseder, T., Schraml, M., von Tucher, S., Schmidhalter, U. (2010): Stickstoffeffiziente und umweltschonende organische Düngung. In: Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden. KTBL-Schrift 483, 31-50.
- Hecht, M. (2008): Die Bedeutung des Carbonat-Puffersystems für die Stabilität des Gärprozesses landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Lichti, F., Wendland, M. (2013): Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. LfL-Information, 4. Auflage, Februar 2013, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- Manning, D. A. C., Lopez-Capel, E., Barker, S. (2005): Seeing soil carbon: use of thermal analysis in the characterization of soil C reservoirs of differing stability. In: *Mineralogical Magazine* 69, 425-435.
- Peltre, C., Fernandez, J. M., Craine, J. M., Plante, A.F. (2013): Relationships between Biological and Thermal Indices of Soil Organic Matter Stability Differ with Soil Organic Carbon Level. In: *Soil Science Society of America Journal*, vol. 77, nr. 6, 2020-2028., doi:10.2136/sssaj2013.02.0081, Madison/USA.
- Schieder, D., Gronauer, A., Lebuhn, M., Bayer, K., Beck, J., Hiepp, G., Binder, S. (2010): Prozessmodell Biogas. In: *Biogas Forum Bayern* Nr. III – 03/2010, Hrsg. ALB Bayern e.V., https://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Prozessmodell_Biogas.pdf, Stand [30.10.2015].
- Sommer S. G., Husted S. (1995): The chemical buffer system in raw and digested animal slurry. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, 124, 45-53.

VDLUFA (1995): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA). Methodenbuch, Band II, Düngemitteluntersuchung, 4. Aufl. 1995, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einfluss der Aufbereitung von Gärresten auf Zusammensetzung, Düngewirkung und N₂O-Emissionen nach Ausbringung

I. Petrova¹, P. Seiz¹, C. Pekrun², K. Möller¹

¹Universität Hohenheim, Stuttgart, ²Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Nürtingen

1. Einleitung

Der N-Eintrag in den Boden durch Applikation organischer oder anorganischer Düngemittel ist in Abhängigkeit von N-Form und Ausbringungsverfahren mit Verlusten verbunden. Lachgas (N₂O) ist ein klimarelevantes Spurengas (Böckman und Olf, 1998). Die Entstehung von N₂O in Böden erfolgt per Nitrifikation und Denitrifikation und kann durch N-Applikation maßgeblich begünstigt werden. Allgemein anerkannt ist, dass Strategien zur Minderung dieser Emissionen bei gleichzeitigem kultur- und standortangepassten Düngemiteleinsatz entwickelt werden sollen. Ein möglicher Lösungsansatz ist die Verwendung aufbereiteter Gärreste, die in Abhängigkeit von Ausgangssubstrat und Aufbereitungsverfahren eine unterschiedliche Nährstoffzusammensetzung und Düngewirkung aufweisen können. Durch die Aufbereitung der Gärreste können ihre Transportwürdigkeit verbessert und regionale Überschüsse an organischen Düngemitteln überregional nutzbar gemacht werden. Durch Wasserentzug werden die darin enthaltenen Nährstoffe aufkonzentriert und die Gärreste sind als Ersatz von Mineraldüngern gezielt und bedarfsorientiert einsetzbar (Wahnhoff, 2011). Um die N-Effizienz aufbereiteter Gärreste optimieren zu können, sind Kenntnisse über die kurz- und langfristigen N-Wirkungen erforderlich (Gutser et al., 2005).

Das hier vorgestellte Forschungsvorhaben beinhaltet zum einen die Bewertung der N-Düngewirkung unterschiedlicher Gärreste in Abhängigkeit vom Aufbereitungsverfahren auf den Ertrag zweier Feldfrüchte (Deutsches Weidelgras und Silo-Mais). Zum anderen wird die Entwicklung bodenbürtiger N₂O-Emissionen 4-6 Wochen nach der Ausbringung beobachtet. Diese Aspekte wurden im Rahmen eines Gefäßversuches und eines Feldversuches näher betrachtet. Im Laufe des Gefäßversuches sollten folgende Hypothesen überprüft werden:

- Eine fest-flüssig-Separierung führt zu unterschiedlichen C/N-Verhältnissen

der beiden Fraktionen und beeinflusst somit ihre Düngewirkung, wobei die Düngewirkung der flüssigen Fraktion schneller ist als die der festen.

- Eine zunehmende Weiteraufbereitung der Gärreste beeinflusst die N-Wirkung der flüssigen Fraktion positiv und die der festen Fraktion negativ.

Die Hypothesen, die zu Beginn des Feldversuches aufgestellt wurden, sind wie folgt:

- Gärreste mit höherem C/N-Verhältnis verursachen geringere N_2O -Emissionen.
- Die N_2O -Emissionen nehmen mit abnehmender Abbaustabilität der organischen Substanz und einem höheren NH_4 -N-Anteil der Gärreste zu.

2. Material und Methoden

2.1 Gefäßversuch zur Abschätzung der Düngewirkung unterschiedlicher Gärreste

Als wichtigster Aspekt wurde hier die Auswirkung der Gärrestaufbereitung auf das Pflanzenwachstum, den Ertrag und die N-Aufnahme untersucht. Zu diesem Zweck wurde eine Fruchtfolge aus Deutschem Weidelgras (*Lolium perenne* L.) und Mais (*Zea mays* L.) im Gewächshaus angelegt. Das dabei verwendete Versuchsdesign war eine vollständig randomisierte Blockanlage, die aus 18 Behandlungen und 4 Wiederholungen bestand. Für den Aufbau wurden Mitscherlich-Gefäße (6,2 l Volumen) eingesetzt. Der verwendete Bodentyp war Parabraunerde aus Lößlehm mit einem pH-Wert von 7,1 in 0,01 M $CaCl_2$ -Lösung. Um Mängel an anderen Nährstoffen zu vermeiden, wurden dem Boden vor der Aussaat K, P, Ca, Mg und S in Form einer Nährlösung zugegeben. Die applizierte Düngermenge betrug 250 kg N ha⁻¹ für Dt. Weidelgras und 170 kg N ha⁻¹ für Mais. Als Düngemittel wurden Gärreste aus 3 unterschiedlichen Biogasanlagen verwendet. Tabelle 1 enthält eine Übersicht der wichtigsten Eigenschaften dieser Gärreste.

Als Vergleichsvarianten wurden eine ungedüngte Kontrolle, eine Variante mit dem praxisüblichen Mineraldünger Kalkammonsalpeter (KAS) und zwei unvergorenen Rohgülle (Milchvieh- bzw. Schweinegülle) verwendet. Der Gesamtstickstoffgehalt dieser Düngemittel beträgt 27 % der Frischmasse (KAS), 0,14 % (Milchviehgülle) und 0,97 % (Schweinegülle). Unmittelbar nach der Applikation wurden die Düngemittel eingearbeitet und die Testpflanzen ausgesät. Die Saatstärke betrug 2 g pro Gefäß bei Dt. Weidelgras und 3 Körner pro Gefäß bei Mais.

Tab. 1: Eigenschaften der verwendeten Gärreste im Gefäßversuch mit simulierter Fruchtfolge (BGA: Biogasanlage)

Erzeuger	Verfahren	Produkt	N_{gesamt} % FM	NH₄-N % FM	C/N- Verhältnis
BGA 1	ohne	Vollgärrest	0.59	0.30	8.01
	Separierung	Fugat	0.55	0.27	4.29
		Feststoff	0.67	0.22	16.74
	Trocknung	Feststoff	1.69	0.16	13.67
	Pelletierung	Pellets	1.83	0.07	18.01
BGA 2	ohne	Vollgärrest	0.44	0.35	1.49
	Separierung	Fugat	0.41	0.35	0.77
		Feststoff	0.91	0.33	15.73
	Verdampfung	Konzentrat	0.37	0.13	5.47
BGA 3	ohne	Vollgärrest	0.79	0.40	5.04
	Separierung	Fugat	0.78	0.41	4.44
		Feststoff	0.93	0.41	12.79
	Strippung	Kondensat	0.49	0.13	7.64

Die Vegetationsperiode von Dt. Weidelgras dauerte 12 Wochen und es fanden 3 Erntetermine statt. Die Schnitthöhe betrug 2,5 cm über der Bodenoberfläche. Nach dem 3. Erntetermin wurden die Stoppelreste eingearbeitet und die notwendige Düngemenge für den Mais appliziert. Die Düngemittel wurden unmittelbar nach der Applikation eingearbeitet und der Mais ausgesät.

Die Vegetationsdauer von Mais betrug 8 Wochen. Die Maispflanzen wurden nahe an der Bodenoberfläche geerntet, so dass die Schnitthöhe maximal wenige Millimeter betrug. Auch bei dieser Kultur wurden die Stoppelreste unmittelbar nach der Ernte eingearbeitet.

Während der Vegetationsperiode von Dt. Weidelgras herrschten im Mittel eine Lufttemperatur von 16 °C und eine relative Luftfeuchte von 40,2 %. Die Parameter stiegen während der Vegetationsdauer von Mais auf 17,5 °C bzw. 70,7 % an. Folgende Messgrößen werden erfasst: Ertrag (FM und TM in g pro Gefäß), C- und N-Gehalt, C- und N-Gehalt im Boden vor der Aussaat und nach der Ernte beider Kulturen. Für die Auswertung der Ergebnisse wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt.

2.2 Feldversuch zur Ermittlung der N₂O-Emissionen

Ziel dieses Versuches war die Erfassung der N₂O-Verluste nach der Applikation verschieden aufbereiteter Gärreste. Der am Versuchsort vorherrschende Bodentyp ist Parabraunerde aus Lößlehm (30 % Ton, 68 % Schluff, 2 % Sand) und weist einen pH-Wert von 6,5 in 0,01 M CaCl₂-Lösung. Die während des Messzeitraumes herrschenden Lufttemp. und rel. Luftfeuchte betragen 9,4 °C bzw. 73,4 %.

Tab. 2: Übersicht über die im Feldversuch verwendeten Gärreste (BGA: Biogasanlage)

Erzeuger	Verfahren	Produkt	N _{gesamt}	NH ₄ -N	NO ₃ -N
			% FM	% FM	% FM
BGA 1	ohne	Vollgärrest	0.51	0.24	<0.001
	Separierung	Fugat	0.49	0.24	<0.001
		Feststoff	0.78	0.20	<0.001
	Trocknung	Feststoff	2.31	0.15	0.11
	Pelletierung	Pellets	3.12	0.38	0.32
BGA 4	ohne	Vollgärrest	0.52	0.34	<0.001
	Separierung	Fugat	0.52	0.34	<0.001
		Feststoff	0.63	0.34	<0.001
	Verdampfung	Konzentrat	0.41	0.17	<0.001
	Strippung	ASL*	5.98	5.86	<0.001

*ASL: Ammoniumsulfat-Lösung

Um die ermittelten N_2O -Flussraten genau abgrenzen zu können, wurde der Versuch auf brachliegendem Land realisiert. Er wurde als eine vollständig randomisierte Bockanlage mit 11 Behandlungen und 4 Wiederholungen angelegt. Es wurden 10 verschiedene Gärreste aus 2 unterschiedlichen Biogasanlagen verwendet (siehe Tab. 2). Die applizierte Düngermenge betrug 170 kg N ha^{-1} .

N_2O -Emissionen wurden mittels der „Closed chamber“-Methode nach Hutchinson und Mosier (1981) gemessen. Gasproben wurden 3x wöchentlich zwischen 9.00 und 12.00 Uhr entnommen und gaschromatographisch analysiert. Die Gasflussraten wurden nach einem linearen Ansatz berechnet (Flessa et al., 1995).

3. Ergebnisse

Die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse stellen nur einen Teil des gesamten Datensatzes dar, der im Rahmen der beiden Versuche erhoben wurde. Die vollständigen Ergebnisse aller Analysen liegen zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor.

3.1 Gefäßversuch

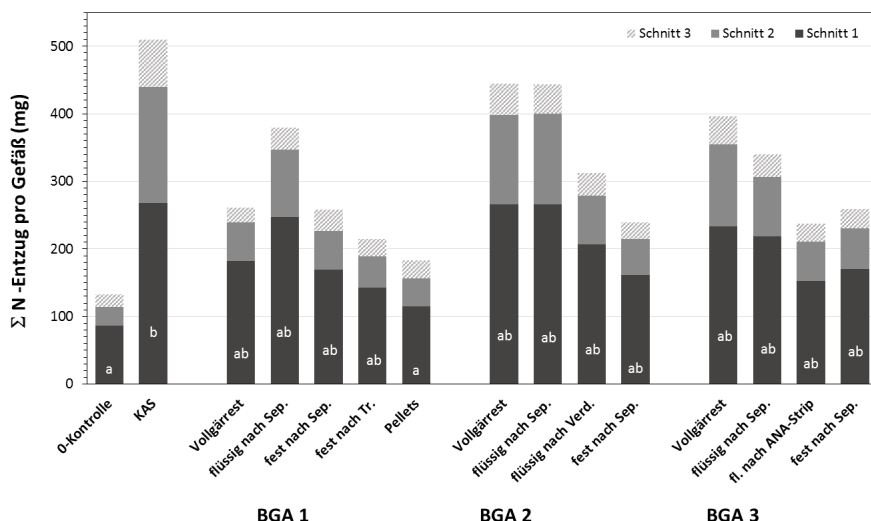


Abb. 1: N-Aufnahme von Dt. Weidelgras in oberirdischer Biomasse (mg pro Gefäß) kumuliert für alle drei Schnitttermine. Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$ (HSD-Test). BGA: Biogasanlage

Als Vergleichsgröße wurde die N-Aufnahme in mg pro Gefäß ausgewählt. Die Anzahl der Kontrollen wurde für die Erstellung der Grafiken auf die ungedüngte Kontrolle und die KAS-Variante reduziert.

Die Abbildung zeigt die N-Gehalte in oberirdischem Aufwuchs von Dt. Weidelgras über die erste Versuchsperiode (Feb.–Apr. 2015).

Die KAS-Variante weist im Mittel die höchste N-Aufnahme (insg. 509 mg N pro Gefäß) über die drei Erntetermine auf. Eine Tendenz abnehmender N-Aufnahme mit zunehmender Zahl der Ernten ist bei allen untersuchten Behandlungen erkennbar. Im Mittel zeigt die 0-Kontrolle die niedrigste N-Aufnahme über alle drei Erntetermine hinweg. Betrachtet man die einzelnen Biogasanlagen separat ist zu erkennen, dass eine Weiteraufbereitung der festen Fraktion nach der Separierung (am Bsp. der BGA 1) zu einer Reduktion der N-Aufnahme sowohl insgesamt als auch bei den einzelnen Ernteterminen führt. Hier erzeugt das Fugat die tendenziell höchste N-Aufnahme (379 mg N pro Gefäß). Im Vergleich dazu liegen die Werte bei der Pellet-Variante am niedrigsten und die gesamte N-Aufnahme beträgt im Mittel lediglich 184 mg N pro Gefäß.

Eine sinkende N-Aufnahme mit einer zunehmenden Aufbereitung der flüssigen Fraktion nach der Separierung ist bei den Biogasanlagen BGA 2 und BGA 3 zu erkennen. Im Mittel erzielt der Vollgärrest die höchste Gesamt-N-Aufnahme: 445 (BGA 2) und 396 mg N pro Gefäß (BGA 3).

Signifikante Unterschiede konnten zwischen der KAS-Variante und der 0-Kontrolle bzw. der Pellet-Variante festgestellt werden, wobei der Mineraldünger eine signifikant höhere N-Aufnahme bewirkt hat.

Eine ähnliche Tendenz konnte auch bei der Folgefrucht Mais beobachtet werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

Auch beim Mais erzielte die KAS-Variante die höchste N-Aufnahme pro Gefäß. Im Mittel bewirkte diese Behandlung eine N-Aufnahme von 494 mg N pro Gefäß. Die geringste N-Aufnahme pro Gefäß konnte bei dieser Kultur in der ungedüngten Kontrolle mit 59,4 mg N pro Gefäß beobachtet werden.

Wie zuvor beim Dt. Weidelgras festgestellt, führte die Weiteraufbereitung der festen bzw. der flüssigen Fraktion nach der Separierung zu einer Reduktion der N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse. Vergleicht man die N-Aufnahme

beider Kulturen ist zu erkennen, dass diese beim Dt. Weidelgras im Durchschnitt höher als beim Mais liegt.

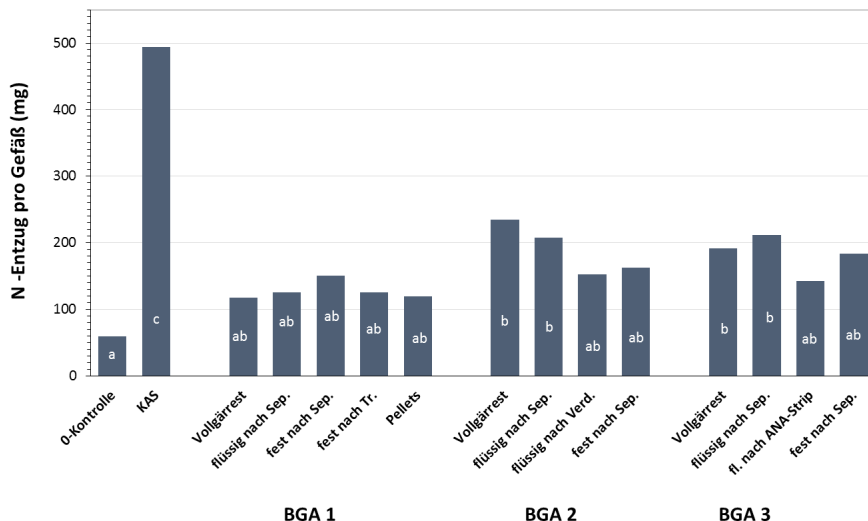


Abb. 2: N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse (mg pro Gefäß) kumuliert für alle 3 Erntetermine bei Dt. Weidelgras. Kleinbuchstaben: signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$ (LSD-Test). BGA: Biogasanlage

Bezüglich der Wirkung der Vollgärrest-Variante auf die N-Aufnahme ist bei den Biogasanlagen 1 und 2 dieselbe Tendenz wie beim Weidelgras erkennbar, nämlich im Mittel liegt die N-Aufnahme niedriger bzw. höher als die der flüssigen Fraktion nach der Separierung. Dieser Trend konnte bei der dritten Biogasanlage nicht beobachtet werden. Dort erzielte die Vollgärrest-Variante eine niedrigere N-Aufnahme als das Fugat. Die Werte betragen im Mittel 192 bzw. 212 mg N pro Gefäß.

3.2 Feldversuch

In einem Zeitraum von 6 Wochen nach der Ausbringung und Einarbeitung verschiedener Gärreste wurden die N_2O -Flussraten erfasst und in Abbildung 3 dargestellt. Für die Erstellung der Grafik wurden nur die Flussraten der Behandlungen mit den Gärresten der Biogasanlage 1 verwendet.

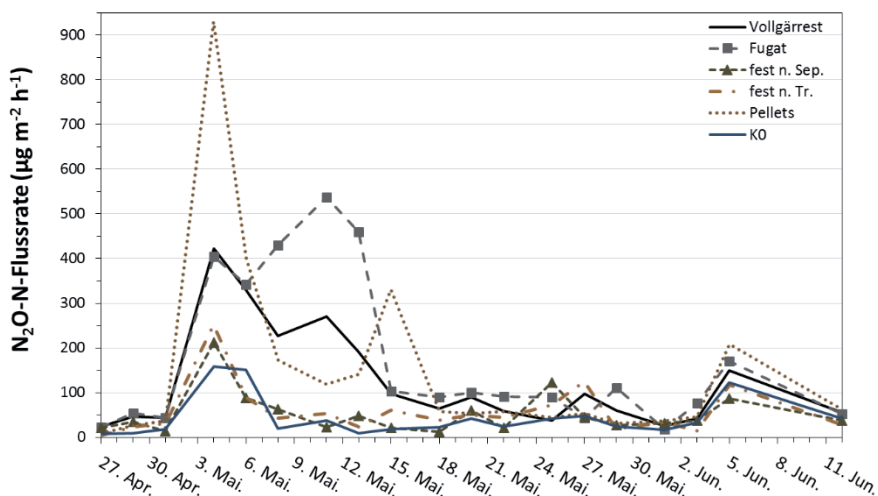


Abb. 3: Verlauf der bodenbürtigen N₂O-Flussraten nach der Applikation unterschiedlicher Gärreste (am Bsp. der Biogasanlage 1)

Zu Beginn der Messkampagne (Messtag 1, 27.04.2015) lagen die N₂O-Flussraten im Mittel zwischen 4 und 24 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹, wobei die Vollgärrest-Variante die höchste Flussrate aufwies. An den folgenden 2 Messtagen stiegen sie an und danach sanken sie. Im Mittel erzielten die Vollgärrest- und die Fugat-Variante höhere N₂O-N-Flussraten als die Feststoffe. Die Kontrollvariante (K0) erfuhr einen Anstieg von 7 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ am Messtag 1 auf 18 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ am Messtag 3, blieb aber unterhalb den Werten der anderen Behandlungen.

Es ist zu erkennen, dass am Ende der ersten Messwoche (04.05.2015) ein plötzlicher Anstieg der N₂O-N-Flussraten bei allen Behandlungen stattgefunden hat. Hier wies die Pellet-Variante im Mittel die höchste N₂O-N-Flussrate auf (930 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹). Unterhalb dessen lagen der Vollgärrest und das Fugat, die Flussraten von 423 bzw. 405 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ erzielten. Die Flussraten der beiden festen Fraktionen und von K0 befanden sich darunter (Feststoff nach Separierung: 212 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹, Feststoff nach Trocknung: 251 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ und K0: 158 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹). An den folgenden Tagen sanken die N₂O-Emissionen bei allen Behandlungen mit Ausnahme der Fugat-Variante. Sie wies einen weiteren Anstieg auf und die Flussraten erreichten im Mittel einen Wert von 537 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ am 11.05.2015 (Messtag 7).

Während den folgenden 4 Wochen (Messtage 7 bis 18) sanken die N_2O -Flussraten bei allen Behandlungen, als auch bei der ungedüngten Kontrolle. Der nächste erfasste Anstieg der Flussraten fand am 05.06.2015 (Messtag 18) statt. Hier wiesen alle Varianten eine erhöhte N_2O -Flussrate auf, wobei auch an diesem Messtermin die Pellet-Behandlung die höchste Flussrate erzielte. Sie betrug im Mittel $208 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$. Den niedrigsten Gasfluss zeigte die feste Fraktion nach der Separierung, er lag bei $87 \mu\text{g N}_2\text{O-N m}^{-2} \text{h}^{-1}$.

4. Diskussion

4.1 Gefäßversuch

Im Zeitraum von 6 Monaten konnte im Rahmen des Gefäßversuches beobachtet werden, dass die Gabe von Mineraldünger eine erhöhte N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse im Vergleich zu organischen Düngemitteln (Gärreste) mit demselben N-Gehalt bewirkt. Dieser Trend wurde sowohl bei Weidelgras, als auch bei Mais festgestellt. Die hier vorliegenden Zwischenergebnisse widersprechen den Ergebnissen von Fouda (2011), wo gezeigt wurde, dass die flüssige Fraktion nach der Separierung zu einer höheren N-Aufnahme führte, als eine Mineraldünger-Behandlung und der Feststoff eine niedrigere bzw. ähnliche N-Aufnahme zeigte. Dies konnte hier sowohl beim Weidelgras als auch beim Mais beobachtet werden. Im Einklang mit den Ergebnissen von Fouda (2011) ist hingegen eine sinkende N-Aufnahme mit fortgeschrittenen Ernteterminen bei Dt. Weidelgras. In Bezug auf die unterschiedlichen Wirkungen der flüssigen bzw. festen Fraktionen auf die N-Aufnahme stimmen die hier vorgestellten Ergebnisse mit denen von Fouda (2011) überein. Die Behandlung mit der flüssigen Fraktion weist tendenziell eine höhere N-Aufnahme auf, dennoch ist sie aber von der Variante mit fester Fraktion nicht signifikant unterschiedlich. Eine Ausnahme bildet die N-Aufnahme dieser beiden Behandlungen der Biogasanlage 1 bei Mais. Dort lag die N-Aufnahme der Behandlung mit festen Fraktion höher als die der mit flüssiger, sie unterscheiden sich aber auch hier nicht signifikant voneinander.

Da der Versuch noch nicht abgeschlossen ist, kann keine exakte Aussage über die kurz- bzw. langfristige Wirkung der Gärreste auf die N-Aufnahme gemacht werden. Des Weiteren können zurzeit noch keine endgültigen Schlüsse zur Wirkung der Gärrestaufbereitung auf das Pflanzenwachstum und die N-Aufnahme in der oberirdischen Biomasse gezogen werden.

4.2 Feldversuch

Die N_2O -Flussraten haben gezeigt, dass die Emissionen in der ersten Woche nach der Ausbringung und Einarbeitung unterschiedlich aufbereiteter Gärreste ansteigt. Dies ist im Einklang mit den Ergebnissen früherer Studien, bei denen nachgewiesen werden konnte, dass vergorene Gülle und separierte Gärreste leicht erhöhte Emissionen nach der Ausbringung aufweisen. Diese bleiben aber während des gesamten Messzeitraums gering im Vergleich zur Behandlung mit unvergorener Rohgülle (Möller & Stinner, 2009).

Die erhöhten N_2O -Flussraten bei der Pellet-Variante können damit begründet werden, dass ein plötzlicher Abbau der organischen Substanz, nach dem starken Regen an den vorigen 3 Tagen und der darauf folgenden Erhöhung der Lufttemperatur, stattgefunden hat

Die herrschenden Klimabedingungen wie starke Niederschläge mit darauf folgender Erhöhung der Luft- und Bodentemperatur und der Anstieg der relativen Luftfeuchte könnten den zweiten Anstieg der N_2O -Flussraten am Ende der Messkampagne verursacht haben.

5. Zusammenfassung

Die hier gezeigten, vorläufigen Ergebnisse haben gezeigt, dass die Düngewirkung der Gärreste vom Aufbereitungsverfahren merklich beeinflusst wird. Die sich dabei ergebende, unterschiedliche Gärrestzusammensetzung zeigte einen Einfluss auf die N-Aufnahme in die Pflanzen. Ein Vergleich der Düngewirkung bzw. der N-Aufnahme zwischen dem praxisüblichen Mineraldünger KAS und den verschiedenen Aufbereitungsprodukten machte deutlich, dass der Mineraldünger den Gärresten zurzeit noch überlegen ist.

Eine Trennung der festen und flüssigen Phasen hat zur Folge, dass das Ammonium zu unterschiedlichen Anteilen in die beiden Fraktionen gelangt. Dies bewirkt einen Unterschied in Bezug auf den Düngeeffekt und die N_2O -Emissionen. Es konnte nachgewiesen werden, dass ein steigender NH_4 -N-Anteil im Gärrest-Produkt zu einer erhöhten N-Wirkung bei Pflanzen im Gefäßversuch und gleichzeitig zu einem Anstieg der N_2O -Emissionen nach der Applikation im Feld führt.

Über die kurz- und langzeitige N-Wirkung von aufbereiteten Gärresten kann momentan noch keine genauere Aussage gemacht werden. Hierfür werden Langzeitversuche zu Düngewirkung und Abschätzung der N₂O-Emissionen benötigt.

6. Literaturangaben

- Böckman, O. C. & Olf, H-W., 1998: Fertilizer, agronomy and N₂O. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, 165-170.
- Flessa, H., Dörsch, P., Beese, F., 1995: Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *J. Geophys. Res.* 100, 23115-23124.
- Fouda, S. E-S., 2011: Nitrogen availability of biogas residues. Dissertation. Technische Universität München, München, 28-80.
- Gutser, R., Ebertseder, Th., Weber, A., Schraml, M., Schmidhalter, U., 2005: Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizer on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 439-446.
- Möller, K. & Stinner, W., 2009: Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *Europ. J. Agronomy* 30, 1-16.
- Wahmhoff, W., 2011: Stickstoffdüngung aus Umweltsicht. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 23, 7-12.

Spezifische Wirkung organischer Düngung: Wie wirkt sich der positive Effekt auf den C_{org} - Gehalt im Boden auf den Ertrag und auf die Nährstoffverwertung aus?

K. Schweitzer, B. Kroschewski, M. Baumecker
Humboldt-Universität zu Berlin, Albrecht Daniel Thaer-Institut für Agrar-
und Gartenbauwissenschaften, Berlin

1. Einleitung

Die „spezifische Wirkung“ der organischen Düngung auf den Humusvorrat im Boden und in Folge auf den Ertrag wird allgemein durch eine „Nährstoffwirkung“ überlagert. Untersuchungen von Zimmer (2009) zeigen zum Beispiel, dass bei einem Winterroggen – Silomais - Fruchtwechsel bei gleicher N-Zufuhr bis zu $150 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ die reine Mineraldüngung und kombinierte Mineral- und Stallmistdüngung hinsichtlich Ertrag und tolerierbarem N-Saldo gleichwertig sind.

Geht in der Fruchtfolge anfallendes Stroh in den C-Kreislauf ein, interessieren vor dem Hintergrund alternativer Möglichkeiten der Strohverwertung folgende Aspekte: (1) Effekt des Einarbeitens von nach der Getreideernte anfallendem Stroh auf den C_{org} -Gehalt im Boden und dessen Rückkopplung mit der Biomasseproduktion („spezifische Wirkung“), (2) Wirkung der Mineral N-Düngung auf die anfallende Strohmenge und den C_{org} -Gehalt im Boden sowie (3) Einfluss der Strohdüngung auf die N-Verwertung im System Boden-Pflanze.

2. Methodik

Die Untersuchungen zur Wirkung von Stroh auf den C_{org} -Gehalt im Boden und den Ertrag erfolgten im Dauerversuch „Fruchtfolgeabhängige Wirkung von Stroh- und N-Düngung“ in Thyrow (Brandenburg) (Tab. 1). Der Versuchsstandort repräsentiert typische trockene und humusarme Ackerstandorte auf sandigen Böden der Norddeutschen Jungmoränenlandschaft (ausführlich: Website HU Berlin/.../Thyrow). Der Versuch läuft seit 1976 auf drei Feldern mit jeweils unterschiedlicher Fruchtfolge.

Tab.1 Fruchtfolgen und Faktorstufen im Versuch „Fruchtfolgeabhängige Wirkung von Stroh- und N-Düngung“ in Thyrow (Zeitraum 1976-1999)

	Feld 51	Feld 52	Feld 53
	50 % Getreide	75 % Getreide	100 % Getreide
Fruchtfolge	Rübe/Kartoffel Sommergerste Winterroggen Silomais	Rübe Sommergerste Winterroggen Winterroggen	Wintergerste** Sommergerste Winterroggen Hafer
Strohdüngung	a1 ... ohne Stroh a2 ... geerntetes Stroh in zwei aufeinanderfolgenden Jahren eingearbeitet (nach Sommergerste und Winterroggen)		
Mineral-N-Düngung (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)	b1 ... 54 b2* ... 108 b3 ... 162 b4 ... 216	b1 ... 49 b2* ... 98 b3 ... 147 b4 ... 196	b1 ... 60 b2* ... 100 b3 ... 140 b4 ... 180

*N-Stufe b2 entspricht der N-Düngung nach standorttypischen Bedarf der angebauten Kulturen; **nach Wintergerste Zwischenfruchtanbau + 80 kg ha⁻¹ N (in der mittleren jährlichen N-Zufuhr der Fruchtfolge „100 % Getreide“ enthalten)

Die Anordnung der Parzellen ist deckungsgleich mit der eines vorangegangenen Dauerfeldversuches (Kaliformenversuch, 1937 bis 1972). Im aktuellen Versuch wird die ehemalige Fruchtfolge „Kartoffel – Sommergerste – Rübe – Winterroggen“ als Fruchtfolge mit „50 % Getreide“ auf Feld 51 weitergeführt, 8 der zuvor organisch-mineralisch gedüngten Prüfglieder (Stalldüngung + NPK, K in unterschiedlicher Form) definieren den Ausgangszustand der Behandlungseffekte der jetzigen 8 Kombination von Stroh- und N-Stufe. Die ehemaligen Prüfglieder „Stalldüngung + NP“ und „NP“ werden im aktuellen Design „ohne Stroh + N (b3)“ als Zusatzprüfglieder geführt.

Ausgewertet wurde ein Zeitraum von 24 Jahren. Trockenmasseerträge des Haupt- und Koppelproduktes sowie die C_{org}-Gehalte im Boden lagen jährlich in jeweils 2 Feldwiederholungen vor. Die N-Zufuhr über das eingearbeitete Stroh wurde aus dem Strohertrag und dem N-Gehalt der Trockenmasse je N-Stufe und Kultur aus den für einzelne Jahre vorhandenen Werten kalkuliert (Wintergerste n = 10, Winterroggen n = 4).

Zunächst wurde die Entwicklung der C_{org}-Gehalte in der Zeit mit Hilfe einer nicht-linearen Trendfunktion (Pb-Spline) beschrieben. Dies erlaubt, Zeiträume mit

stabilen sowie instabilen C_{org} -Gehalten zu identifizieren. Ab dem Zeitpunkt einer sichtbaren Stabilisierung des Systems wurden für alle folgenden Rotationen die C_{org} -Gehalte und die Gesamt-Trockenmasseerträge auf der Basis der Rotationsmittelwerte je Parzelle mit der Varianzanalyse ausgewertet (RCBD, 10 Prüfglieder, 2 Wiederholungen, paarweise Vergleiche mittels LSD des multiplen t-Tests für $\alpha < 0,05$, zusätzlich HSD des Tukey-Tests mitgeteilt). Die Auswertung erfolgte mit der Statistiksoftware SAS Version 9.4 (Prozeduren MIXED und SGPLOTS).

3. C_{org} -Gehalt im Boden: Entwicklung über drei Dekaden

Der Ausgangszustand der C_{org} -Gehalte im Versuch ist durch Werte von $0,70 \pm 0,05$ % auf den zuvor langjährig mit Stallmist gedüngten Parzellen und von $0,48 \pm 0,04$ % auf den seit 1937 ausschließlich mineralisch gedüngten Parzellen gekennzeichnet. Ab 1976 wurde die organische Düngung von $15 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Stallmist (im Mittel von 4 Rotationsjahren) unterlassen oder durch das Einarbeiten von $2,1 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Stroh (TM) ersetzt (vgl. Tab. 2). Zudem wurde der Getreideanteil in der Fruchtfolge variiert, der maßgeblich für die Entwicklung der C_{org} -Gehalte war: Ohne Einarbeiten des anfallenden Strohs und unter Beibehaltung des geringen Getreideanteils in der Fruchtfolge („50 % Getreide“, Abb. 1) nähern sich die C_{org} -Gehalte erwartungsgemäß dem Minimum der seit 1937 nicht organisch gedüngten Variante (0,40-0,43 %). Dagegen bewirkt die reine Getreidefolge („100 % Getreide“, Abb. 1) auch ohne Einarbeiten des Strohs, dass die C_{org} -Gehalte von einem extrem niedrigen Niveau auf Werte der ehemals mit Stallmist gedüngten Prüfglieder ansteigen bzw. auf diesem Niveau konstant bleiben. Der behandlingstypische Zustand stabilisiert sich jeweils nach 12-16 Jahren. In der Fruchtfolge mit 75 % Getreide setzt sich der mäßig abfallende Trend über den Beobachtungszeitraum hinaus fort. Der Langzeittrend ist durch z. T. erhebliche periodische Schwankungen mit einer Dauer von jeweils mehr als 12 Jahren geprägt.

Mineral-N-Düngung im Bereich von $40\text{-}160 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ (Stufe 1 bis 3) führt zu Unterschieden in der eingearbeiteten Strohmenge von maximal 40 % bezogen auf das niedrigste N-Niveau ($1,2 \text{ t ha}^{-1}$, Fruchtfolge „50 % Getreide“, Tab. 2). Höhere N-Zufuhr bleibt nahezu ohne Wirkung.

Die Strohdüngung verzögert eine Abnahme der C_{org} -Gehalte und bewirkt wie zu erwarten insgesamt höheren C_{org} -Gehalte. (Abb. 1).

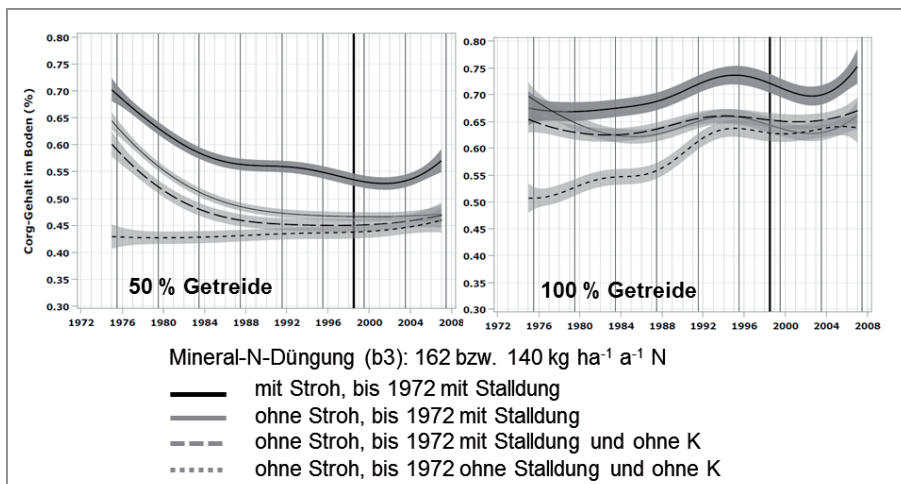


Abb. 1: Entwicklung der C_{org}-Gehalte seit 1976 (Trendfunktion mit 95 % Konfidenzintervall – Pb-Spline)

Tab. 2: Durch Einarbeiten des geernteten Strohs zugeführte organische Substanz (t ha⁻¹ TM) je Anwendungsjahr im Mittel der Rotationen bei unterschiedlichem Getreideanteil in der Fruchtfolge

N-Stufe	50% Getreide	75% Getreide	100% Getreide
1	3,1 ± 10	2,9 ± 7	3,2 ± 9
2	3,8 ± 15	3,7 ± 12	3,5 ± 15
3	4,3 ± 14	4,0 ± 12	3,8 ± 15
4	4,5 ± 20	4,1 ± 18	3,9 ± 20

Der Effekt der Mineral-N-Düngung auf den C_{org}-Gehalt im Boden ist nicht eindeutig positiv und übertrifft nicht den Effekt der Fruchtfolge und den mittleren Effekt der Strohdüngung (Abb. 2).

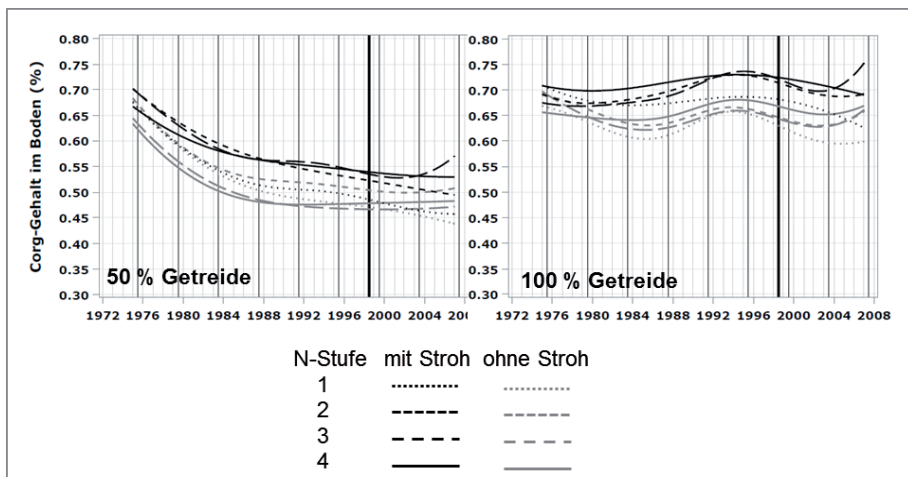


Abb. 2: Einfluss der N-Düngung auf den C_{org} -Gehalt im Boden (Trendfunktion – Pb-Spline)

4. C_{org} -Gehalt im Boden: Statusanalyse nach 12 Jahren

Ab dem Jahr 1992 (13. Versuchsjahr), nachdem sich der behandlungstypische Zustand für die Fruchtfolge „50 % Getreide“ und „100 % Getreide“ stabilisiert, wurden für die folgenden 3 Rotationszeiträume von jeweils 4 Jahren die C_{org} -Gehalte des Bodens im Mittel der Rotation ausgewertet (Abb. 3: Beispiel 5. Rotation).

Die Differenz zwischen den mit Stroh gedüngten Varianten und den reinen Mineral-Düngungsvarianten erreicht bis zu +0,08 % C_{org} . Mineral-N-Düngung von 40-100 kg ha⁻¹ N (Stufe 1 bis 2) erhöht in den meisten Fällen die „C-Wirkung“ des eingearbeiteten Strohs vermutlich auch aufgrund der gestiegenen Strohzufuhr (Tab. 2). Bei einer N-Düngung von 140-160 kg ha⁻¹ a⁻¹, die bereits oberhalb des standorttypischen pflanzlichen Bedarfs liegt, scheint dieser Effekt durch andere Prozesse kompensiert zu werden (beschleunigte C-Mineralisation im Boden, geringere Wurzelmassebildung bei hohem N-Angebot). Ohne Strohdüngung kommt es bei hohem N-Angebot insbesondere in der Fruchtfolge „50 % Getreide“ zu einer Abnahme der C_{org} -Gehalte.

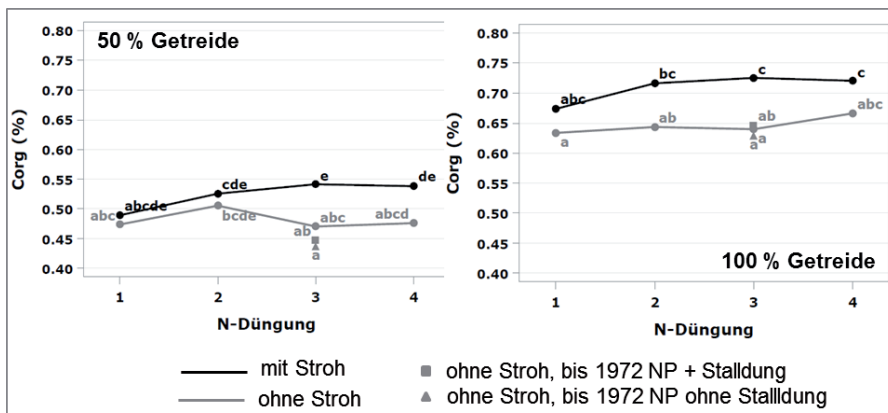


Abb. 3: Einfluss langjährigen Einarbeitens von Stroh und unterschiedlicher Mineral-N-Düngung auf den C_{org}-Gehalt im Boden: Ergebnisse nach 16 Versuchsjahren im Mittel der 5. Rotation (1992-1995), paarweise Vergleiche mit LSD_{5%}

In der 2-faktoriellen Varianzanalyse (F-Test) konnte die Hauptwirkung nur für die Strohdüngung, nicht jedoch für die Mineral-N-Düngung sowie keine Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren gesichert werden. Insgesamt lassen sich Differenzen von mehr als 0,06-0,08 % (t-Test) bzw. 0,10-0,15 % (Tukey-Test) auf einen Behandlungseffekt zurückführen (Tab. 3). In nur wenigen Fällen und hauptsächlich in der reinen Getreidefolge sind die Unterschiede im C_{org}-Gehalt signifikant (Abb. 3).

Tab.3: Effekt von Strohdüngung in Kombination mit Mineral-N-Düngung auf den C_{org}-Gehalt im Boden (%) nach Stabilisierung des behandlungstypischen Zustandes (Rotation 4-6): Vergleich der 10 Varianten – einfaktorielles Varianzanalyse

Fruchtfolge	Rot.	Rot.-Mittel	s _{Rest}	s _{Rest} (%)	LSD _{5%}	HSD _{5%}
50 % Getreide	4	0,51	0,04	7,0	0,08	0,14
	5	0,50	0,04	7,4	0,08	0,15
	6	0,49	0,03	5,7	0,06	0,11
100 % Getreide	4	0,65	0,02	3,7	0,06	0,10
	5	0,69	0,03	3,9	0,06	0,11
	6	0,67	0,03	4,9	0,07	0,13

5. Wirkung der Strohdüngung auf den Biomasseertrag

Zusätzlich zur positiven Wirkung des Strohs auf den Corg-Gehalt im Boden werden dem System Nährstoffe zurückgeführt. Die N-Zufuhr über das Stroh steigt mit der Mineral-N-Düngung und beträgt für die N-Stufen 1 bis 4 im Mittel der Fruchtfolgen und Rotationen $36 \pm 8 / 58 \pm 13 / 60 \pm 14 / 75 \pm 19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ in 4 Jahren.

Die Wirkung der Strohdüngung auf den jährlichen Biomasseertrag ist in allen Fruchtfolgen schwach, über den Untersuchungszeitraum wechselnd positiv und negativ ausgeprägt. Der im Mittel einer Rotation erzielte Gesamt-Biomasseertrag ist im Bereich positiver Ertragseffekte der N-Zufuhr unabhängig von der Strohdüngung (Abb. 4).

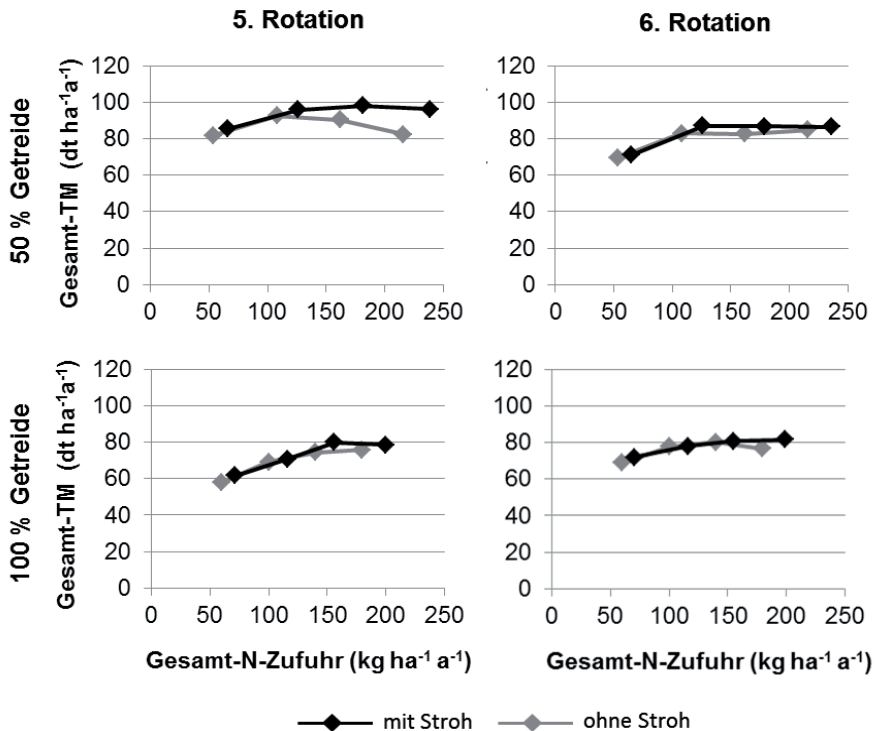


Abb. 4: Gesamt-Biomasseertrag mit und ohne Einarbeiten von Stroh in den Fruchtfolgen mit 50 % und 100 % Getreide nach 16 Versuchsjahren (5. und 6. Rotation)

Bei überhöhter Mineral-N-Düngung kann Strohdüngung die Ertragsdepression verhindern, jedoch die Biomasseproduktion kaum weiter steigern (Abb. 4, oben links). Sie bewirkt somit keine bessere N-Verwertung im System. Höchste C_{org} -Gehalte, ermittelt in der reinen Getreidefolge (Tab. 3), sind nicht an die höchste Biomasseproduktion gekoppelt.

6. Zusammenfassung

Über den Versuchszeitraum ergibt sich eine deutliche Differenzierung der C_{org} -Gehalte im Boden, die vorrangig auf die Fruchtfolgewirkung zurückzuführen ist. Innerhalb der Fruchtfolgen erhöht Strohdüngung den C_{org} -Gehalt, jeweils modifiziert durch die Mineral-N-Düngung. Im Unterschied zur Ertragswirkung der reinen N-Zufuhr haben das Einarbeiten des anfallendes Stroh und die damit erzielten höheren C_{org} -Gehalte weder einen Effekt auf die langjährig mittlere Biomasseproduktion der Rotation noch auf die N-Verwertung. Somit ist die Humusreproduktion durch Stroh von untergeordneter Bedeutung. Die Ergebnisse bestätigen die Befunde von Albert und Grunert (2013), die auf zwei Standorten in Sachsen keine eindeutig positive Stroh Wirkung auf den Ertrag feststellen konnten.

7. Literaturangaben

Albert, E., Grunert, M. ,2013: Wirkung einer langjährig differenzierten mineralisch-organischen Düngung auf Ertrag, Humusgehalt, N-Bilanz und Nährstoffgehalte des Bodens. Archives Agronomy and Soil Science, 59: 8, 1073-1098.

HU Berlin: www.agrar.hu-berlin.de/de/institut/einrichtungen/freiland.

Zimmer, J., 2009: Dauerfeldversuch M4 (Stickstoff-Kombinations- versuch). LVLFSchriftenreihe, Reihe Landwirtschaft, Band 19, Heft V: 34-41.

Kann der pflanzenbürtige Kohlenstoffeintrag in den Boden aus Ertragsdaten ermittelt werden?

S. Höcker, H. Beßler, C. Engels

Humboldt-Universität zu Berlin, Fachgebiet für Pflanzenernährung und Düngung

1. Einführung

Die Untersuchung der Auswirkung landwirtschaftlicher Flächennutzung auf den Bodenhumushaushalt ist seit vielen Jahrzehnten ein wichtiger Forschungsschwerpunkt. Zur Ermittlung der Wirkung des Anbaus verschiedener Kulturarten auf den Humushaushalt gibt die VDLUFA-Humusbilanzierung fruchtartenspezifische Richtwerte vor, die je nach Bewirtschaftungsweise unterschiedlich hoch ausfallen (Ebertseder et al., 2015). Die Richtwerte basieren auf Langzeitversuchen. Für neu etablierte Energiefruchtarten wie Sudangras oder Futterhirse können bisher noch keine Richtwerte angegeben werden, da keine Langzeitversuche existieren. Auch für Mischfrüchte z. B. aus Mais und Futterhirse, die im Energiepflanzenbau eine Rolle spielen, gibt es keine Datengrundlage, die eine Ableitung von Richtwerten ermöglicht. Es gibt auch keine Richtwerte für Zweifruchtsysteme (z. B. Grünschnittgetreide gefolgt von Mais), die im Energiepflanzenanbau zur Biogasgewinnung von Bedeutung sind. Um diese Lücken in der VDLUFA-Humusbilanzierung zu schließen, wird nach alternativen Ansätzen zur Ermittlung von Humusbedarfskoeffizienten gesucht.

Der Pflanzenart- oder Anbausystem-spezifische Humusbedarf ist stark abhängig von dem pflanzenbedingten Kohlenstoff(C)-Eintrag in den Boden z. B. über ober- und unterirdische Ernterückstände. Die C-Masse, die von den Pflanzen in den Boden eingetragen wird, kann stark variieren und es ist sehr aufwendig, den Eintrag direkt zu messen. In dieser Arbeit sollte untersucht werden, ob es möglich ist, den pflanzenbedingten C-Eintrag in den Boden anhand von einfach zu ermittelnden und dem Landwirt im Allgemeinen zur Verfügung stehenden Ertragsdaten zu quantifizieren.

2. Material und Methoden

In Feldversuchen mit 4 Wiederholungen, die in den Jahren 2012, 2013 und 2014 in Berlin-Dahlem und im Jahr 2013 auch in Gießen durchgeführt wurden, wurden bei den C₄-Pflanzenarten Mais (*Zea mays*), Sudangras (*Sorghum sudanense* x *S. bicolor*) und Futterhirse (*Sorghum bicolor*) sowie bei dem Mischfruchtssystem Mais/Futterhirse Ertrags- und C-Eintragsdaten erhoben (Tab. 1).

Tab. 1: Anzahl der Parzellen (n), in denen Ertrags- und C-Eintragsdaten für unterschiedliche Pflanzen- bzw. Anbaugruppen ermittelt wurden.

Gruppe	Fruchtart	n
C ₄ Gräser	Mais	23
	Sudangras	23
	Futterhirse	22
Mischfruchtssystem	Mais/Futterhirse	23
Zweifruchtsysteme	WG + Mais	23
	WG + Sudangras	23
	WG + Futterhirse	23
Wintergetreide (WG)	Weizen oder Roggen	24

Die gleichen Daten wurden für Zweifruchtsysteme (Wintergetreide-Grünschnitt gefolgt von Mais oder Sudangras oder Futterhirse sowie für Wintergetreide, geerntet zur Vollreife, ermittelt. In den Jahren 2013 und 2014 wurden in Berlin alle untersuchten Arten entweder mit Kalkammonsalpeter (KAS) gedüngt (120 kg KAS-N ha⁻¹ Energiepflanzenarten; 100 kg KAS-N ha⁻¹ Wintergetreide) oder nicht gedüngt. Insgesamt wurden Daten von über 20 Messwiederholungen pro Fruchtart erhoben (Tab. 1).

Zur Ermittlung des Ertrages wurde die Ganzpflanzen-Trockenmasse zum Zeitpunkt der praxisüblichen Ernte gemessen. Der pflanzenbürtige C-Eintrag setzte sich aus vier verschiedenen Pflanzenfraktionen zusammen, die getrennt voneinander bestimmt wurden (Abb. 1). Während der Vegetationsperiode wurde der oberirdische Bestandesabfall durch regelmäßiges Absammeln gemessen. Zur Ernte wurden die oberirdischen Ernterückstände sowie die im Boden in 0-30 cm Tiefe vorhandenen Grob- und Feinwurzeln gemessen. Die Rhizodeposition wurde aus der Wurzelbiomasse ermittelt, wobei angenommen wurde, dass 65 % der zur Ernte vorhandenen Gesamtwurzelbiomasse während der Vegetationsperiode in Form von Rhizodeposition in den Boden eingetragen wurde (Bolinder et al., 2007).

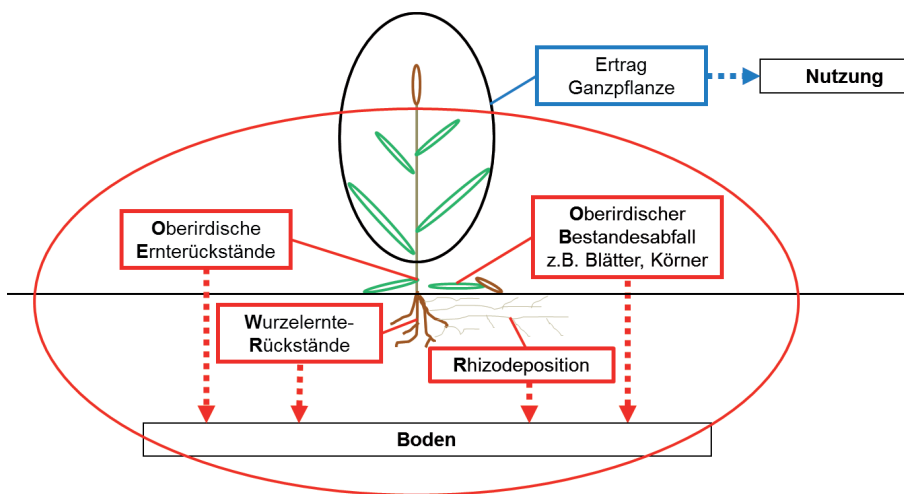


Abb. 1: Gemessene Pflanzenfraktionen bestehend aus Ertrag (Ganzpflanze), oberirdischer Bestandesabfall, Rhizodeposition, oberirdischer Ernterückstand und Wurzelernterückstand.

3. Ergebnisse

3.1 Biomasserträge und C-Einträge bei C₄-Gräsern und Mischfruchtssystem

Im Mittel aller Feldversuchsjahre (2012, 2013, 2014), Standorte (Berlin, Gießen), Düngungsstufen (mit und ohne N-Düngung) und Feldversuchsblöcke (vier) waren die Ganzpflanzentrockenmassen (TM)-Erträge von Mais, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch mit 176-178 dt ha⁻¹ etwas höher als der Ertrag von Sudangras mit 136 dt ha⁻¹ (Tab. 2). Der C-Eintrag in den Boden über Bestandesabfall, Rhizodeposition sowie ober- und unterirdische Ernterückstände war bei Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch mit 27-28 dt ha⁻¹ doppelt so hoch wie bei Mais mit 14 dt ha⁻¹ (Tab. 2). Bei allen Fruchtarten und dem Mischfruchtssystem variierten sowohl die Trockenmasseerträge als auch die C-Einträge sehr stark (z. B. bei Mais Variation der Trockenmasseerträge zwischen 95 und 291 dt ha⁻¹ und Variation des C-Eintrages zwischen 8 und 27 dt ha⁻¹). Die Daten waren damit gut geeignet, um zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen Ertrag und C-Eintrag besteht.

Tab. 2: Mittlerer Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) und Kohlenstoffeintrag (C-Eintrag) der C₄-Gräser und des Mischfruchtensystems mit jeweiliger Spannweite (in Klammern)

Gruppe	Fruchtart	TM-Ertrag dt ha ⁻¹	C-Eintrag
C ₄ -Gräser	Mais	176 (95-291)	14 (8-27)
	Sudangras	136 (101-196)	27 (15-50)
	Futterhirse	176 (124-286)	27 (17-46)
Mischfruchtensystem	Mais/Futterhirse	178 (100-279)	28 (18-82)

Um den Zusammenhang zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag zu beschreiben, können verschiedene Regressionsmodelle verglichen werden und dann das Modell mit dem höchsten Bestimmtheitsmaß ausgewählt werden (best fit model). Nach dieser Methode wären eine polynomische Regression (Mais, Sudangras und Mais/Futterhirse) und eine potentielle Regression (Sudangras) am besten geeignet (Tab. 3). Unter dem Gesichtspunkt der Anwendbarkeit in der Praxis ist ein Nachteil von nicht-linearen Modellen, dass sich das Verhältnis von C-Eintrag zu TM-Ertrag mit zunehmendem Ertrag verändert. Daher wurden die Daten auch mit einem linearen Modell ausgewertet. Weiterhin wurde angenommen, dass bei einem Ertrag von 0 auch der C-Eintrag 0 ist, so dass die Regressionsgerade, die den Zusammenhang zwischen Ertrag und Eintrag beschreibt, durch den 0-Punkt geht. Damit kam das Modell $y = a \cdot x$ (homogene lineare Regression) zur Anwendung (siehe Tab. 3). Die homogene Regression ermöglicht es, den C-Eintrag (y) mit Hilfe des TM-Ertrags (x) und einem Faktor (a) abzuschätzen. Der Faktor a (Steigung der Regressionsgerade) kann als einfacher Schätzwert für die Ermittlung des C-Eintrags anhand des TM-Ertrags herangezogen werden. In Abbildung 2 wurde dieses Modell (lineares Modell, Tab. 3) auf die Daten der Fruchtarten Mais, Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse angewendet.

Bestimmtheitsmaße (R²) des linearen Modells zwischen 0,56 (Mais) und 0,60 (Mais/Futterhirse) verdeutlichen, dass mit diesem Modell über 50 % der Variation des C-Eintrages mit dem TM-Ertrag erklärt werden konnte. Diese R²-Werte sind zwar etwas geringer als die R²-Werte der optimal gefitteten Modelle, aber die Quantifizierung des C-Eintrages aus dem TM-Ertrag ist bei der homogenen linearen Regression einfacher. Bei gleicher TM-Ertragsmenge wurde bei Futterhirse und Mais/Futterhirse etwa doppelt so viel C (Schätzwert 0,15-0,17) in den Boden eingetragen wie bei Mais (Schätzwert

0,08), bei Sudangras war es sogar die zweieinhalbfache Menge (Schätzwert 0,20) gegenüber Mais (Tab. 3).

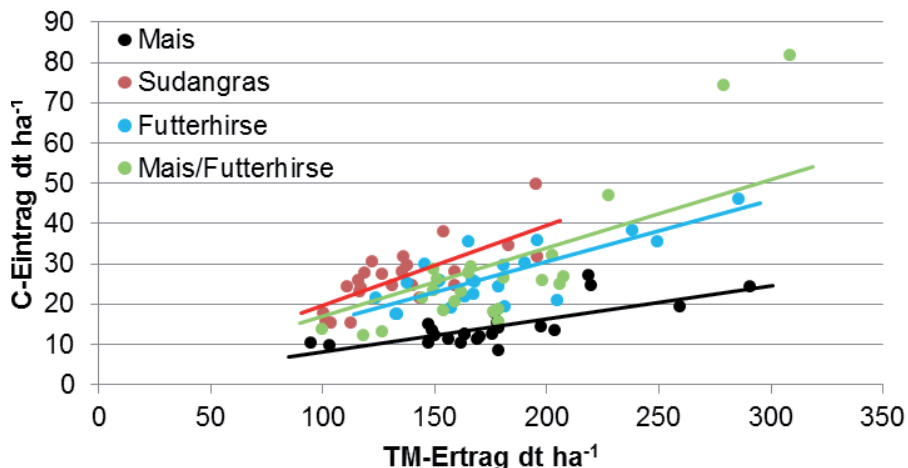


Abb. 2: Beziehung zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag bei Mais, Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch. Geraden stellen die geschätzten Regressionsgeraden mit dem Schnittpunkt (0/0) dar (lineares Modell).

Tab. 3: Best fit model und lineares Modell mit Bestimmtheitsmaßen (R^2) von Mais, Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch. $y = \text{C-Eintrag}$; $x = \text{TM-Ertrag}$.

Fruchtart	best fit model	R^2	lineares Modell	R^2
Mais	$y = 0,0009x^2 + 0,0384x + 5,48$	0,58	$y = 0,08x$	0,56
Sudangras	$y = 0,2161x^{1,1722}$	0,62	$y = 0,20x$	0,58
Futterhirse	$y = 0,0026x^2 - 0,113x + 19,54$	0,61	$y = 0,15x$	0,57
Mais/Futterhirse	$y = 0,0086x^2 - 0,7976x + 34,88$	0,90	$y = 0,17x$	0,60

3.2. Biomasseerträge und C-Einträge bei Wintergetreide (Vollreife)

Der TM-Ertrag von Wintergetreide lag mit durchschnittlich 122 dt ha⁻¹ deutlich unter den Ganzpflanzenerträgen der C₄-Gräser, des Mischfruchtensystems und der Zweifruchtsysteme (Tab. 2, Tab. 4). Der mittlere C-Eintrag war mit 12 dt ha⁻¹ mit dem von Mais (14 dt ha⁻¹) vergleichbar. Auch bei Wintergetreide wurde eine hohe Spannweite von Ertrags- und Eintragsdaten gemessen.

Tab.4: Mittlerer Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) und Kohlenstoffeintrag (C-Eintrag) des Wintergetreides mit jeweiliger Spannweite (in Klammern).

Gruppe	Fruchtart	TM-Ertrag	C-Eintrag
		dt ha ⁻¹	
Wintergetreide	Weizen oder Roggen	122 (58-218)	12 (6-20)

Die Punktwolke deutete auf einen linearen Zusammenhang zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag hin (Abb. 3).

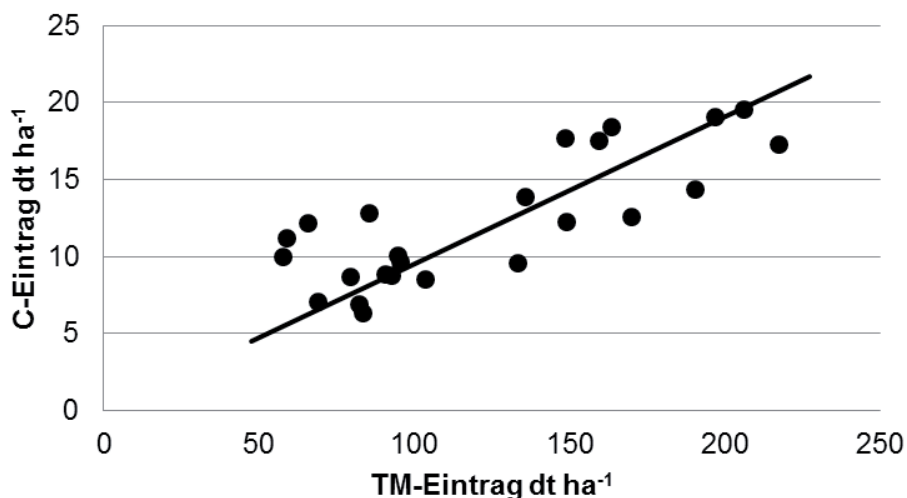


Abb.3: Beziehung zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag bei Wintergetreide geerntet zur Vollreife mit geschätzter Regressionsgerade (lineares Modell).

Auch bei Wintergetreide (Vollreife) konnten mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,50$ die Hälfte der Variation des C-Eintrages mit dem TM-Ertrag erklärt werden (lineares Modell, Tab. 5). Bei der Anwendung einer polynomischen Regression kam es zu einer Erhöhung des Bestimmtheitsmaßes ($R^2 = 0,68$) (best fit model, Tab. 5). Die Steigung der Regressionsgerade (lineares Modell) war bei Wintergetreide mit 0,10 etwas höher als bei Mais mit 0,08 (Tab. 3), das Verhältnis C-Eintrag/TM-Ertrag kann also bei diesen beiden Arten als vergleichbar hoch angenommen werden. Geringere durchschnittliche TM-Erträge von

122 dt ha⁻¹ bei Wintergetreide (Tab. 4) im Vergleich zu Mais (176 dt ha⁻¹, Tab. 2) führten somit auch zu geringeren C-Eintragsmengen. Wie auch beim Mais lagen die Schätzwerte (Steigung der Regressionsgerade) von Wintergetreide deutlich unter den Schätzwerten von Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch (Tab. 3, Tab. 5).

Tab. 5: Best fit model und lineares Modell mit Bestimmtheitsmaßen (R²) von Wintergetreide geerntet zur Vollreife. y=C-Eintrag; x=TM-Ertrag.

Fruchtart	best fit model	R ²	lineares Modell	R ²
Mais	$y=0,0011x^2+0,0225x+7,47$	0,68	$Y=0,10x$	0,50

3.3 Biomasseerträge und C-Einträge bei Zweifruchtsystemen

Ähnlich wie bei den Energiepflanzenarten in Hauptfruchtstellung (Tab. 2) waren die TM-Erträge von WG + Mais und WG + Futterhirse gleich hoch und fielen höher aus als die TM-Erträge von WG + Sudangras (Tab. 6). Die Erträge lagen bei den Zweifruchtsystemen höher als bei den gleichen Energiefruchtarten in Hauptfruchtstellung. Die mittleren C-Einträge von WG + Sudangras (36 dt ha⁻¹) und WG + Futterhirse (40 dt ha⁻¹) lagen deutlich über denen von WG + Mais (26 dt ha⁻¹), der Unterschied war jedoch nicht so deutlich ausgeprägt wie bei den Energiefruchtarten in Hauptfruchtstellung (Tab. 2). Es kam auch bei den Zweifruchtsystemen zu hohen Spannweiten sowohl der TM-Erträge als auch der C-Einträge.

Tab. 6: Mittlerer Trockenmasseertrag (TM-Ertrag) und Kohlenstoffeintrag (C-Eintrag) der Zweifruchtsysteme mit jeweiliger Spannweite (in Klammern). WG = Wintergetreide Grünschnitt.

Gruppe	Fruchtart	TM-Ertrag	C-Eintrag
		dtha ⁻¹	
Zweifruchtsysteme	WG + Mais	193 (138-296)	26 (19-37)
	WG + Sudangras	163 (113-284)	36 (25-47)
	WG + Futterhirse	195 (115-357)	40 (29-61)

Abbildung 4 verdeutlicht, dass kein linearer Zusammenhang zwischen TM-Ertrag und C-Ertrag bei den Zweifruchtsystemen bestand. Auch nicht lineare Modelle konnten keinen Zusammenhang erklären. Lediglich bei WG/Futterhirse bestand ein schwacher linearer Zusammenhang (R² = 0,36) wenn die

Regressionsgerade nicht durch den 0-Punkt gezwungen wurde (Gerade in Abb. 4).

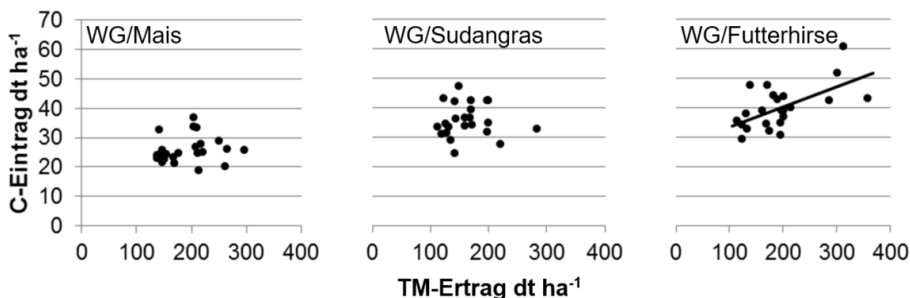


Abb. 4: Beziehung zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag bei den Zweifruchtsystemen Wintergetreide-Grünschnitt(WG)/Mais, WG/Sudangras und WG/Futterhirse.

Eine Abschätzung des C-Eintrags mit Hilfe des TM-Ertrags war also bei den Zweifruchtsystemen nicht möglich. Der Grund hierfür könnte darin liegen, dass es beim Grünschnitt-Getreide zu einem signifikanten Einfluss der N-Düngung auf das Verhältnis von C-Eintrag/TM-Ertrag kam. Die N-Düngung führte zu einem höheren TM-Ertrag aber nicht zu höheren C-Einträgen.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Versuch konnten hohe Ertragsspannweiten der untersuchten Fruchtarten abgedeckt werden, was die Vergleichbarkeit mit in der Praxis erzielten Erträgen ermöglicht. Um den C-Eintrag anhand von TM-Erträgen zu ermitteln, wurde ein homogenes lineares Regressionsmodell gewählt, das es ermöglicht, die Abschätzung mit Hilfe eines einzelnen Schätzwertes (Steigung der Regressionsgeraden) und des TM-Ertrags durchzuführen. Das Modell eignete sich bei den C₄-Gräsern Mais ($R^2 = 0,56$), Sudangras ($R^2 = 0,58$), Futterhirse ($R^2 = 0,57$), dem Mischfruchtssystem Mais/Futterhirse ($R^2 = 0,60$) und Wintergetreide, geerntet zur Vollreife, ($R^2 = 0,50$) gut für die Ermittlung des C-Eintrags. Bei den Zweifruchtsystemen konnte kein Zusammenhang zwischen TM-Ertrag und C-Eintrag festgestellt werden. Nicht lineare Regressionsmodelle eigneten sich generell besser als beschreibendes Modell, sind aber in der praktischen Anwendung komplizierter. Das Verhältnis von C-Eintrag zu TM-Ertrag (Schätzwert)

war bei Mais und Wintergetreide etwa gleich hoch (0,08 und 0,10), während die Fruchtarten Sudangras, Futterhirse und Mais/Futterhirse-Gemisch deutlich höhere Schätzwerte aufwiesen (0,20, 0,15 und 0,17). In der Praxis liegen die Biomasseerträge von Sudangras und Futterhirse oft nur geringfügig unter denen von Mais. Es kann davon ausgegangen werden, dass es durch die höheren Verhältnisse von C-Eintrag/TM-Ertrag bei diesen Arten zu deutlich höheren Netto-C-Einträgen in den Boden kommt. Der C-Eintrag des Mischfruchtensystems lag überraschenderweise nicht zwischen dem C-Eintrag von Mais und Futterhirse in Rein Saat (C₄-Gräser), sondern bei den Eintragungswerten von Futterhirse. Der Anbau eines Mischfruchtensystems kann somit nicht nur die Ertragsstabilität sichern, sondern führt auch zu einer Erhöhung des C-Eintrages in den Boden.

5. Literaturangaben

Bolinder, M., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D., Vandenbygaart, B., 2007: An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118. 29-42.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2014: Humusbilanzierung – eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Fachgruppe I Pflanzenernährung, Produktqualität, Ressourcenschutz, VDLUFA-Standpunkt März 2014.

Danksagung:

Dieses Projekt wird finanziell durch die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe unterstützt (FKZ 22401112).

Kohlenstoff * 1,72 = Humus ?

J. Zimmer¹, A. Bauriegel², B. Kroschewski³

¹LELF Brandenburg, FG Bodenschutz, Düngung, Teltow/Ruhlsdorf, ²LBGR Brandenburg, Dezernat Bodenkunde, ³Humboldt-Universität zu Berlin, FG Biometrie und Versuchswesen

1. Einleitung

Die Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes ist Grundsatz der guten fachlichen Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung zur Umsetzung des § 17 Bundes-Bodenschutz (BMELF, 1999). Aktuelle Aspekte erläutern Vorderbrügge et al. (2015) in der vom BMELF beauftragten Broschüre „Gute fachliche Praxis, Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz“. Darin wird auch auf die Ermittlung des Humusgehaltes von Bodenproben hingewiesen, die im Allgemeinen durch laboranalytische Bestimmung des Gesamtkohlenstoffgehaltes abzüglich des in Karbonaten gebundenen Kohlenstoffs und Multiplikation des Analyseergebnisses mit dem Faktor 1,72 erfolgt (Faktor 2 bei Torfen und Auflagehumus). Demgegenüber ist im Land Brandenburg die kostengünstige Bestimmung des Glühverlustes aufgrund der langjährigen Tradition in der Laboranalytik und der besseren Vergleichbarkeit zu früheren Untersuchungen noch immer Standardmethode zur Ermittlung des Humusgehaltes von Bodenproben aus der Landbau- praxis. Diese Methode bietet durch Division mit dem Faktor 1,72 auch die Möglichkeit, Rückschlüsse auf den Kohlenstoffgehalt zu ziehen.

2. Faktor 1,72

Der Begriff Humus wird zumeist synonym für die organische Bodensubstanz verwendet. Obgleich dieser Begriff nicht allgemein gültig definiert ist, lassen sich im Wesentlichen zwei Verständnisweisen unterscheiden:

- (1) Die organische Bodensubstanz ist die Gesamtheit der toten organischen Substanz in und auf dem Boden (Scheffer und Schachtschabel, 1970, Blume, 2004, Kögel-Knabner, 2010).
- (2) Die organische Bodensubstanz ist die Gesamtheit der abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Substanz im Boden, einschließlich der organischen Verbindungen ihres Ab- und Umbaus (Kubierna, 1948, Mitscherlich, 1949, Schmalfuss, 1952, Müller, 1985, Grün et al., 1988).

Für die Umsetzung und den Vollzug der guten fachlichen Praxis nach § 17 BBodSchG (Anonym, 1998) kommt nur (2) in Frage, da entsprechend der geltenden Vorschriften auf der Bodenoberfläche aufliegende Pflanzenreste vor der Bodenprobenahme zu entfernen sind (MLUV, 2009). Hinzu kommt, dass bei praxisüblicher Probenaufbereitung mittels Siebung (2 mm) keine Trennung von bodenbürtigen Kleinstlebewesen sowie Wurzelkleinstteilen erfolgt, so dass diese bei der Bestimmung miterfasst werden. Kögl-Knabner (2010) verweist zur Korrektur auf die zusätzliche Bestimmung der mikrobiellen Biomasse. Im Sinne der Konkretisierungen des § 17 BBodSchG (BMELF, 1999) wäre ein solches Vorgehen für die Landbaupraxis wirtschaftlich nicht tragbar.

Bereits Mitscherlich (1949), Schmalfluss (1952), Simon (1960) sowie Grün et al. (1988) geben zur Berechnung des Bodenhumusgehalts aus dem analytisch gefundenen Gehalt eines Bodens an organisch gebundenem Kohlenstoff einen Multiplikationsfaktor von 1,724 an. Folgt man Jacob (1948), Simon (1960), Müller et al. (1985), Blume (2004) bzw. Kögel-Knabner (2010) so resultiert dieser Faktor allein aus einem unterstellten Kohlenstoffgehalt im Humus von 58 %. Diese Annahme könnte nach Kononowa (1958) bereits in Arbeiten von Sprengel (1826) begründet sein, während Mitscherlich (1898) auf Arbeiten von Wolff (1864) verweist.

Nach Körschens (2002) ist der Umrechnungsfaktor keine konstante Größe, stattdessen hat man von einem weiten Schwankungsbereich (1,4-3,3) auszugehen. Hinweise zu einem weitem Schwankungsbereich finden sich auch bei Jacob (1949), Schmalfluss (1952), Kononowa (1958), Simon (1960), Gegerich et al. (1994) sowie Klungenfuß et al. (2014). Nach Capriel (2006) ist die Anwendung des einheitlichen Umrechnungsfaktors 1,72 für alle Böden unabhängig von Textur und Bewirtschaftung nicht korrekt, da dieser Faktor nicht allgemein gültig sein kann.

Ob zur Umsetzung der heutigen Anforderungen an die gute fachliche Praxis ackerbaulicher Bodennutzung ein aus dem 19. Jahrhundert überlieferter, nach wie vor als allgemein gültig angesehener einheitlicher Umrechnungsfaktor von 1,72 geeignet ist, soll kritisch hinterfragt werden.

3. Material und Methoden

In die vorliegenden Auswertungen einbezogen wurden:

- Die Daten der Glühverlust- und C_r -Bestimmungen von 1632 Bodenproben, die im Rahmen turnusmäßiger Bodenuntersuchungen im Zeitraum 2001-2013 aus der Ackerkrume zweier ackerbaulicher Feldversuche am Versuchstandort Güterfelde/Land Brandenburg (544 mm, 9,2 °C, AZ 23-31, Su2, Ton: <3 %, $CaCO_3$ -frei) entnommen wurden.
 - a) Ökologische Fruchtfolge Güterfelde (Öko-FF)
 - 7-feldrige Fruchtfolge (Knautgras-Kartoffeln-Winterroggen-Lupine-Triticale-Silomais-Winterroggen+Knautgras-Untersaat, wobei jede Kulturart jährlich im Feld stand)
 - zwei Bodenbearbeitungsvarianten (Pflug, pfluglos)
 - zwei Düngungsvarianten (mit und ohne Stalldung)
 - 28 Prüfglieder mit vier Wiederholungen
 - Beprobungstiefen: 0-15 cm (n=76), 15-30 cm (n=576)
 - b) Humusreproduktionsversuch (DG, 2003)
 - Getreidefruchtfolge (Winterweizen-Triticale-Winterroggen)
 - pfluglose Bodenbearbeitung
 - zwei N-Mineraldüngungsvarianten (mit und ohne Mineral-N)
 - drei organische Düngungsvarianten (ohne Düngung, mit Getreidestroh, mit Stalldung)
 - sechs Prüfglieder mit 4 Wiederholungen
 - Beprobungstiefen: 0-15 cm (n=240), 15-30 cm (n=240)
- Beide Versuche wurden mit der Varianzanalyse ausgewertet. Signifikante Unterschiede waren bei beiden Merkmalen weder zwischen den Probenahmetiefen noch zwischen den Prüfgliedern (mit/ohne Pflugeinsatz, mit/ohne organische Düngung, mit/ohne mineralische N-Düngung) nachweisbar.
- Die im Fachinformationssystem Bodengeologie des Landes Brandenburg dokumentierten Glühverlust- und C_{org} -Bestimmungen von 1.095 Bodenproben, die im Rahmen der bodenkundlichen Landesaufnahme aus der Ackerkrume ackerbaulich genutzter Mineralböden entnommen wurden.

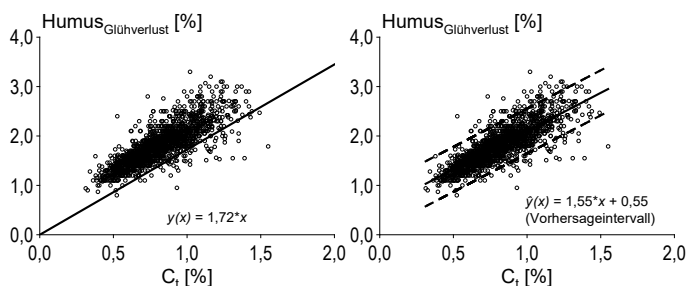
Sämtliche Laboranalysen wurden im Landeslabor Berlin-Brandenburg nach geltenden Methodenstandards durchgeführt (DIN EN 15169, DIN 19684 Teil 3, DIN ISO 10694).

Für die Auswertung wurden STATISTICA 12 (© StatSoft, Inc., Tulsa, USA,

1984-2014) für die elementare Statistik und grafischen Darstellungen sowie SAS 9.4 (© SAS Institute Inc., Cary, USA, 2002-2012) mit den Prozeduren Proc Reg und Proc Nlin für die Regressionsanalysen genutzt. Als Voraussetzung zur Regressionsanalyse wurden signifikante Extremwerte, wie von Lohninger (2012) beschrieben, eliminiert und die Vorgaben von Archontoulis und Miguez (2015) geprüft. Die Funktionsauswahl erfolgte anhand des Akaike-Kriteriums (AIC, smaller is better) nach Hurvich und Tsai (1989).

4. Ergebnisse

Für den Standort Güterfelde/Brandenburg und die im Fachinformationssystem Bodengeologie des Landes Brandenburg dokumentieren Mineralböden ackerbaulicher Bodennutzung wurden deutlich vom konstanten Faktor 1,72 abweichende Humus/C-Verhältnisse ermittelt (Abb. 1 und 2).



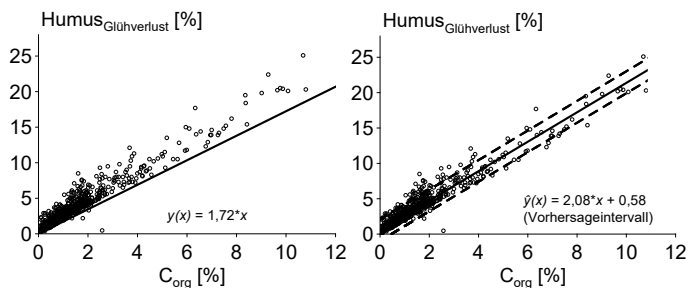
Ansatz	Funktion	R^2_{adj}	S_{Rest}	95%-Vorhersage
Faktor	$y(x) = 1,72 * x$	-	-	-
$\hat{y}_{linear}(x)$ ohne Konstante	$\hat{y}(x) = 2,18 * x$	0,54	0,27	$\hat{y}(x) \pm 0,53$
$\hat{y}_{linear}(x)$ mit Konstante	$\hat{y}(x) = 1,55 * x + 0,55$	0,66	0,23	$\hat{y}(x) \pm 0,46$
bestfit	$\hat{y}(x) = 3,34/2 * \{1 + 2/\pi * \arctan[1,64 * (x - 0,72)]\}$	0,66	0,23	$\hat{y}(x) \pm 0,45$

Abb. 1: Humus_{Glühverlust}/C_t-Verhältnis in der Ackerkrume am Standort Güterfelde (2001-2013, Öko-FF/DG 2003, n = 1625)

Die Anpassung einer linearen Funktion ohne Konstante an beide Punktwolken, was einem mittleren Umrechnungsfaktor entsprechen würde, wäre naheliegend. Tatsächlich sind lineare Funktionen mit einem konstanten Term deutlich besser angepasst. Diese Funktionen lauten:

$$\hat{y}(x) = 1,55 * x + 0,55 \text{ (Güterfelde, Abb. 1, rechts)}$$

$$\text{und } \hat{y}(x) = 2,08 * x + 0,58 \text{ (FIS Bodengeologie, Abb. 2 rechts).}$$



Ansatz	Funktion	R ² _{adj}	s _{Rest}	95%-Vorhersage
Faktor	$y(x)=1,72 \cdot x$	-	-	-
$\hat{y}_{linear}(x)$ ohne Konstante	$\hat{y}(x)=2,29 \cdot x$	0,92	0,89	$\hat{y}(x) \pm 1,74$
$\hat{y}_{linear}(x)$ mit Konstante	$\hat{y}(x)=2,08 \cdot x + 0,58$	0,92	0,77	$\hat{y}(x) \pm 1,52$
best fit	$\hat{y}(x)=75,0-74,7 \cdot e^{(-0,031 \cdot x)}$	0,92	0,76	$\hat{y}(x) \pm 1,50$

Abb. 2: Humus_{Gluehverlust}/C_{org}-Verhältnis in der Ackerkrume von ackerbaulich genutzter Mineralböden im Land Brandenburg (FIS Bodengeologie, n = 1080)

Folglich sind für beide Datenpools weder der als allgemein gültig angesehene Faktor von 1,72 noch irgendein anderer konstanter Umrechnungsfaktor ableitbar. Die Anpassung verschiedener nichtlinearer Funktionen erbrachte nur marginale Verbesserungen und wird nicht weiter beachtet.

Soll eine Berechnung von Bodenumus aus dem Bodenkohlenstoff eines beliebigen Ackerbaustandortes im Land Brandenburg erfolgen, sind die für die ackerbaulich genutzten Mineralböden im Land Brandenburg (FIS Bodengeologie) ermittelten enormen Schwankungsbreiten zu berücksichtigen (95 % – Vorhersageintervall für Humusgehalte: ca. ±1,5 %). Damit wären auch die seit langem aus der Literatur bekannten Hinweise angemessen berücksichtigt (Jacob, 1949, Schmalfluss, 1952, Kononowa, 1958, Simon, 1960, Gegerich et al., 1994, Körschens, 2002, Klingenfuß et al., 2014).

5. Fazit

Aktuell kann die Nutzung des Faktors 1,72 bei Umsetzung und Vollzug des § 17 BBodSchG (Anonym, 1998) nicht empfohlen werden. Humusuntersuchungen sollten, wie bereits von Simon (1960), Körschens (2002) und Capriel (2006)

empfohlen, direkt den organischen Kohlenstoff (C_{org}) oder aber bei kalkfreien Böden den Gesamt-Kohlenstoff (C_t) bestimmen. Alternativ kann bei tonarmen Böden die kostengünstige Bestimmung des Glühverlustes genutzt werden.

5. Literaturangaben

- Anonym, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutzgesetz – BbodSchG). BGBl. I S. 502 vom 17. März 1998, zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 30 G v. 24.02.2012 | 212.
- Archontoulis, S.V., Miguez, F.E., 2015: Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. *Agron. J.* 107, 786-798.
- Blume, H.-P., 2004: Böden als Naturkörper. IN: Blume, H.-P. (Hrsg.) *Handbuch des Bodenschutzes*, 3. Auflage, ecomed Verlagsgesellschaft, Landberg am Lech: 4-28.
- BMELF, 1999: *Gute fachliche Praxis der landwirtschaftlichen Bodennutzung*. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Bonn, 24 S.
- Capriel, P., 2006: Standorttypische Humusgehalte von Ackerböden in Bayern. *Schriftenreihe der LfL Bayern 16/2006*, LfL Bayer (Hrsg.), Freising: 41 S.
- DIN 19684, Teil 3, 1977: *Bodenuntersuchungen im Landwirtschaftlichen Wasserbau, Chemische Laboruntersuchungen, Bestimmung des Glühverlustes und des Glührückstandes*, Beuth Verlag, Berlin 30 und Köln 1.
- DIN EN 15169, 2007: *Charakterisierung von Abfall – Bestimmung des Glühverlustes in Abfall, Schlamm und Sedimenten*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 10694, 1996: *Bodenbeschaffenheit – Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse)*. Beuth Verlag, Berlin.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M., Ellert, B.H., 1994: Towards a minimum data set to assess soil organic-matter quality in agricultural soils, *Canadian Journal of Soil Science*. 74, 367-385.
- Grün, M., Hundt, I., Jakob, F., Kerschberger, M., Krähmer, R., Krause, O., Machelett, B., Neubert, P., Podlesak, W., Richter, D., Rubach, G., Trier, K., Vielemeyer, H.-P., Witter, B., Wrazidlo, W., 1988: *Agrichemische Beurteilung von Böden und Pflanzen*. Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR (Hrsg.). agrarbuch S 4518. 151 S.

- Hurvich, C.M., Tsai, C.L., 1989: Regression and time series models in small samples. *Biometrika* 76, 297-397.
- Jacob, A., 1949: *Der Boden – Kurzes Lehrbuch der Bodenkunde*. Akademie-Verlag, Berlin, 244 S.
- Klingenfuß, C., Roßkopf, N., Walter, J., Heller, C., Zeitz, J., 2014: Soil organic matter to soil carbon ratios of peatland soil substrates, *Geoderma* 235-236, 410-417 (DOI: [dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.010](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.010)).
- Kononowa, M.M. 1958: *Die Humusstoffe des Bodens*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 341 S.
- Kögel-Knabner, I., 2010: Organische Bodensubstanz. IN: Blume H.-P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretzschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., Thiele-Bruhn, S., Welp, G., Tippkötter R.: *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*, 16. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg: 51-81.
- Körschens, M., 2002: Die Rolle der organischen Bodensubstanz für Bodenfruchtbarkeit und Umwelt. *Bodenfruchtbarkeit und multifunktionale Landwirtschaft. Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.)*. Frankfurt/Main: 51-80.
- Kubiena, W. 1948: *Entwicklungslehre des Bodens*. 1948. IN: Laatsch W. (1954): *Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden*. 3. Auflage des Buches „Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden“. Verlag von Theodor Steinkopff. Dresden und Leipzig. 277 S.
- Lohninger H., 2012: Signifikanz von Extremwerten. IN: *Grundlagen der Statistik*. eBook, www.statitics4u.info, abgerufen am 24.08.2015.
- Mitscherlich, E.A., 1898: *Beurteilung der physikalischen Eigenschaften des Ackerbodens*. Diss. Kiel. IN: Mitscherlich (1949).
- Mitscherlich, E.A., 1949: *Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner*. 5. Auflage, Max Niemeyer Verlag, Halle/Saale, 364 S.
- MLUV, 2009: *Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln – Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt*. Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (Hrsg.), TZ 178/09, Frankfurt (Oder), 39 S.
- Müller, G., 1985: Organische Bodensubstanz. IN: *Autorenkollektiv: Hochschul-lehrbuch Bodenkunde*, 2. Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin: 73-135.
- Scheffer F., Schachtschnabel, P., 1970: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 8. Auflage Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 461 S.

- Schmalfuss, K., 1952: Pflanzenernährung und Bodenkunde. Verlag S. Hirzel. Leipzig. 274 S.
- Simon, W., 1960: Sandige Ackerböden – Bodenkunde, Pflanzenbau, Ökonomie. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin, 604 S.
- Sprengel, C., 1826: Über Pflanzenhumus, Humussäure und humussaure Salze, Kastners Arch. Ges. Naturlehre, 8, 145, IN: Kononowa (1958).
- Vorderbrügge T., Bach M., Brandhuber R., Bug J., Schrader S., Weyer T., 2015: Vorsorge zur Erhaltung des standorttypischen Humusgehaltes, IN: Gute fachliche Praxis Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz, 2. Auflage, aid infodienst (Hrsg.), Bonn: 10-19.
- Wolff, E., 1864: Entwurf zur Bodenanalyse. Zeitschrift für analytische Chemie. 3, 1:85-115.

Der Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (DüV) trägt kaum dazu bei, die P-Belastung der Umwelt zu mindern

N. Claassen, W. Römer, K. Dittert

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Abt. Pflanzenernährung und Ertragsphysiologie, Georg-August-Universität Göttingen

1. Hintergrundinformation

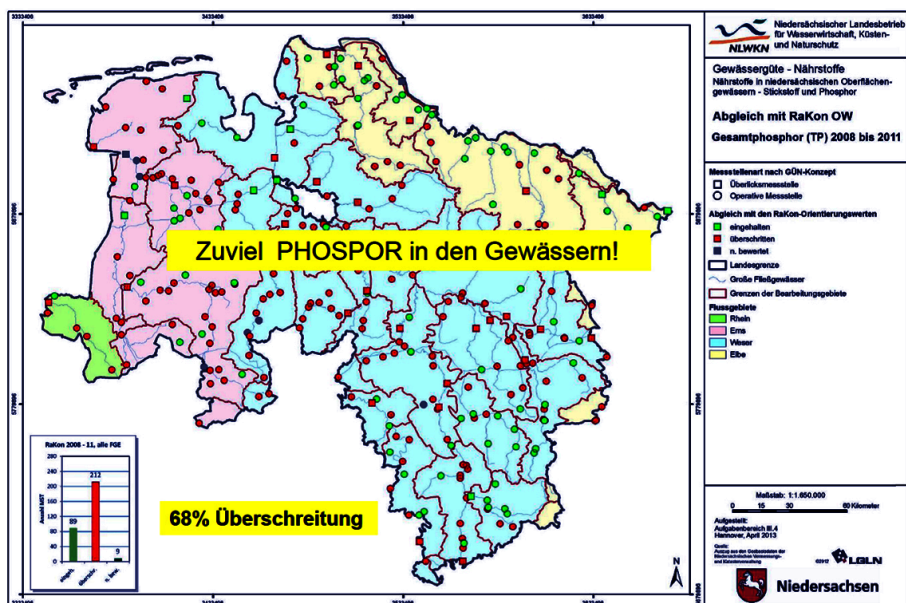


Abb. 1: Einhaltungen (helle bzw. grüne Symbole) bzw. Überschreitungen (dunkle bzw. rote Symbole) der Orientierungswerte für Gesamtposphor in Oberflächengewässern (Orientierungswerte OW: 0,1 bzw. 0,15 mg Gesamt-P L⁻¹; NLWKN, 2013) (die farbige Version ist als Download unter <http://vdlufa.de/download/KB2015.pdf> verfügbar)

Zwei Drittel der Oberflächengewässer Niedersachsens sind mit P eutrophiert (Abb. 1). Diese überhöhten, ökologisch problematischen P-Konzentrationen werden u. a. durch hohe und sehr hohe P-Gehalte landwirtschaftlich genutzter Flächen verursacht.

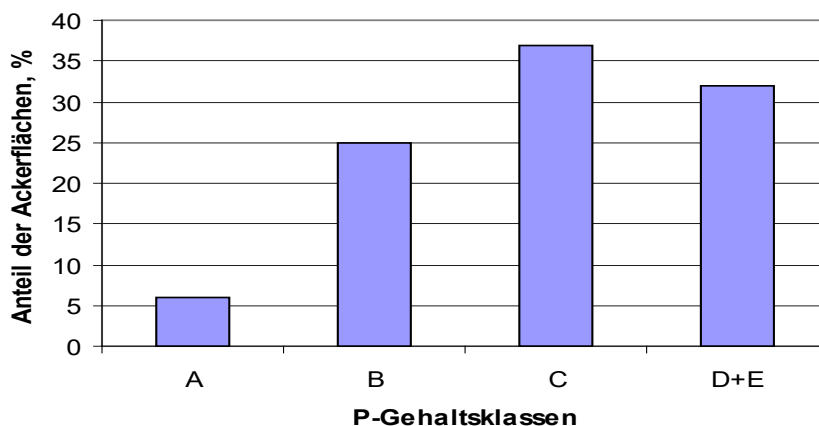


Abb.2: Prozentuale Verteilung der P-Gehaltsklassen (GK) in Deutschland (ohne Niedersachsen).

Bundesweit hat ein Drittel der Ackerflächen einen überhöhten P-CAL-Gehalt (GK D und E; Abb. 2). Sie haben einen überschüssigen Vorrat an verfügbarem P (oberhalb GK C) von 1000-4000 kg P_2O_5 /ha, (Römer, 2014).

2. Frage

Trägt die novellierte Düngeverordnung (DüV) nach dem Entwurf vom 22.06.2015 dazu bei, die P-Versorgung auf Flächen mit überhöhten P-Gehalten zu reduzieren?

Auf Böden in GK D (und E) kann die P-Düngung über viele Jahre ohne Ertrags- einbußen ausgesetzt werden (Abb. 3). Dies ist eine wirksame Maßnahme, hoch oder sehr hoch P-versorgte Böden in ihren P-CAL-Gehalten abzusenken (Abb. 4).

3. Ergebnisse

Der Entwurf der DüV vom 22.06.2015 sieht somit vor, dass auch weiterhin Böden mit hohen P-CAL-Gehalten (GK D und E) mit Phosphat gedüngt werden dürfen und zwar in Höhe der P-Abfuhr oder sogar bis zu 10 kg P_2O_5 /ha darüber hinaus (Tab. 1). Dies steht unseren Erkenntnissen einer am Pflanzenbedarf ori-

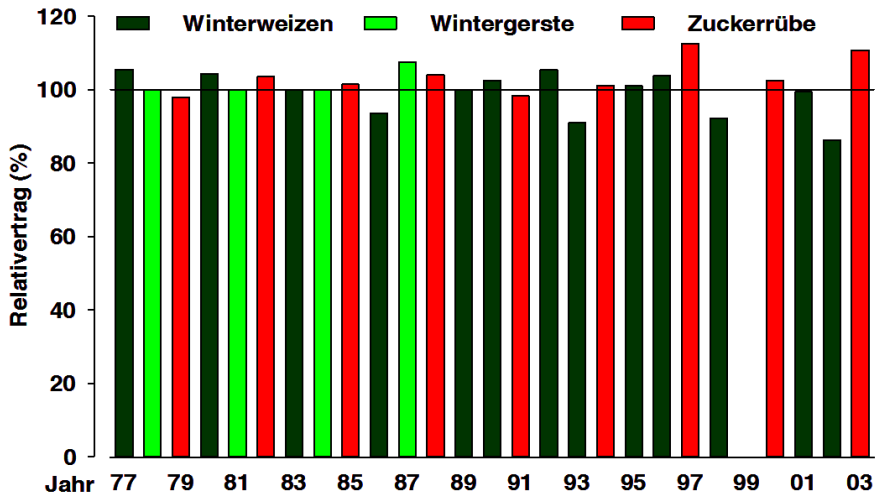


Abb. 3: Relativvertrag der P-0 gegenüber der P-180 Variante (100 %),(Börry, Lössboden).

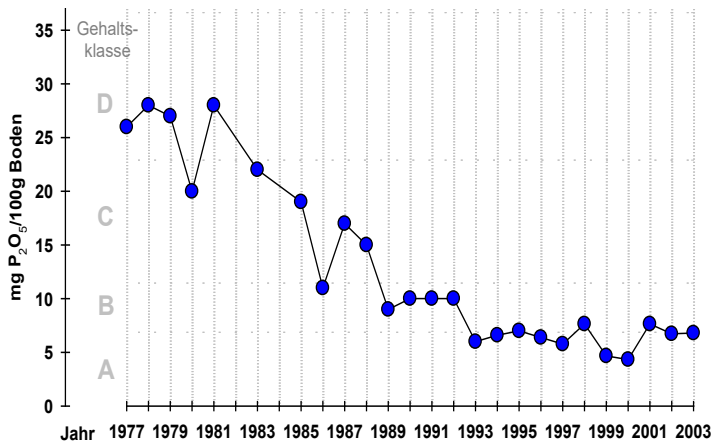


Abb. 4: Verlauf der CAL-P-Gehalte in der P-0 Variante (Börry, Lössboden).

entierten Düngung (Abb. 3) entgegen. Mit der im aktuellen Novellierungsentwurf vorgeschlagenen Regelung werden in hoch und sehr hoch versorgten Böden die P-CAL-Gehalte zukünftig nicht abgesenkt, es ist vielmehr zu erwarten, dass sie auch zukünftig langsam weiter ansteigen werden. Die Gefahr der Belastung von Gewässern mit P wird somit nicht gemindert, sie wird vielmehr leicht ansteigen.

Tab. 1: Göttinger Empfehlungen zur P-Düngung im Vergleich zum Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (DüV) vom 22.06.2015

P-Gehalts- klasse (GK)	CAL-P mg P ₂ O ₅ / 100 g Boden	Zulässige P-Düngung gem. Ent- wurf DüV Juni 2015 §3	P-Düngung lt. Göttinger Empfeh- lung	Nährstoffvergleich Zulässiger Saldo kg P ₂ O ₅ /(ha*a)	
				Entw. DüV Juni 2015 § 9 gültig ab 2018	Göttinger Empfeh- lung
A sehr niedrig	<5		>P-Abfuhr	≤10	>>20
B niedrig	5–9		P-Abfuhr	≤10	0–20
C anzustreben	10–20		P-Abfuhr	≤10	0
D hoch	21–34	kleiner/ gleich P-Abfuhr ²⁾	0	≤10 ¹⁾	negativ, kein Ersatz der P-Abfuhr
E sehr hoch	>35	kleiner/ gleich P-Abfuhr ²⁾	0	≤10 ¹⁾	negativ, kein Ersatz der P-Abfuhr

¹⁾ Kommentar der Göttinger Gruppe: Ein Saldo größer als 0 in GK D und E ist nicht kohärent mit der in der DüV ausgesprochenen generellen Empfehlung, in diesen GK höchstens die P-Abfuhr zu ersetzen.

²⁾ Fußnote des Novellierungsentwurfs v. 22.06.2015: „Wenn nachteilige Veränderungen von Gewässereigenschaften in Folge des Aufbringens phosphathaltiger Düngemittel festgestellt werden, kann die nach Landesrecht zuständige Stelle anordnen, dass nur geringere Phosphatmengen aufgebracht werden dürfen, oder das Aufbringen phosphathaltiger Düngemittel untersagen“.

4. Fazit

Es ist nicht erkennbar, dass die Novellierung der DüV in ihrer aktuell vorgeschlagenen Form dazu beitragen wird, den Anteil der Flächen mit überhöhten P-Gehalten zu reduzieren. Damit wird das Ziel, Gewässer vor Nährstoffeinträgen zukünftig besser zu schützen – insbesondere P aus der Landwirtschaft – nicht erreicht werden.

5. Literaturangaben

Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), 2013: Gewässergüte – Nährstoffe, Nährstoffe in Niedersächsischen Oberflächengewässern – Stickstoff und Phosphor, Abgleich mit RaKon OW, Gesamtphosphor (TP) 2008 bis 2011. Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung, Hannover April 2013.

Römer, W., 2014: Die Versorgung der deutschen Ackerböden mit Phosphat und die Herausforderungen der Zukunft. Boden-schutz, 4. 14, 125-130.

Einfluss einer langjährigen P-Düngung auf Erträge und Dynamik der CAL-P-Gehalte in einem Lösslehm Boden

W. Römer, R. Hilmer, N. Claassen, N. Nöhren, K. Dittert
Georg-August-Universität, Göttingen

1. Vorbemerkungen

Langfristige Phosphatdüngungsversuche sind eigentlich dazu da, in einzelnen Regionen das optimale P-Düngungsregime (hohe Erträge bei umweltverträglicher Landbewirtschaftung) zu ergründen. Dazu wurden in der Vergangenheit viele Hundert wertvolle Feldversuche im ganzen Land durchgeführt und wichtige Erkenntnisse gewonnen (z. B. Kerschberger et al. 1997). Man würde daher erwarten, dass dieses wohl fundierte und gesicherte Wissen nun auch in die Erarbeitung der neuen Düngeverordnung einfließt. Im Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung vom Dezember 2014 war dazu ein zaghafter Versuch zu erkennen, denn es war vorgesehen, die P-Zufuhr zu hoch P-versorgten Böden (Gehaltsklassen, (GK) D und E) ab 2018 bzw. 2020 deutlich zu reduzieren. Davon ist nun im Entwurf vom Juni 2015 nicht mehr die Rede. Diesem neuerlich aktualisierten Entwurf zufolge soll nun auf allen Böden, also von GK A bis E ein P-Saldo von 10 kg P₂O₅/ha erlaubt werden. Mit anderen Worten, es können nun hoch versorgte, überversorgte und erheblich überversorgte Böden (GK D und E) in ihren P-Reserven noch weiter erhöht werden, obwohl bekannt ist, dass sie bereits Bodengehalte aufweisen, die dem Gewässerschutz entgegenstehen (z. B. Heckrath et al. 1995). Es stellt sich die Frage, auf welcher Basis dieser Vorschlag entwickelt wurde, denn er steht im deutlichen Kontrast zu allen früheren und aktuellen Erkenntnissen der wissenschaftlichen Forschung. Es muss gefragt werden, wo die wissenschaftlich oder auch nur sachlich nachvollziehbare Begründung für dieses Vorgehen liegt. Für Wissenschaftler, die sich seit z. T. sehr vielen Jahren um eine fachgerechte Düngung bemühen, ist dieser völlig unbegründete Vorschlag nicht hinnehmbar!

Unabhängig von dieser aktuellen Diskussion ist es Aufgabe der Wissenschaft, an wissenschaftlich überprüfbarem Erkenntnisfortschritt zu arbeiten und u. a. auch die z. T. mühevollen Arbeit in Feldversuchen, z. B. an der Universität Göttingen fortzusetzen, denn die Zahl der langfristigen Düngungsversuche ist in Deutschland stark zurückgegangen. Sowohl für die landwirtschaftliche Praxis als auch für die

Ausbildung der Studierenden werden Resultate benötigt, die jüngeren Datums sind, damit neben Ergebnissen, die 20 oder 30 Jahre alt sind, auch aktuelle Ergebnisse vorliegen, denn die Bedingungen unter denen produziert wird, ändern sich permanent.

Auf dem Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen wurde 1983 ein Versuch mit dem Ziel angelegt, die standortgerechte Höhe der P-Düngung sowie Grenzwerte für diagnostische Untersuchungen zu bestimmen. Dabei wurden Düngermenge, Düngerform, Zeitpunkt der Düngung und der Verbleib der organischen Substanz auf dem Feld variiert. Die Düngungshöhe ist am Nährstoffentzug durch Abtransport des Erntegutes vom Feld orientiert. Der Versuchstyp ist eine Anlage von Parzellen als Block in vierfacher Wiederholung (vgl. Ladewig et al. 1992). Frühere Resultate: Vgl. Römer et al. 2004, 2005, 2009, 2014.

2. Versuchsfragen

Wie wirken sich bei einem Ausgangs-CAL-P-Gehalt von 5-7 mg/100 g Boden unterschiedliche P-Düngungsstrategien auf die Erträge und die CAL-P-Gehalte im Boden aus?

Die P-Düngung erfolgte in Höhe der einfachen P-Abfuhr (jährlich 25 kg P/ha) in Form von:

1. Triplesuperphosphat: P1 TSP;
2. Rohphosphat: P1 Hyperphosphat;
3. in organischer Form: P1 Org – die gesamte oberirdische Pflanzenmasse bleibt quasi als Dünger auf dem Feld; die P-Bilanz ist somit gleich „Null“;
4. langjährige Unterlassung der P-Düngung: P0

3. Versuchsanlage

Ort: Versuchsgut Reinshof der Universität Göttingen

Design: randomisierte Blockanlage
4 Wiederholungen á 12 m x 12 m

Boden: Auenlehm aus Löss

Fruchtfolge: ZR* – WW – WG

*ZR = Zuckerrübe, WW = Winterweizen,

WG = Wintergerste, Ersatz der Zuckerrübe durch
Winterraps ab 2006

Klima: mittlere Jahrestemperatur: 8,7 °C
mittlere Niederschlagsmenge: 645 mm

N-, K-Düngung und Pflanzenschutz wurden ortsüblich durchgeführt.

Tab. 1: Kenndaten des Bodens in der Krume (0-30 cm) zu Versuchsbeginn 1983

Ton	16 %
Schluff	61 %
Sand	23 %
Humus	2,0 %
CAL-P	5-7 mg/100 g Boden
CAL-K	9-12 mg/100 g Boden
pH(CaCl ₂)	7-7,2

4. Ergebnisse

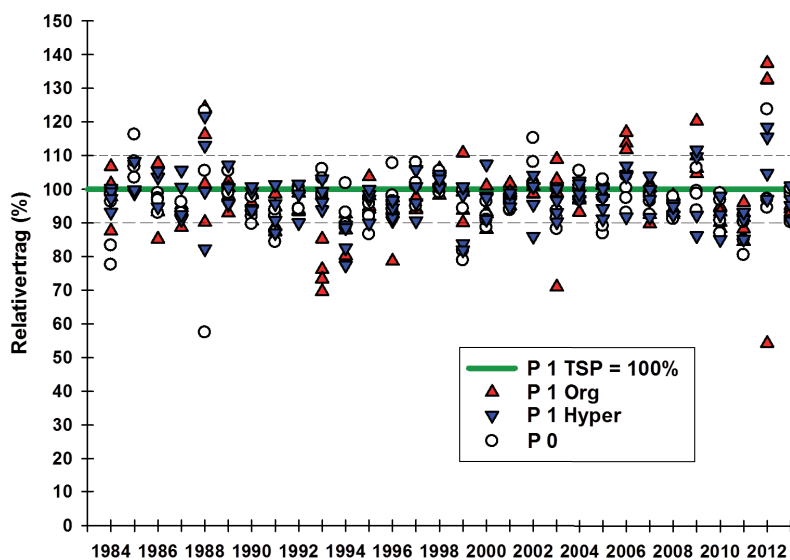


Abb. 1: Relativerträge in Abhängigkeit von der P-Düngung in den Jahren 1984-2013

Abbildung 1 zeigt die Relativverträge der vier untersuchten Düngungsvarianten (Ertrag der Variante P1 TSP = 100 %) im Untersuchungszeitraum, dargestellt sind die Werte der vier Wiederholungen.

- Auf dem Lösslehm-Boden hat die Unterlassung der P-Zufuhr im Laufe der 30 Jahre bisher nicht zu einem klaren Ertragsabfall mit der Zeit geführt.
- Die Erträge der mit Rohphosphat (P1 Hyper) oder org. P gedüngten Variante (P1 Org) lagen überwiegend im Bereich der TSP-Variante $\pm 10\%$ (gestrichelte Linien).

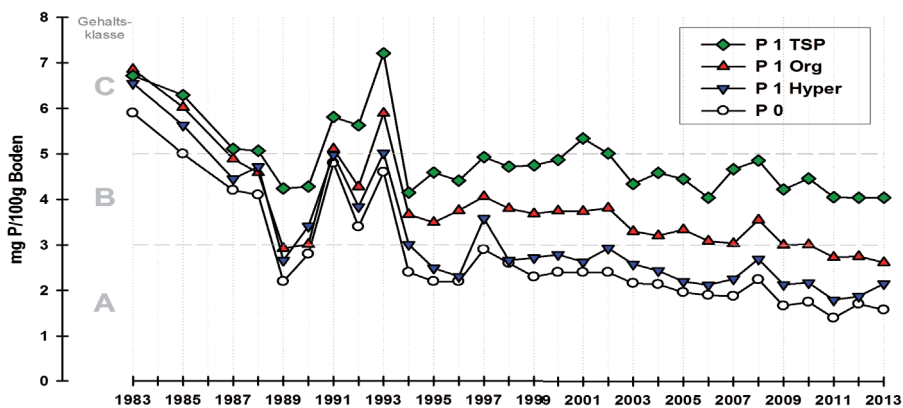


Abb. 2: Verlauf der CAL-P-Gehalte in der Krume eines Lössbodens (Reinshof) in Abhängigkeit von der jährlichen P-Gabe (P-Gehaltsklassen nach Landwirtschaftskammer Niedersachsen, März 2015)

- Abbildung 2 zeigt nach beträchtlichen Schwankungen der CAL-P-Gehalte in den ersten 10 Jahren ab 1994 bis 2013 in der TSP-Variante – also bei Ersatz der P-Abfuhr –, dass der P-Gehalt nahezu gleich blieb, also ein Gleichgewicht erreicht war.
- Bei Unterlassung der P-Zufuhr durch eine P-Düngung sank der CAL-P-Wert in 20 Jahren kontinuierlich bis auf 2 mg P/100 g ab. Ein Ertragsabfall konnte in diesem Zeitraum jedoch nicht beobachtet werden! (s. Abb. 1).
- Die sehr ähnliche Tendenz der Abnahme der CAL-P-Werte auch in absoluter Hinsicht zeigte die Rohphosphat-Variante (P1 Hyper).

Abbildung 3 zeigt Ergebnisse einer P-Fraktionierung des Bodens ausgewählter Versuchsglieder, die die mögliche Ursache für das Absinken der CAL-Werte der Rohphosphat-Variante erklären.

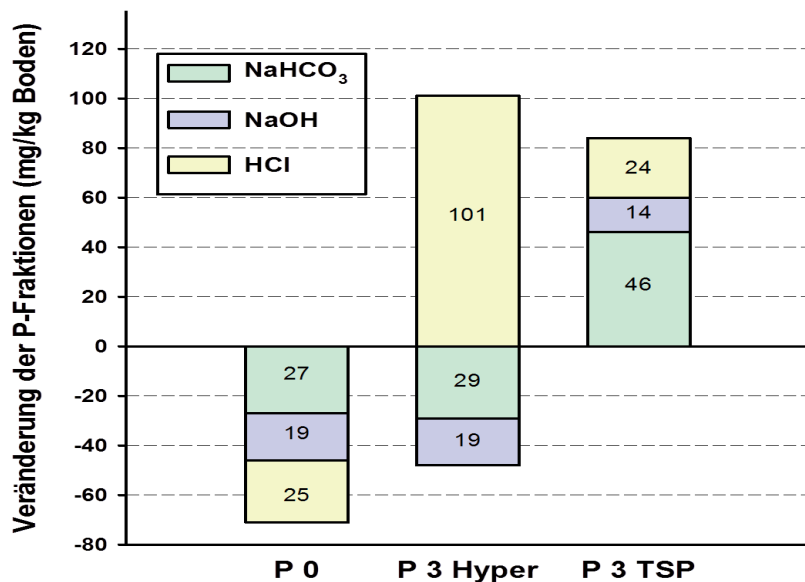


Abb.3: Veränderungen der P-Fractionen des Bodens (NaHCO₃-lösl. P_i, NaOH-lösl. P_i, HCl-lösl. P_i) auf ausgewählten P-Parzellen (1983-2003, Reinshof; nach Myint, 2005).

Varianten: P0=ohne P-Düngung,
 P3Hyper=75 kg P/ha als Hyperphosphat,
 P3TSP=75 kg P/ha als Triplesuperphosphat (TSP),

Stroh und Blatt verblieben bei allen Varianten auf dem Feld.

- In der ungedüngten Variante (P 0) sanken die P-Gehalte innerhalb von 20 Jahren in allen drei untersuchten P-Fractionen ab.
- Wurde Rohphosphat (P 3 Hyper) gedüngt, ernährten sich die Pflanzen aus den gleichen P-Fractionen (NaHCO₃, NaOH) wie die ungedüngten Pflanzen und der P des Rohphosphates ging offenbar vollständig in die HCl-lösliche Fraktion ein, denn diese stieg dramatisch an. Das Rohphosphat-P ging auf diesem Standort offenbar ganz in den nicht-pflanzenverfügbaren Bodenvorrat ein, erscheint somit dauerhaft als nicht pflanzenverfügbar!

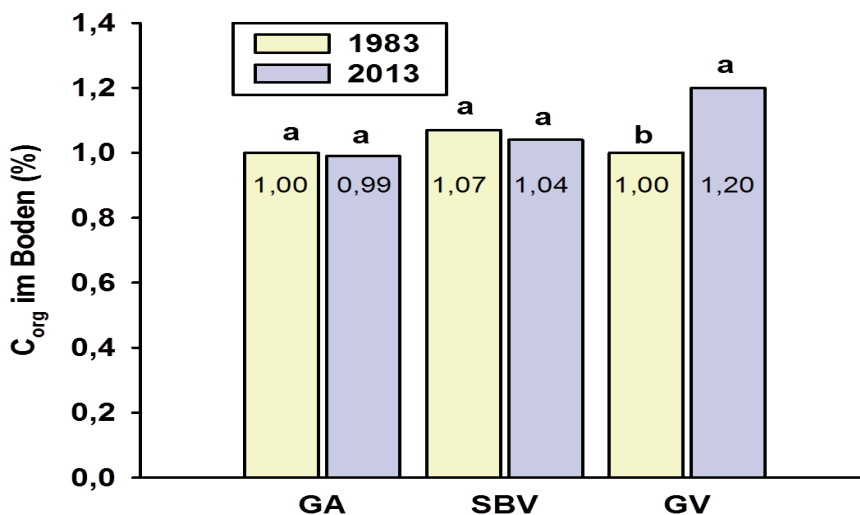


Abb. 4: Veränderungen der C-Gehalte im Boden ohne P-Mineraldüngung von 1983 bis 2013 bei unterschiedlicher Zufuhr von Pflanzenresten; Nöhren, 2014.

Abbildung 4 deutet eine Erklärung für das Absinken der CAL-Werte an, wenn P in Form des gesamten Erntegutes „gedüngt“ wurde:

- Während in der Variante, in der die gesamte oberirdische Masse abgefahren wurde (GA), bzw. Stroh und ZR-Blatt auf dem Feld verblieben (SBV), die C-Gehalte in 30 Jahren konstant blieben, sind sie in der Variante mit organischer P-Düngung (Gesamtpflanzenverbleib, GV) auf 120% angestiegen. Es wird daher vermutet, dass zumindest ein Teil des org. gebundenen P in der Humusfraktion enthalten ist, offensichtlich wird er aber nicht von der CAL-Extraktion erfasst. Detaillierte Humus-P-Analysen stehen aus.

5. Fazit

Der Ersatz der P-Abfuhr in Form von TSP hält den CAL-Wert im Grenzbereich der Gehaltsklasse B/C über 20 Jahre konstant bei hohem Ertragsniveau.

Rohphosphat kann auf dem untersuchten Boden nicht als P-Dünger dienen, da es offenbar keinen Beitrag zu den von den Pflanzen bevorzugten P-Fractionen (NaHCO_3^- , NaOH-Fraktion) liefert.

Die langjährige Nutzbarkeit des Phosphates aus pflanzlichen P-Verbindungen (z. B. Phytate?) ist zu hinterfragen.

6. Literaturangaben

- Heckrath, G., Brookes, P.C., Poulton, P.R., Goulding, K.W.T., 1995: Phosphorus leaching from soils containing different phosphorus concentrations in the Broadbalk Experiment. *J. Environ. Qual.* 24, 904-910.
- Kerschberger, M., Hege, U., Jungk, A., 1997: Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf. Standpunkt. VDLUFA, Darmstadt, <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/0-4-phosphor.pdf>.
- Ladewig, E., Römer, W., Jungk, A., 1992: Langzeitversuch zur Höhe der P- und K-Düngung und Grenzwerten in Boden und Pflanze. 104. VDLUFA-Kongress Göttingen, Exkursionsführer, 28-35.
- Myint, K., 2005: Short and long-term P dynamics of various P fractions in the field and in the rhizosphere. Dissertation, Fakultät für Agrarwissenschaften der Universität Göttingen, Cuvillier Verlag Göttingen, 18.
- Nöhren, N., 2014: Entwicklung der Kohlenstoffgehalte eines Lehmbodens bei unterschiedlicher Rückfuhr organischer Residuen in einem Langzeitversuch. Bachelorarbeit an der Fakultät für Agrarwissenschaften der Universität Göttingen.
- Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., Märländer, B., 2004: Reaktion der Zuckerrübe auf Phosphordüngung – Ergebnisse eines 20jährigen Feldversuchs. *Zuckerrübe* 6, 291-293.
- Römer, W., Claassen, N., Steingrobe, B., Hilmer, R., 2005: P- und K-Düngung – Reaktion von Winterweizen und Wintergerste auf die P- und K-Düngung in einem 20-jährigen Feldversuch. *Getreide-Magazin*, 10. Jg. 4, 238-242.
- Römer, W., Hilmer, R., 2009: Welche P-Gehalte im Boden brauchen wir und welche Möglichkeiten zur bedarfsgerechten P-Versorgung der Kulturpflanzen gibt es? Vortrag auf der internen Frühjahrstagung des VDLUFA in Karlsruhe, 10.-11.3.2009.
- Römer, W., 2014: Die Versorgung der deutschen Ackerböden mit Phosphat und die Herausforderungen der Zukunft. *Bodenschutz* 4 . 14, 125-130.

Wie harmonisch ist die Nährstoffversorgung der landwirtschaftlich genutzten Böden in Baden-Württemberg?

W. Übelhör, H. Hartwig

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

1. Einleitung

Mit den in Baden-Württemberg gesammelten Ergebnissen der Grunduntersuchung von Böden (K, P, Mg und pH-Wert) wurden bisher die Nährstoffe nur einzeln ausgewertet und häufig in Karten dargestellt.

Jetzt soll die Beziehung von jeweils zwei Nährstoffen zueinander untersucht werden, wobei davon ausgegangen wird, dass die Nährstoffversorgung immer dann harmonisch ist, wenn zwei Nährstoffe sich in der gleichen Gehaltsklasse befinden.

2. Material und Methoden

Die Daten werden als SAS-Datei gespeichert und mit diesem Programm auch ausgewertet bzw. auf Gemeindeebene aggregiert. Für die Diagrammerstellung stehen SigmaPlot und die Office-Programme zur Verfügung. Die Karten werden mit ArcGIS der Fa. ESRI realisiert.

Damit sich die gemachten Aussagen auf den aktuellen Zustand beziehen, wurden nur Ergebnisse aus den Jahren 2007 bis 2014 verwendet. Das sind für Acker über 350 000 und Grünland über 160 000 untersuchte Standorte in Baden-Württemberg.

3. Ergebnisse

Die Beziehung zwischen zwei Nährstoffen wird als Balkendiagramm oder in einer Karte dargestellt.

3.1 Darstellung als Diagramm

Abbildung 1 zeigt den Zusammenhang zwischen Phosphorgehalten und Kaliumgehalten. Es sind deutliche Unterschiede in der Verteilung der Kaliumgehaltsklassen bei den einzelnen Phosphorklassen erkennbar: bei einer Unter-/Übersversorgung von Phosphor sind die Ackerböden häufig auch bei Kalium unter-/übersorgt. Etwas mehr als 1/5 der Flächen weisen den optimalen Zustand (beide Nährstoffe in Klasse C) auf.

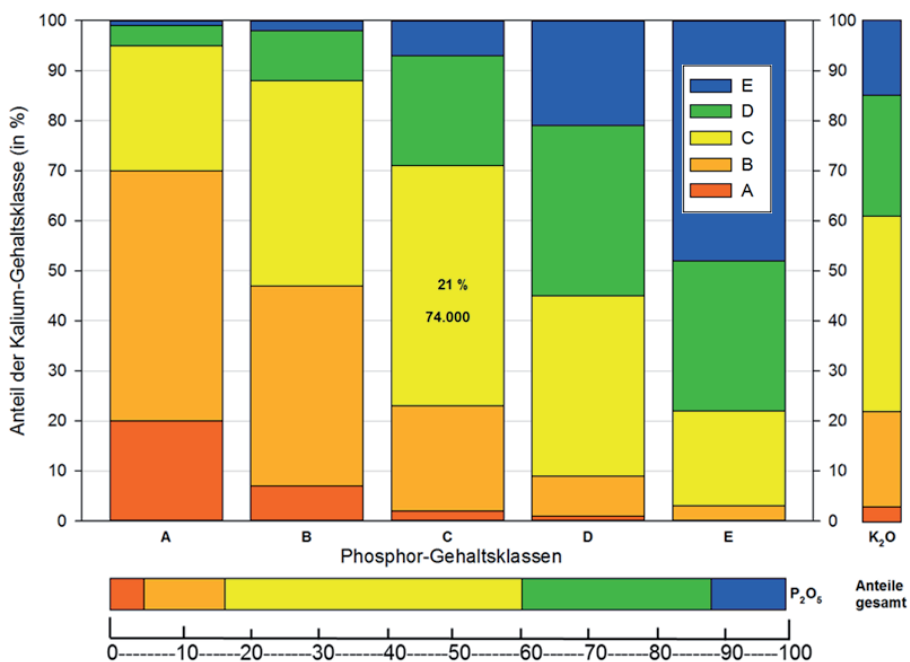


Abb. 1: Verteilung der Kalium-Gehaltsklassen bei den fünf Phosphor-Gehaltsklassen (Nutzung: Acker, Jahre: 2007-2014; Stichprobe: 353 016)

Die beiden Balken unter bzw. rechts neben dem Diagramm zeigen die Verteilungen der Gehaltsklassen in der Gesamtheit aller Untersuchungen für die beiden Nährstoffe einzeln an. Beide Nährstoffe liegen häufig im normalen Versorgungsbereich (C) oder sogar besser (D und E) und recht selten in A und B (unterversorgt).

Kein Zusammenhang ist bei der Beziehung zwischen Magnesium und Kalium auf Ackerstandorten zu erkennen (siehe Abb. 2). Hier weisen die Magnesium-

Klassen bei allen 5 Kaliumklassen eine recht ähnliche Verteilung auf.

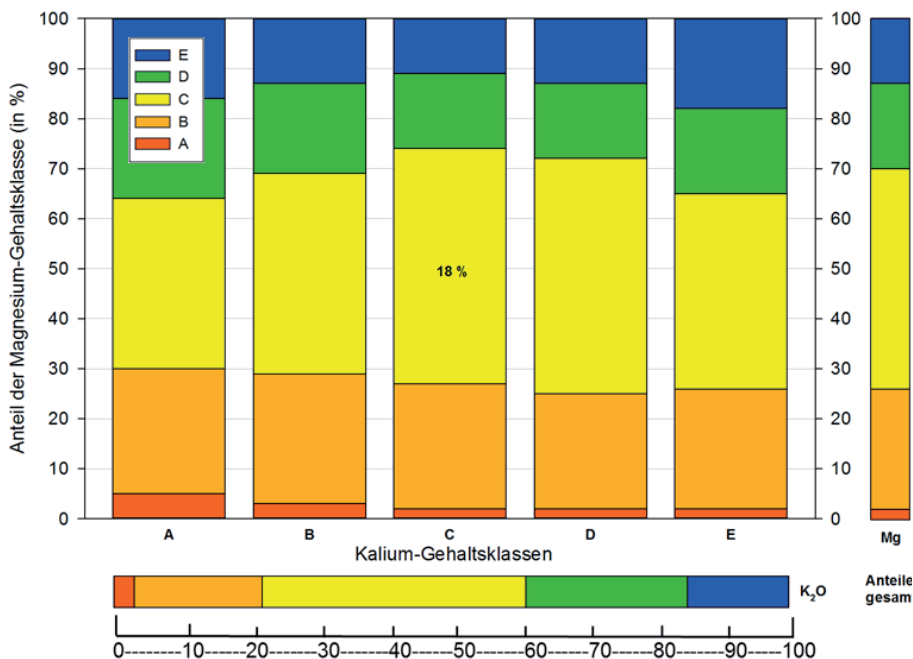


Abb.2: Verteilung der Magnesium-Gehaltsklassen bei den fünf Kalium-Gehaltsklassen (Nutzung: Acker, Jahre: 2007-2014; Stichprobe: 349980)

In Abbildung 3 ist für Acker- und Grünland der Zusammenhang für alle Kombinationen der vier Nährstoffe dargestellt. Am deutlichsten sind die Abhängigkeiten der Nährstoffe bei Phosphor und Kalium, die Beziehungen zwischen anderen Nährstoffen sind weniger bzw. es ist kein Zusammenhang zu erkennen.

Als Zusatzinfo zeigen die waagrechten Balken rechts, wie sich die Nährstoffversorgung insgesamt darstellt. Während alle 4 Nährstoffe bei Acker ähnlich gut vorhanden sind, liegen bei Grünland für P und K weniger als 15% in den Klassen D und E.

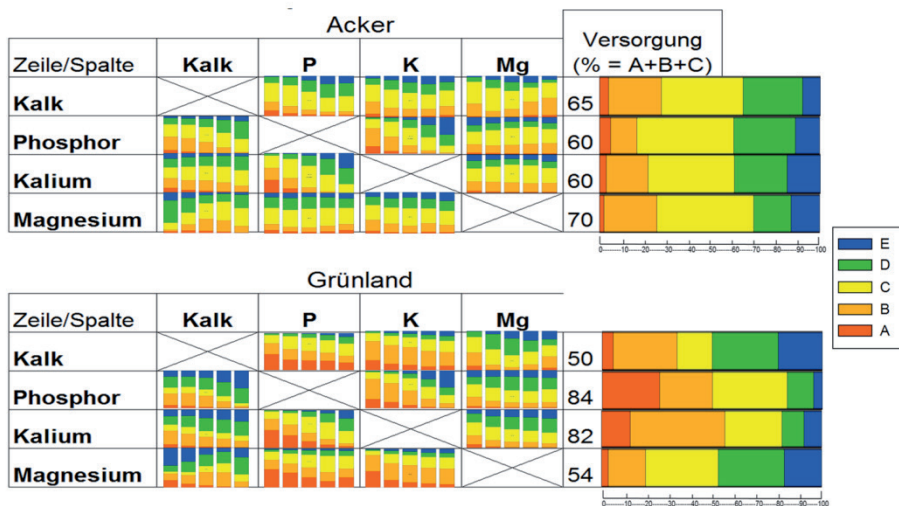


Abb. 3: Übersicht aller Zusammenhänge der 4 Nährstoffe auf Acker und Grünland.

3.2 Darstellung in Karten

Zur Vorbereitung der Kartenerstellung werden die Buchstaben der Gehaltsklassen durch die Ziffern von 1 bis 5 ersetzt und für jeden Boden die Differenz aus jeweils zwei Nährstoffen berechnet. Es ergeben sich dadurch ganze Zahlen von -4 bis +4.

Mit diesen Differenzen können jetzt auf verschiedener räumlicher Ebene Mittelwerte gerechnet werden, wobei ein Mittelwert von -0,3 bis +0,3 als ein harmonisches Nährstoffverhältnis definiert wird (in den Karten gelb schraffierte Flächen). Stärker von 0 abweichende Mittelwerte zeigen an, dass bezogen auf das Vergleichspaar entweder der eine oder der andere Nährstoff in größeren Mengen vorhanden ist (in der Karte als hellere oder dunklere Grüntöne dargestellt).

Abbildung 4 zeigt die Beziehung von Phosphor und Kalium auf Ackerböden. In vielen Gemeinden kann man das Verhältnis von Phosphor zu Kalium als harmonisch bezeichnen. Ob hierbei für beide Nährstoffe eine Über- oder Unterversorgung vorliegt, kann dieser Darstellung allerdings nicht entnommen werden.

Eine hellere Farbe (hellgrün) weist auf Gebiete hin, wo im Vergleich zu Phosphor häufig eine bessere Bodenversorgung mit Kalium vorhanden ist. Gebiete mit Phosphorüberschuss sind an der dunkleren Einfärbung (dunkelgrün) erkennbar.

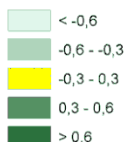
Beziehung von 2 Nährstoffen (Baden-Württemberg)

Nutzung: **Acker**

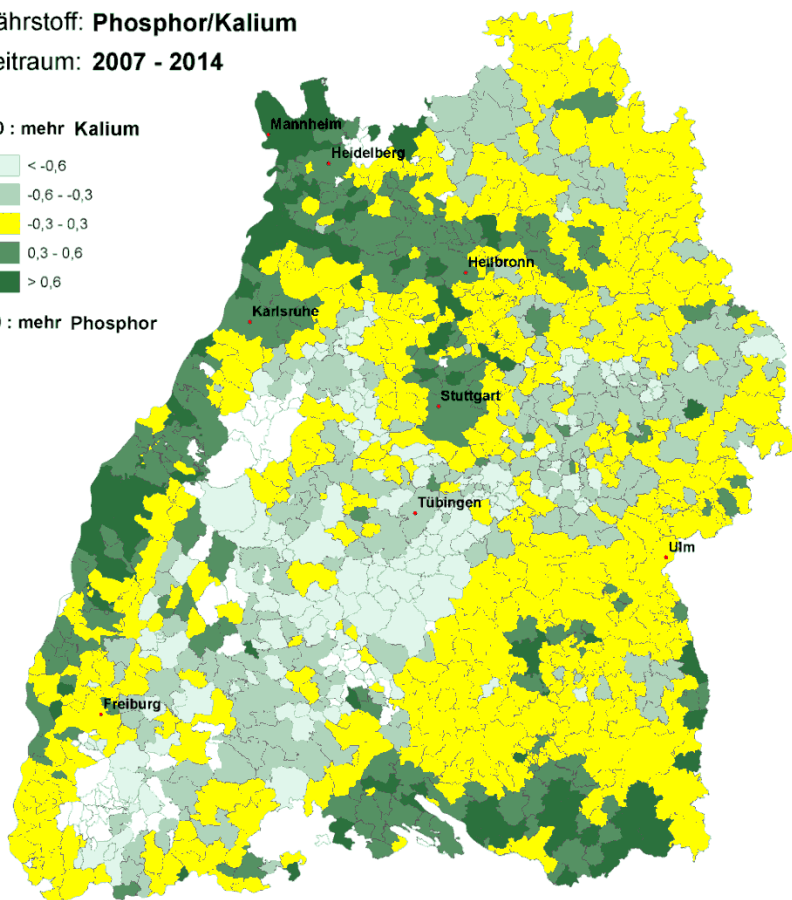
Nährstoff: **Phosphor/Kalium**

Zeitraum: **2007 - 2014**

< 0 : mehr Kalium



> 0 : mehr Phosphor



Es wurden nur Gemeinden ab 10 Untersuchungsergebnissen berücksichtigt

ILU im Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg, Neißerstraße 25, 76227 Karlsruhe

Abb. 4: Beziehung zwischen der Phosphor- und Kaliumversorgung auf Ackerböden (Stichprobe: 353016 Untersuchungen)

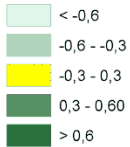
Beziehung von 2 Nährstoffen (Baden-Württemberg)

Nutzung: **Grünland**

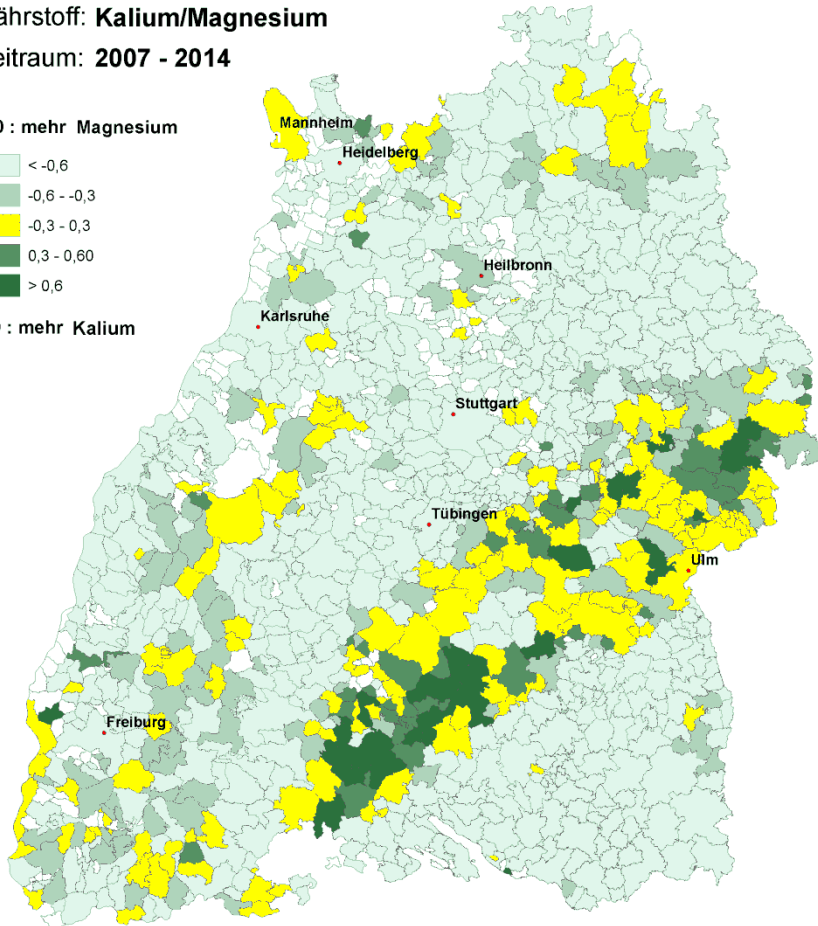
Nährstoff: **Kalium/Magnesium**

Zeitraum: **2007 - 2014**

< 0 : mehr Magnesium



> 0 : mehr Kalium



Es wurden nur Gemeinden ab 10 Untersuchungsergebnissen berücksichtigt

IuD im Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg, Neßlerstraße 25, 76227 Karlsruhe

Abb. 5: Beziehung zwischen der Kalium- und Magnesiumversorgung auf Grünland (Stichprobe: 163 000 Untersuchungen)

Grundsätzlich ist immer dann ein Nährstoff mit einem vergleichsweise höheren Versorgungsgrad vorhanden, wenn dieser Nährstoff in einer Einzelbetrachtung (hier nicht dargestellt) mit höheren Gehalten gemessen wird.

Nur in wenigen Gebieten gibt es auf Grünland eine harmonische Nährstoffversorgung mit Kalium und Magnesium (Abb. 5). In der Relation der beiden Nährstoffe liegt sehr häufig eine Überversorgung mit Magnesium bzw. eine deutliche Unterversorgung mit Kalium vor. Grund hierfür ist die sehr unterschiedliche Gesamtversorgung der Böden mit diesen beiden Nährstoffen (siehe waagrechte Balken in Abb. 3).

Zusätzlich ist in Abbildung 5 erkennbar, dass die Beziehungen zwischen den Kalium- und Magnesiumgehalten genauso wie die Versorgung mit Magnesium sehr stark von den geologischen Gegebenheiten abhängen. In der Karte sind recht deutlich die in Baden-Württemberg vorhandenen Mittelgebirgszüge mit den unterschiedlichen Bodentypen und Ausgangsgesteinen erkennbar.

Die Versorgung mit Magnesium scheint vorwiegend geogen bedingt zu sein. Eine eindeutige Beziehung zwischen Magnesium und den anderen Nährstoffen ist nicht erkennbar (siehe Abb. 3).

3. Zusammenfassung

Mit der in Baden-Württemberg vorhandenen Datenbasis werden erstmals durch paarweisen Vergleich Zusammenhänge zwischen der Versorgung mit verschiedenen Grundnährstoffen dargestellt.

Hierfür werden die bei jeder Bodenuntersuchung berechneten Gehaltsklassen der Nährstoffe Kalk (pH), Phosphor, Kalium und Magnesium aus den Jahren 2007 bis 2014 verwendet.

Als Darstellungsformen werden Balkendiagramme und Karten gewählt.

Einen deutlichen Zusammenhang gibt es nur bei Phosphor und Kalium auf Acker und Grünland. Alle anderen Beziehungen sind schwächer ausgebildet.

Da der Magnesiumgehalt stark vom Ausgangsgestein abhängig zu sein scheint, gibt es praktisch keinen Zusammenhang zwischen diesem Element und den anderen untersuchten Nährstoffen.

Die Karten zeigen häufig dann eine Disharmonie an, wenn die Böden in einer Gemeinde mit einem der beiden Nährstoffe stärker über- oder unterversorgt sind.

Vor allem bei der Betrachtung der Versorgung mit Magnesium in Relation zu anderen Nährstoffen lassen sich Regionen mit einheitlichen Bodentypen bzw. Ausgangsgestein erkennen.

Die auf Grünland stark unterschiedliche Versorgung mit Kalium und Magnesium ist als häufig auftretende Disharmonie zwischen diesen beiden Nährstoffen auf den Karten deutlich erkennbar.

Phosphorbilanzierung unterschiedlicher Systemebenen des Ackerlandes

H. Sommer¹, G. Leithold²

¹Fachgebiet für Tierernährung und Tiergesundheit, Universität Kassel-Witzenhausen, ²Professur für organischen Landbau, Universität Gießen

1. Einleitung

Die Phosphorbilanz ist ein Instrument zur Entscheidungsunterstützung bei der Planung der Nährstoffversorgung auf dem Ackerland. Wenn allerdings die Ackerfläche aufgrund von unterschiedlichen Bodenqualitäten oder räumlicher Zuordnung differenziert bewirtschaftet wird, kann dies zu unterschiedlichen Nährstoffsalden innerhalb dieser Subsysteme führen. Anhand des vorliegenden Beitrages soll beispielhaft gezeigt werden, dass die Berechnung von Phosphorbilanzen zwischen unterschiedlich bewirtschafteten Rotationsbereichen innerhalb eines Betriebes eine bessere Differenziertheit bei der Einschätzung der Phosphorversorgung liefern kann.

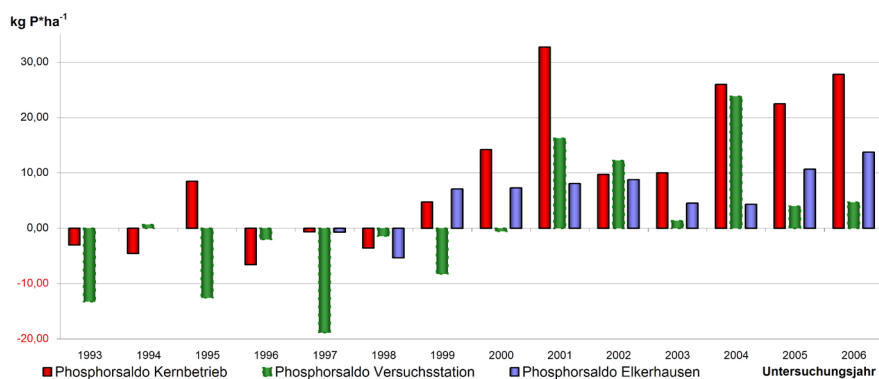
2. Material und Methoden Ergebnisse und Diskussion

Die Steigerung der P-Zufuhr (Tab. 1) führte in allen drei Rotationsbereichen gleichsam zu einem Anstieg der P-Salden (Abb. 1). Dieser Zuwachs war für den Bereich „Kernbetrieb“ mit $2,5 \text{ kg P ha}^{-1}$ am stärksten zu verzeichnen, gefolgt vom Rotationsbereich „Versuchsstation“ mit $1,8 \text{ kg P ha}^{-1}$ und schließlich von dem Rotationsbereich „Elkerhausen“ mit $1,33 \text{ kg P ha}^{-1}$. Die differenzierte Betrachtung der Entwicklung der Phosphorsalden auf der Ebene der Rotationsbereiche zeigte, dass die gesamtbetrieblich vorhandenen Phosphormengen unterschiedlich auf die Rotationsbereiche verteilt worden sind.

Im Rotationsbereich „Kernbetrieb“ war ein Anstieg der durchschnittlichen P-Zufuhr von $13,5 \text{ kg P ha}^{-1}$ auf $34,2 \text{ kg P ha}^{-1}$ zu verzeichnen. Die P-Zufuhr im Rotationsbereich „Verchsstation“ stieg im Mittel pro Jahr von $9,75$ auf 23 kg ha^{-1} . Im Rotationsbereich Elkerhausen wurde eine tendenzielle Zunahme der P-Zufuhr von $15,6 \text{ kg P ha}^{-1}$ auf $21,6 \text{ kg P ha}^{-1}$ beobachtet.

Tab. 1: Phosphorzufuhr während des Untersuchungszeitraumes in kg P ha⁻¹.

	1993-1996 kg P ha ⁻¹	1997-2001 kg P ha ⁻¹	2002-2006 kg P ha ⁻¹
Ackerland	12,3	19,0	26,8
Kernbetrieb	13,5	24,2	34,2
Versuchsstation	9,75	13,8	23,0
Elkerhausen	./.	15,6	21,6

**Lineare Regressionsanalysen:**

P-Saldo Kernbetrieb
P-Saldo Versuchsstation
P-Saldo Elkerhausen

$$y = 2,5084x - 8,9896, r^2=0,6383$$

$$y = 1,8389x - 13,358, r^2=0,4321$$

$$y = 1,3384x - 6,887, r^2=0,5376$$

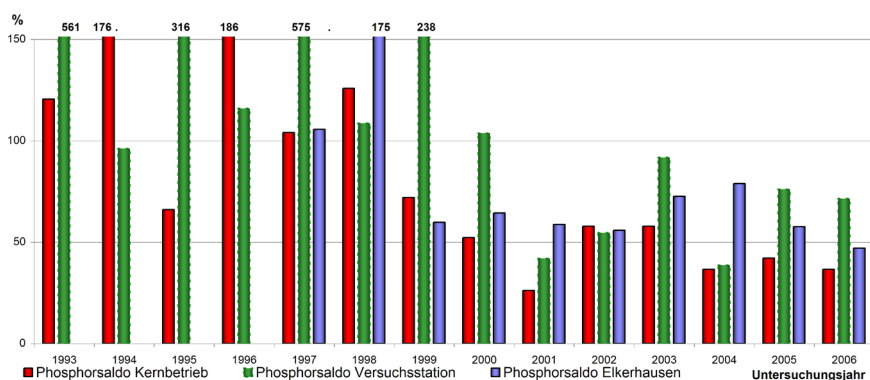


Abb. 1: Entwicklung der Phosphorsalden auf den drei Rotationsbereichen des Ackerlandes

Einerseits weisen die negativen Phosphorsalden auf einen Phosphormangel hin, andererseits lassen Literaturangaben vermuten, dass Phosphat – ähnlich der Humus-N-Freisetzung durch Humusabbau – Phosphor aus dem Boden mobilisiert worden ist (Leppin, 2008).

Die differenzierte Bilanzierung von Nährstoffen – hier am Beispiel des Phosphors – führt zu einer besseren Einschätzung, ob die zur Verfügung stehenden Nährstoffressourcen optimal eingesetzt werden. Die mittlere P-Verwertung lag für den Rotationsbereich „Kernbetrieb“ bei 34 % ($\sigma=28,13$), für den Rotationsbereich „Versuchsstation“ bei 33 % ($\sigma=38,63$) und für den Rotationsbereich „Elkerhausen“ bei 49 % ($\sigma=29,18$). Insgesamt war eine Abnahme von über 80 % auf unter 50% zu beobachten (vgl. Sommer 2010).

Zudem muss der gestiegene Einsatz von Phosphatdüngern richtig bewertet werden (u. a. Amberger et al., 1968). Wahrscheinlich wird umso mehr Düngerphosphat festgelegt, je niedriger der P-Gehalt des Bodens ist (Reents und Wiechmann, 1994).

4. Schlussfolgerungen

Die Interpretation der unterschiedlich stark steigenden Phosphorsalden (vgl. Abb. 1) lässt den Schluss zu, die Steigerung des Einsatzes von Phosphatdüngern wahrscheinlich in geringerem Umfang als erwartet auf das Reproduktionsgeschehen des ackerbaulichen Systems gewirkt hat,

Die differenzierte Bilanzierung von Nährstoffen – hier am Beispiel des Phosphors – führt zu einer besseren Einschätzung, ob die zur Verfügung stehenden Nährstoffressourcen optimal eingesetzt werden. An vorliegendem Beispiel zeigt sich deutlich, dass in den beiden Rotationsbereichen, in denen die Phosphorversorgung stärker erhöht wurde, die Phosphoreffizienz niedriger war als in dem Rotationsbereich mit niedriger Versorgung.

5. Literaturangaben

Amberger, A., Sommer, G., Süß, A., 1968: Umsetzungen von wasserlöslichem Düngerphosphat in verschiedenen Böden, Landwirtschaftliche Forschung, Band XXII, J.D. Sauerländer's Verlag, Ffm.

- Leppin, T., 2007: Mobilisierungspotential unterschiedlicher Pflanzen für stabile Phosphatformen im Boden. Dissertation. Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Reents, H.-J., Wiechmann, H., 1994: Einfluss einer Strohdüngung auf die Phosphatlöslichkeit, Landwirtschaftliche Forschung, Band 1981.
- Sommer, H., 2010: Untersuchungen zur Steigerung der Produktionsintensität im ökologischen Landbau am Beispiel des Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof. Dissertation, Justus-Liebig-Universität Gießen.

Zur Schwefelbilanzierung des Ackerlandes

H. Sommer

Fachgebiet für Tierernährung und Tiergesundheit, Universität Kassel-Witzenhausen

1. Einleitung

Die Versorgung des Ackerlandes mit Nährstoffen ist Voraussetzung für eine optimale Ertragsleistung in Verbindung mit einer gleichbleibenden Qualität der Ernteprodukte. Die Nährstoffbilanz hat – gleich der Humusbilanzierung – den Vorteil, den Nährstoffentzug von Haupt- und Nebenprodukten der Zufuhr durch Wirtschafts- und Mineraldünger sowie anderen untergeordneten Quellen (z. B. Saatgut) gegenüberzustellen. In vorliegendem Beitrag soll gezeigt werden, dass neben der Bilanzierung der Hauptnährstoffe N, P und K auch die Schwefelbilanzierung einen Beitrag zur Bewertung von Ertrag und Qualität in Abhängigkeit der Nährstoffversorgung leisten kann.

2. Material und Methoden

Untersucht wurden Schwefelzufuhr und Entzug auf dem Ackerland des ökologisch bewirtschafteten Lehr- und Versuchsbetriebes Gladbacherhof der Universität Giessen im Zeitraum von 1993-2006. Im Untersuchungszeitraum wurde der Viehbesatz von 0,5 GV ha LF⁻¹ auf 1,1 GV ha LF⁻¹ in drei Etappen (1993-1996; 1997-2001; 2002-2006) ausgedehnt. Aus der betrieblichen Mengenschlagdatei wurden die Daten der Ernteerträge und Wirtschaftsdüngermengen erhoben und mit Schwefelgehalten aus der Literatur verrechnet. Anschließend wurde eine vereinfachte Bilanz auf Basis von Entzug und Zufuhr in Anlehnung an die bekannte Methode für Phosphor und Kalium erstellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 wird die vereinfachte Bilanz für die Untersuchungsstadien 1993-96, 1997-2001 und 2002-2006 im Mittel aufgezeigt. Unterstellt wurde eine durchschnittliche S-Immission von 6 kg je ha und Jahr.

Tab. 1: Schwefelbilanz auf dem Ackerland des Lehr- und Versuchsbetriebs Gladbacherhof während des Untersuchungszeitraumes 1993-2006 in kg S ha⁻¹.

Bilanzglied	Ø `93-`96	Ø `97-`01	Ø `02-`06
Entzug mit Hauptprodukt	8,5	9,5	7,7
Entzug mit Nebenprodukt	3,6	3,0	3,7
Gesamtentzug	12,0	12,5	11,3
S-Immission	6,0	6,0	6,0
Zufuhr Wirtschaftsdünger	1,1	1,7	5,4
Sonstige Zufuhr	1,3	1,8	2,2
Summe Zufuhr	8,4	9,5	13,6
Schwefelsaldo	- 3,6	- 2,9	2,3

Unabhängig von der tatsächlichen S-Immission, die in den letzten Jahren durch die Reduktion von Emissionen aus der Industrie abgenommen haben, zeigt sich, dass die Zufuhr an Wirtschaftsdüngern nicht ausreicht, um den ertragsbedingten Schwefelentzug zu decken. Eine am Entzug orientierte, moderate Schwefelzufuhr kann mögliche Versorgungsdefizite beheben und den Stickstoffgehalt in den Pflanzen steigern (vgl. Köpke et al., 2011).

4. Schlussfolgerungen

Mit Hilfe der Schwefelbilanz konnte der Erkenntnisgewinn erzielt werden, dass offensichtlich ein Mangel an Schwefel die Nährstoffversorgung des Ackerlandes insgesamt schwächt. Die Verwendung der Schwefelbilanz als zusätzliche Entscheidungsunterstützung zur Nährstoffversorgung auf dem Ackerland ist demnach empfehlenswert.

5. Literaturangaben

Köpke, U., Rauber, R., Schmidtke, K., Goldbach, H., Scherer, H.W., 2011: Entwicklung neuer Strategien zur Mehrung und optimierten Nutzung der Bodenfruchtbarkeit. Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, Georg-August-Universität Göttingen und Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH). Abschlussbericht BÖLN.

Versuchsergebnisse von zwei bayerischen Kalkdüngungsversuchen auf Grünland

M. Diepolder, S. Raschbacher

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz, Freising

1. Einleitung und Problemstellung

Im Jahre 2000 wurden im Rahmen des VDLUFA-Standpunkts „Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandflächen“ Richtwerte für das Rahmenschema zur Kalkbedarfsermittlung in Deutschland veröffentlicht. Bis zum Jahre 2004 erfolgte in Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Sachsen und Thüringen für Grünland eine Anpassung dieser Richtwerte hin auf süddeutsche Verhältnisse. Ergebnis war und ist bis dato eine gemeinsame Kalkbedarfsempfehlung für Grünland in der Fachberatung dieser fünf Bundesländer, insbesondere was den Bereich optimaler pH-Werte und der hierbei veranschlagten Erhaltungskalkung für die einzelnen Bodenartengruppen betrifft. Begleitend dazu wurden in einigen der genannten Bundesländer von den Landesfachbehörden neue Kalkdüngungsversuche auf Grünland angelegt, welche als Langzeitversuche konzipiert sind. Im Beitrag werden die wichtigsten Versuchsergebnisse zur Wirkung von Kalkdüngung auf Grünland dargestellt, welche in einem Zeitraum von 10-11 Jahren auf zwei hinsichtlich der Bodenart (leicht bis mittelschwer) ähnlichen, jedoch ansonsten stark unterschiedlichen bayerischen Standorten (Allgäu und Vorderer Bayerischer Wald) gewonnen wurden. Anhand des Vergleichs der pH-Werte und Kationenbelegung, der Erträge, Pflanzenbestände, Futterqualitäten und des Mineralstoffmusters von Varianten mit unterschiedlichen Kalkdüngungsmaßnahmen (Kalkart, Kalkmenge, Kalkhäufigkeit) sollen Aussagen getroffen werden, ob und inwieweit bei intensiv genutztem Grünland mit hohen Anteilen an Deutschem Weidelgras bzw. Wiesenfuchsschwanz eine Kalkung notwendig bzw. sinnvoll ist. Dies vor allem, wenn die Bestände weitgehend regelmäßig mit Gülle gedüngt werden, was wohl für sehr viele süddeutsche Betriebe zutrifft.

2. Material und Methoden

Tabelle 1 gibt einen Überblick zu beiden Versuchsstandorten, in Tabelle 2 sind die Versuchsvarianten aufgeführt. Diese wurden randomisiert in vierfacher

Wiederholung angelegt. Mit Ausnahme der Varianten 7 und 8 am Spitalhof mit rein mineralischer Düngung (N-Düngung als Ammonsulfatsalpeter in Höhe von 175-180 kg N ha⁻¹ a⁻¹, aufgeteilt auf 4 Einzelgaben; PK-Düngung als Superphosphat mit 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ a⁻¹ plus Kornkali mit 300 kg K₂O ha⁻¹ a⁻¹) ist beiden Versuchskonzepten gemeinsam, dass die Düngung aller übrigen Varianten überwiegend mit Gülle erfolgte, ergänzt durch KAS. Hierbei wurden am Spitalhof mit 3x20 m³ dünner Rindergülle (4,6 % TS) und einer KAS-Gabe von 40-50 kg N ha⁻¹ jährlich pro Hektar durchschnittlich 180 kg N_{gesamt}, davon nach LFL (2012) 155 kg N_{anrechenbar}, sowie 70 kg P₂O₅ und 175 kg K₂O gedüngt. In Exlarn erfolgte die NPK-Düngung im ersten Versuchsjahr (2002) aufgrund der damals fehlenden Versuchsgülletechnik ausschließlich mineralisch mit 4xKAS sowie Superphosphat und Kainit, dagegen in den Folgejahren 2003-2010 mit je 3x15 m³ Rindergülle (7,4 % TS) und einer KAS-Gabe mit 40 kg N ha⁻¹. Durchschnittlich wurden in Exlarn pro Hektar jährlich rund 180 kg N_{gesamt}, davon 145-150 kg N_{anrechenbar}, sowie 70 kg P₂O₅ und 170 kg K₂O gedüngt. Auf beiden Standorten wurde die Höhe der Düngung im Vergleich zur veranschlagten N-Abfuhr bei vier- bis fünfmaliger Schnittnutzung (LFL, 2012) knapp bemessen, um ggf. ertragswirksame Kalkeffekte (Kleeanteil, Mineralisierung) nicht zu überdecken. In Tabelle 2 sind die im gesamten Untersuchungszeitraum gegebenen Kalkmengen (siehe rechte Spalte) stets als CaO-Äquivalente ausgewiesen, auch bei den Kalkformen Algenkalk (Exlarn, Spitalhof, Var. 5; Algenkalk granuliert mit 70 % CaCO₃ und 6 % MgCO₃) sowie kohlensaurem Magnesiumkalk (Exlarn, Var. 2, 60,5 % CaCO₃ und 31,6 % MgCO₃). Dabei wurde folgende Umrechnung zugrunde gelegt: CaCO₃x0,65 = CaO; MgCO₃x0,48 = MgO; MgOx1,39 = CaO.

Die statistische Verrechnung der Parameter erfolgte mit SAS und Anwendung des SNK-Tests (alpha = 0.05). Auf statistisch signifikante Unterschiede wird aus Übersichtgründen nicht in den Tabellen, sondern im Text hingewiesen.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 3 sind die wichtigsten Versuchsergebnisse als jeweilige Mittel des elfjährigen (Spitalhof) bzw. zehnjährigen Versuchszeitraums (Exlarn) dargestellt. Rohprotein- und Mineralstoffgehalte sind dabei als gewichtete Mittel mit Berücksichtigung des Ertragsanteils der Schnitte angegeben.

Tab. 1: Charakterisierung der Versuchsstandorte Spitalhof und Exlarn

	Spitalhof	Exlarn
Standort	Kempten	Straubing-Bogen
Lkr.	Allgäuer Alpenvorland	Westlicher Vorwald des Bayerischen Waldes
Erzeugungsgebiet		
Höhenlage [m]	730	460
Jahresdurchschnittstemperatur [°C] ¹⁾	8,2	8,6
Mittlerer Jahresniederschlag [mm] ¹⁾	1.165	870
Geologische Formation	Würmeiszeitl. Moräne	Granitverwitterung
Sand/Schluff/Tonanteil _{0-20cm} [%]	41/47/12	53/38/9
Bodenart _{0-20cm}	Schluffig-lehmiger Sand (Slu)	Mittel lehmiger Sand (Sl3)
Bodentyp	Braun-/Parabraunerde	Ranker
Bodenuntersuchung ²⁾ [0-10 cm Tiefe]		
Humusgehalt _{0-10cm} [%]; C/N	8,3; 10:1	4,1:9:1
pH _{CaCl2}	~5,3	~5,3
P _{2O5 CAL} [mg/100 g Boden]	13 (C)	5 (B)
K _{2O CAL} [mg/100 g Boden]	19 (C)	8 (B)
Mg _{CaCl2} [mg/100 g Boden]	27 (D)	14 (C)
Grünlandbestand: Artenanteile 2)		
Gräser/Kräuter/Leguminiosen [% FM]	89/6/5	86/10/4
Hauptbestandsbildner	Dt. Weidelgras	Wiesenfuchsschwanz; Bastard-Weidelgras
Schnitte pro Jahr	5	4

1) Mittel im Versuchszeitraum: 2002-2012/2011

2) Zu Versuchsbeginn

Tab. 2: Versuchsvarianten am Spitalhof (2002-2012) und Exlarn (2002-2011)

Var.	Jährliche Basisdüngung	Kalkdüngung am Spitalhof im Versuchszeitraum	Σ CaO [dt/ha]
1	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Ohne Kalk	0
2	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Ab 2005 8 x 2,5 dt CaO/ha	20
3	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; 7 dt CaO/ha in 2002, 2006, 2010	21
4	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk, 10 dt CaO/ha in 2002, 2006, 2010	30
5	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Algenkalk; jedes 2. Jahr; 6 x 2,6 dt CaO/ha ³⁾	15,5
6	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Branntkalk, gekörnt, 10 dt CaO in 2002, 2006, 2010	30
7	ASS + PK ²⁾	Ohne Kalk	0
8	ASS + PK ²⁾	Kohlensaurer Kalk alle 3 Jahre; 4 x 10 dt CaO/ha	40
Var.	Jährliche Basisdüngung	Kalkdüngung in Exlarn im Versuchszeitraum	Σ CaO [dt/ha]
1	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Ohne Kalk	0
2	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Mg-Kalk ²⁾ ; In 2002 9,70 dt CaO/ha, ab 2006 7 x 4,05 dt CaO/ha	34
3	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Je 7 dt CaO/ha in 2002 und 2006	14
4	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Kohlensaurer Kalk; Je 10 dt CaO/ha in 2002 und 2006	20
5	3 x Gülle + KAS ¹⁾	Algenkalk; jedes 2. Jahr; 5 x 2,6 dt CaO/ha ³⁾	13

Hinweis zu ^{1,2,3}: Siehe Text Material und Methoden

Tab. 3: Ergebnisse Spitalhof (Mittel 2002-2012) und Exlarn (Mittel 2002-2011)

Var.	N CaO [dt ha ⁻¹]	pH _{CaCl2(0-10 cm)} ¹⁾	Ladungsplätze ^{nach Mehlich²⁾}					T-Wert	Ø Futterwertzahl ³⁾	Ertrag		Rohprotein- u. Mineralstoffgehalte																								
			Ca	Mg	K	Na	[mmol _c /kg Boden 0-10 cm Tiefe]			TM	XP	XP	Ca	Mg	K	P																				
Var. Spitalhof																																				
1	0	5,2	134	26	3	2	165	7,34	103,8	18,7	181	8,5	3,3	21,4	4,3																					
2	20	5,5	167	27	4	2	199	7,22	104,1	18,5	178	10,1	3,0	20,9	4,3																					
3	21	5,6	179	28	4	1	212	7,25	103,9	18,4	177	8,5	3,1	23,1	4,5																					
4	30	5,8	183	26	5	2	216	7,25	101,0	17,8	177	9,0	3,1	22,9	4,6																					
5	15,5	5,5	153	27	3	2	185	7,27	104,2	18,5	178	8,6	3,2	22,0	4,4																					
6	30	5,6	162	25	3	1	191	7,34	103,5	18,4	178	8,9	3,1	22,3	4,5																					
7	0	5,0	102	22	3	1	128	7,51	123,0	21,9	179	6,5	2,8	30,5	4,9																					
8	40	5,4	146	22	3	1	172	7,51	123,9	22,3	180	7,6	2,8	29,1	4,8																					
Var. Exlarn																																				
1	0	5,4	70	15	2	1	88	5,92	105,1	14,3	138	7,9	3,0	20,0	2,7																					
2	34	5,6	76	23	1	1	101	5,90	103,8	13,9	136	8,5	3,7	19,5	2,8																					
3	14	5,4	74	11	1	1	87	5,90	105,9	14,1	136	8,9	2,9	19,9	2,8																					
4	20	5,5	88	12	1	1	102	5,96	105,3	14,0	135	8,5	2,9	19,7	2,8																					
5	13	5,4	76	13	1	1	91	5,92	105,4	14,1	136	8,2	2,9	19,3	2,7																					

Hinweis zu: 1) Ø aus 16 (Sp.)/11 (E.) Messungen; 2) Ø 3/1 Messungen (Sp/E.); 3) Ø 5 Aufnahmen 1. Aufwuchs

pH-Werte und Kationenbelegungen: Am Spitalhof lag der mittlere pH-Wert der Kontrollvariante 1, d. h. ohne gezielte Kalkdüngung, mit pH 5,2 knapp unterhalb der Gehaltsklasse C, die nach Faustzahlen (LfL, 2012) für schluffig-lehmige Sande bei etwa pH 5,4-5,7 angesetzt wird. Dagegen bewegte sich in Exlarn der mittlere pH-Wert von pH 5,4 bei Variante 1 innerhalb des für mittel-lehmige Sande veranschlagten optimalen pH-Bereichs von etwa pH 5,3-5,6. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass auf beiden Standorten bei güllebasierter Düngung auch ohne gezielte Kalkgaben über die Jahre hinweg keine Abnahme, vielmehr eine leichte Zunahme der pH-Werte (Spitalhof: $\text{pH} = 5,2 + 0,005 \text{ a}^{-1}$, n.s.; Exlarn $\text{pH} = 5,4 + 0,011 \text{ a}^{-1}$, n.s.) beobachtet werden konnte. Übereinstimmend mit den Ergebnissen von Kerschberger und Schröter (2015) kam es damit bei vorwiegend organischer Düngung zu keiner Bodenversauerung, obwohl nach Faustzahlen für den Untersuchungszeitraum eine Erhaltungskalkung von rund 12-17 kg CaO/ha zu veranschlagen gewesen wäre, zuzüglich rund 2,5 dt CaO bei Berücksichtigung von Kalkverlusten (LfL, 2012) durch die KAS-Ergänzung. Kalkung führte am Spitalhof zwar zur signifikanten Anhebung des pH-Werts (Var. 2-6 vs. Var. 1 bzw. Var. 8 vs. Var. 7), allerdings ließen sich Effekte zwischen den Kalkvarianten 2-6 nur teilweise absichern (Var. 4 vs. Var. 2, 5). Dies ist umso bemerkenswerter, da die im Untersuchungszeitraum ausgebrachten Kalkmengen (siehe Tab. 3, 2. Spalte) um den Faktor 1,5-1,9 differierten und die Kalkzufuhr bei den Varianten 4 und 6 weit über der empfohlenen Erhaltungskalkung lag. In Exlarn betrug die Differenzen zwischen den mittleren pH-Werten der Varianten maximal 0,2 pH-Einheiten, signifikante pH-Unterschiede bestanden dabei nur zwischen Variante 2 mit der höchsten Kalkgabe im Versuch gegenüber den Varianten 1, 3 und 5.

Sowohl am Spitalhof als auch in Exlarn ließ sich nur bei Variante 2 (8 Kalkgaben im Untersuchungszeitraum) ein linearer Anstieg des pH-Werts (Spitalhof: $\text{pH} = 5,2 + 0,058 \text{ a}^{-1}$; $r^2 = 0,47$; Exl. $\text{pH} = 5,4 + 0,050 \text{ a}^{-1}$; $r^2 = 0,38$) signifikant absichern. Insgesamt beeinflusste Kalkung den pH-Wert in Exlarn weit weniger als am Spitalhof, obwohl in Exlarn der Standort etwas leichter und deutlich niederschlagsärmer war. So lag in Exlarn die durchschnittliche Kalkwirkung nur bei +0,04 (max. 0,07) pH-Einheiten pro im Untersuchungszeitraum gegebener Tonne CaO, dagegen am Spitalhof bei +0,16 (max. ca. 0,2) pH-Einheiten pro Tonne CaO.

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass der Einfluss von Kalkmaßnahmen auf die Änderung des pH-Werts auch im Falle ähnlicher Ausgangsbedingungen

(Bodenart, pH-Wert) standortabhängig ist. Das Gleiche gilt für Effekte zur Höhe und Zusammensetzung des T-Werts (nach Mehlich) bzw. die austauschbaren Kationenplätze im Boden, wobei auf beiden Standorten, unabhängig von der Höhe und Form von Kalkmaßnahmen, das Kalzium die meisten Ladungsplätze einnimmt. Am Spitalhof waren bei den Varianten 1 (Gülle) sowie insbesondere bei den Varianten 2-6 (Gülle+Kalk) bzw. Variante 8 (ASS+Kalk) deutlich mehr Ladungsplätze mit Kalzium besetzt als bei rein saurer mineralischer Düngung (Var. 7). Vermutlich vor allem aufgrund des niedrigeren Humusgehaltes wies der Oberboden (0-10 cm Tiefe) in Exlar trotz ähnlicher Bodenart nur etwa die Hälfte an austauschbaren Ladungsplätzen auf als am Spitalhof.

Pflanzenbestand, Ertrag: Im Gegensatz zum pH-Wert konnten auf beiden Standorten durch Kalkdüngung unterschiedlichster Art und Höhe weder die Erträge noch der botanische Futterwert angehoben werden. Unverändert (hier nicht eigens dargestellt) blieb der Anteil an Gräsern, Klee und Kräutern. Auffallend ist ferner, dass am Spitalhof die Variante 4 mit einer Kalkdüngung weit über der Empfehlung (LfL, 2012) zwar den höchsten pH-Wert, jedoch tendenziell den niedrigsten TM-Ertrag und den signifikant niedrigsten XP-Ertrag aufwies. Am Spitalhof erzielten die beiden mineralisch gedüngten Varianten 7 und 8 (bei insgesamt höherer Düngung) den höchsten Ertrag und lagen auch in der Futterwertzahl etwas über den Güllevarianten. Dabei ist bemerkenswert, dass auch bei der gezielt sauer gedüngten Variante 7 der Ertrag und die Futterwertzahl trotz des sehr niedrigen pH-Wertes von 5,0 sehr hoch lagen und auch hier Kalk (Var. 8) bisher keine weitere Verbesserung brachte. Das gleiche Resultat zeigte auch ein weiterer Versuch am Spitalhof (Diepolder et al., 2006). Demgegenüber traten bei einem über 50jährig mineralisch gedüngtem Grünlanddauerversuch in Rotthalmünster eindeutig negative Effekte durch eine langjährig saure Düngung hinsichtlich pH-Wert, Humusqualität, Pflanzenbestand und Ertrag und damit positive Kalkeffekte auf (Schnellhammer und Sirch, 2015; 2006, zit. bei Diepolder et al, 2006).

Rohprotein und Mineralstoffgehalte: Auf beiden Standorten bewirkte die Kalkdüngung keine Steigerung der Rohproteingehalte im Futter sowie nur teilweise Veränderungen im Mineralstoffmuster. Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten beschränkten sich dabei am Spitalhof meist auf die Art der NPK-Düngung (Spitalhof: Var. 2 vs. 7 bei Ca; Var 1-6 vs. Var 7, 8 bei Mg und K, Var 7 vs. 1, 2, 5 bei P). In Exlar lagen signifikante Unterschiede zwischen den Varianten beim Ca (Var. 3 vs. 1, 5) vor. Variante 2 mit der höchsten Mg-Düngung

hatte in Exlarn auch den höchsten Mg-Gehalt, während der Grund für die generell recht niedrigen P-Gehalte vermutlich der späte erste Schnitt sowie die niedrige P-Versorgung des Bodens (siehe auch Tab. 1) sind.

4. Schlussfolgerungen

Bei zwei hinsichtlich der Bodenart (leicht bis mittelschwer) ähnlichen, jedoch ansonsten stark unterschiedlichen Standorten (Allgäu und Bayerischer Wald) mit 5 bzw. 4 Schnitten pro Jahr zeigten sich durch unterschiedliche Kalkungsstrategien (Kalk-Menge, Art, Verteilung) in Ergänzung zur Gülle-/ KAS-Düngung zwar teilweise Auswirkungen auf den pH-Wert und auf die austauschbare Kationenbelegung im Boden, jedoch waren positive Effekte auf Pflanzenbestand, Futterwertzahl und Ertrag nicht nachweisbar. Hinsichtlich künftiger länderübergreifender Kalkdüngungsempfehlungen für Grünland ergeben sich daraus erste Anhaltspunkte, zumindest für leicht bis mittlere Bodenartgruppen die empfohlenen optimalen pH-Bereiche und die zu veranschlagende Erhaltungskalkung keinesfalls zu erhöhen, vielmehr neu zu diskutieren, insbesondere wenn die Düngung auf Grünland vorwiegend organisch erfolgt.

5. Literaturangaben

Diepolder, M., Jakob, B., Raschbacher, S., 2006: Dauerversuch zur Wirkung saurer und alkalischer Düngung im Grünland. Tagungsband der 50. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau (AGGF). Hsg: Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe 17/2006, 166-169.

Kerschberger, M, Schröter, H., 2015: Von wegen sauer! DLG-Mitteilungen 3/2015, 26-29.

LfL, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2012: Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland – Gelbes Heft; 10. unveränderte Auflage 2012, LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan.

Schnellhammer, R, Sirch, J., 2015: Grünlandversuche – statischer Dauerdüngungsversuch mit physiologische alkalisch und physiologisch sauer wirkenden Düngern, Versuchsanlage 1961. In: Versuchsbericht der Höheren Landbauschule Rotthalmünster, 210-213.

Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen aus co-silierten bzw. co-kompostierten Klärschlammkarbonisaten im Gefäßversuch

K. Friedrich, S. Bereswill, M. Nick, T. Appel

Fachhochschule Bingen

1. Einleitung

Klärschlämme aus der kommunalen Abwasserreinigung in Monoverbrennungsanlagen zu entsorgen, ist teuer. Zurück bleiben Aschen, deren Phosphor im Boden unlöslich und deshalb nicht düngewirksam ist. Die Deponierung der Aschen und die Rückgewinnung des Phosphors aus den Monoverbrennungsaschen in eine pflanzenverfügbare Form erzeugen nochmals beachtliche Kosten. Eine ökonomisch besonders günstige Alternative stellt das Karbonisieren des Klärschlammes dar (Appel et al., 2014). Der Klärschlamm wird dafür unter annähernd anoxischen Bedingungen thermisch behandelt. Es entsteht ein kohlenstoffhaltiges Produkt mit einem Ascheanteil von ca. 70 bis 90 %, das Klärschlammkarbonisat (KSK). In früheren Versuchen hatten KSK, die bei 500 °C hergestellt wurden, eine Phosphor-Düngewirkung, die 90 % der Wirkung des vollständig wasserlöslichen Ca-Dihydrogenphosphats entsprach (Mindermann et al., 2014). Hingegen im Temperaturbereich von ca. 700 °C werden nicht nur alle Keime abgetötet und organische Schadstoffe zerstört. Durch den Zusatz von Chloriden können bei dieser für die Karbonisierung relativ hohen Temperatur möglicherweise sogar Schwermetalle (SM) aus dem Produkt verdampfen, denn die Chloride senken deren Verdampfungstemperatur. Die Karbonisate würden so von Schwermetallen entfrachtet (Friedrich et al., 2013), die dann in der Rauchgaswäsche der Karbonisierungsanlage wieder aus dem Rauchgas entfernt werden. Nachteilig an der Karbonisierung bei 700 °C ist, dass die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in den Karbonisaten mit steigender Temperatur abnimmt (Friedrich et al., 2013). Um diesen Nachteil der hohen Temperatur zu kompensieren, wurde versucht, die P-Verfügbarkeit der KSK dadurch zu steigern, dass sie zusammen mit organischem Material kompostiert bzw. siliert wurden. Unvorteilhaft wäre es, wenn durch diese Behandlung auch die Verfügbarkeit von schädlichen Schwermetallen zunehmen würde.

2. Material und Methoden

2.1 Herstellung der Klärschlammkarbonisate

Der für den Versuch verwendete KS stammte aus dem Vererdungsbecken der Kläranlage Dörsbachtal. Der KS wurde im Belebungsbecken aerob stabilisiert und mit FeCl_2 simultan gefällt. Einer Teilmenge des KS wurde für den Versuch KCl als Additiv untergemischt (15 % bezogen auf den Aschegehalt). Je eine Portion des Klärschlammes mit und eine ohne Additiv wurden bei 80 °C getrocknet und dann anschließend mit einer Schlagkreuzmühle < 2 mm zerkleinert. Die beiden so vorbereiteten KS-Portionen wurden dann in dem Laborreaktor (PYREKA) der Fa. PYREG GmbH, Dörth, karbonisiert. Die KS-Portion ohne KCl-Additiv wurde dabei mit zwei unterschiedlichen Temperaturniveaus behandelt, eine Teilmenge wurde bei 500 °C (KSK 500 °C) und eine andere bei 700 °C (KSK 700 °C) karbonisiert. Die KS-Portion mit dem KCl-Additiv wurde nur bei 700 °C karbonisiert (KSK KCl). Das Material verweilte in einer Stickstoffatmosphäre (3 l/min.) jeweils 32 min im Reaktor.

Tab. 1: Schwermetall- und Mikronährstoffkonzentrationen der Klärschlammkarbonisate, \pm Standardfehler aus n=4 Laborparallelen

KSK	Cadmium	Blei	Chrom	Nickel	Kupfer	Zink
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
500	1,46 \pm 0,1	88,7 \pm 0,9	558 \pm 210	475 \pm 146	490 \pm 11	1767 \pm 14
700	1,48 \pm 0,0	89,0 \pm 0,9	774 \pm 190	640 \pm 145	497 \pm 10	1745 \pm 12
KCl	1,08 \pm 0,0	70,2 \pm 0,5	239 \pm 5	224 \pm 10	382 \pm 2	1407 \pm 11

Die Schwermetallkonzentrationen in den Karbonisaten wurden mit einem ICP-OES (Fa. Varian) gemessen. Für den Druckaufschluss wurden sogenannte Tölg-Bomben verwendet. Zur Herstellung der Messlösungen wurden die Karbonisate (100 mg) mittels eines inversen Königswasserauszugs (8 ml HNO_3 (65 %) und 2 ml HCl rauchend) in den Druckaufschlussbomben behandelt (in Anlehnung an Krüger und Adam, 2014).

2.2 Kompostierung bzw. Silierung

Für die Kompostierung bzw. die Silierung wurde Rasengrünschnitt verwendet. Die mit einer Fliehkraftkugelmühle staubfein gemahlene Karbonisate KSK

700 °C und KSK KCl wurden mit dem Grünschnitt vermischt (Tab. 2). Zur Kontrolle wurden auch Portionen ohne Einmischen von KSK hergestellt (Kompost nativ bzw. Silage nativ).

Tab. 2: Zusammensetzung der Silage und des Komposts aus Karbonisat und Rasengrünschnitt

Substrat	KSK 700 °C	KSK KCl	Rasengrünschnitt^{a)}
Kompost nativ	-	-	550,0g
Kompost KSK 700 °C	125,5g	-	424,5g
Kompost KSK KCl	-	98,2g	451,8g
Silage nativ	-	-	550,0g
Silage KSK 700 °C	125,5g	-	424,5g
Silage KSK KCl	-	98,2g	451,8g

^{a)} Alle Angaben bezogen auf die Trockensubstanz (TS) des Materials

Die für die Kompostierung vorgesehenen Portionen aus Rasengrünschnitt mit und ohne KSK-Einmischung wurden in luftdurchlässige Kunststoffbehälter gefüllt, die dann, um die Rotte zu beschleunigen, in einem Brutschrank bei 40 °C positioniert wurden. Alle zwei bis drei Tage wurden die Behälter aus dem Schrank genommen, um den entstehenden Kompost zu durchmischen und Feuchtigkeitsverluste auszugleichen. Nach vier Wochen Inkubation wies der Kompost eine krümelige Struktur auf und war teilweise mit einer weißen Pilzschicht versehen.

Für die Herstellung der Silagen wurden die Grünschnittportionen mit und ohne eingemischte KSK mit der Hand verdichtet und in mehrere Schichten Kunststoffolie gewickelt, die dann noch einmal mit Aluminiumfolie umwickelt wurden, um die Sauerstoffzufuhr sicher zu unterbinden. Die Silage wurde bei Raumtemperatur (20 °C bis 25 °C) aufbewahrt. Nach 4 Wochen hatte die Silage einen typisch säuerlich aromatischen Duft ohne unangenehme Noten und sie verlor weder viel Feuchte noch Masse. Aliquote der fertigen Komposte und der Silagen wurden getrocknet, pulverisiert und anschließend auf ihren P-Gehalt und den pH-Wert zusammen in einer Serie mit den nicht kompostierten bzw. silierten Karbonisaten analysiert (Tab. 3).

Tab. 3: Schwermetallkonzentrationen der hergestellten Substrate in mg/kg Trockensubstanz, Mittelwerte aus n=5 Laborparallelen

Substrat	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Cr mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg
Kompost nativ	0,38	3,2	24	15	21	81
Kompost KSK 700°C	5,24	25,5	43	204	163	569
Kompost KSK KCl	3,21	16,2	39	54	96	363
Silage nativ	0,25	3,5	15	9	10	40
Silage KSK 700°C	3,27	15,4	33	132	98	341
Silage KSK KCl	2,28	11,1	27	39	62	246

2.3 Gefäßversuch im Gewächshaus

In einem Gefäßversuch im Gewächshaus mit Mais und Weidelgras wurde geprüft, welche Düngewirkung die Substrate entwickelten (Nick et al., 2015) und wie sich die Düngung auf die Verfügbarkeit der Schwermetalle auswirkte. Die Konzentration der Schwermetalle in der Trockenmasse (TM) des Pflanzenaufwuchses diente als Maß für die Schwermetallverfügbarkeit. Für den Versuch wurde ein P-armer Oberboden, CAL-P: 0,3 mg/100 g Boden, pH=5,7) ausgewählt. Jeweils 9 kg Boden wurden in Kick-Brauckmann Gefäße gefüllt, n=5 Parallelen je Variante. Der Boden wurde zuvor mit den Karbonisaten, Komposten und Silagen gedüngt (Tab. 4). Zum Vergleich wurden zwei Varianten mit Ca-Dihydrogenphosphat (Ca-P) als P-Dünger angesetzt sowie eine Kontrolle ohne P-Düngung. Stickstoff, Kalium, Magnesium und Mikronährstoffe wurden in allen Gefäßen ausreichend gedüngt. Die Böden in den Gefäßen wurden auf ca. 50 % ihrer Wasserhaltekapazität befeuchtet und 2 Wochen lang im Gewächshaus ohne Pflanzenbewuchs aufgestellt. Nach dieser Inkubationsphase, in der der Dünger im Boden in ein Lösungsgleichgewicht gelangen sollte, wurde aus jedem Gefäß ca. 20 g Boden entnommen. Die Löcher der Probenahme wurden mit oberflächlichem Boden aus den jeweiligen Gefäßen aufgefüllt. Die Bodenproben wurden auf CAL-lösliches P (nicht dargestellt) und den pH-Wert untersucht. Zwei Wochen nach der Düngung wurde Mais (5 Maisamen, pikiert nach 10 Tagen auf 3 Pflanzen) gesät. Der Aufwuchs der Pflanzen wurde nach einer Vegetationszeit von 4 Wochen geerntet. Das Wurzelwerk und die Stoppeln verblieben im Boden. Anschließend wurde Weidelgras (WG) gesät, dessen Aufwuchs nach 3 Wochen (1. Schnitt) und dann noch einmal nach weiteren 2 Wochen (2. Schnitt) geerntet wurde. Im Pflanzenaufwuchs wurde die Schwermetallkonzentration gemessen (Mikrowellendruckaufschluss, 1 g getrocknetes, gemahlenes Pflanzenmaterial in 10 ml 65%iger HNO₃, ICP-OES).

Tab. 4: Varianten des Gefäßversuchs

Dünger	Temperatur ^{a)} (°C)	Additiv	Behandlung	Düngung (mg P je 100 g Boden)
Kontrolle	-	-	-	0,0
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	-	-	6,5
2 x Ca(H ₂ PO ₄) ₂	-	-	-	13,0
KSK 500 °C	500	-	-	6,5
KSK 700 °C	700	-	-	6,5
KSK KCl	700	KCl	-	6,5
Kompost nativ	-	-	kompostiert	0,95
Kompost KSK 700 °C	700	-	kompostiert	6,5
Kompost KSK KCl	700	KCl	kompostiert	6,5
Silage nativ	-	-	siliert	1,26
Silage KSK 700 °C	700	-	siliert	6,5
Silage KSK KCl	700	KCl	siliert	6,5

^{a)} Temperatur beim Karbonisieren

Um die Wirkung der Co-Silierung bzw. der Co-Kompostierung die Verfügbarkeit der Schwermetalle zu prüfen, wurden für die Kompostvarianten bzw. die Silagevarianten zweifaktorielle Varianzanalysen gerechnet, Faktor I: mit bzw. ohne Karbonisat, Faktor II: mit bzw. ohne Silierung oder Kompostierung. Der pH-Wert des Bodens wurde als Co-Variate berücksichtigt, um den möglichen pH-Einfluss rechnerisch zu kompensieren. Die Effekte der Silierung bzw. Kompostierung wurde als Wechselwirkungen Karbonisat x Kompost bzw. Karbonisat x Silage quantifiziert.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Düngung mit dem wasserlöslichen Ca-Phosphat steigerte das Pflanzenwachstum beachtlich. Die Düngewirkung der Klärschlammkarbonisate war wesentlich schwächer, wurde aber durch das Silieren bzw. das Kompostieren etwas verbessert (Nick et al., 2015). Für die Wirkung des Silierens und des Kompostierens auf die Verfügbarkeit der Schwermetalle kommen zwei Mechanismen in Betracht. Zum einen könnten die organischen Substrate den pH-Wert im Boden beeinflussen und zum anderen könnten organische Säuren freigesetzt werden, die mit den Schwermetallen organo-mineralische Komplexe bilden.

Je nach Schwermetall, Art des Karbonisats und der Versuchsphase wirkten sich die Silierung und die Kompostierung anders auf die Verfügbarkeit der Schwermetalle aus (Daten nicht gezeigt). Nur beim Cadmium waren die Effekte vergleichsweise einheitlich. Während Kompost, Silage und Karbonisate bei alleiniger Anwendung die Cd-Konzentration im Aufwuchs erhöhten, bewirkte die Co-Kompostierung (Abb. 1) und die Co-Silierung (Daten nicht gezeigt) das Gegenteil. Diese Wechselwirkung war in den meisten Fällen statistisch signifikant.

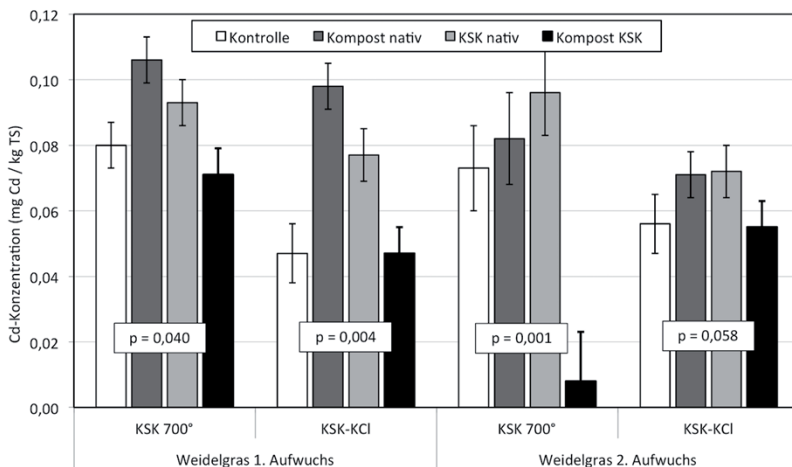


Abb. 1: Cadmiumkonzentration im Aufwuchs von Weidelgrass in Abhängigkeit von der Düngung mit Kompost und Klärschlammkarbonisaten (KSK); pH korrigierte Werte; p-Werte kennzeichnen die Signifikanz der Wechselwirkung Karbonisat x Kompost; Fehlerbalken zeigen ± Standardfehler

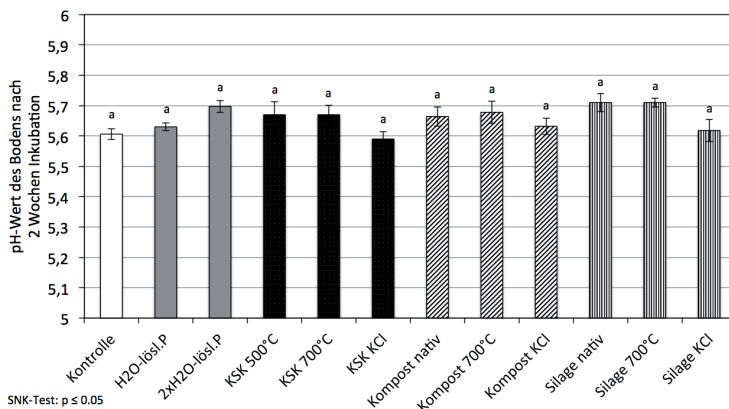


Abb. 2: pH-Werte im Boden zwei Wochen nach der Düngung

Auf den pH-Wert im Boden hatte die Düngung nur wenig Einfluss. Die Unterschiede waren 2 Wochen nach der Düngung nicht signifikant (Abb. 2). Das ist deshalb von Bedeutung, weil die Löslichkeit der Schwermetalle im Boden in der Regel mit abnehmendem pH-Wert ansteigt. Wir vermuten, dass durch das Silieren bzw. das Kompostieren organische Säuren im Boden freigesetzt wurden, die zu einer Komplexbildung des Cadmiums führten (Karlsson et al., 2007) und dadurch dessen Aufnahme durch die Pflanzen behindert war.

4. Schlussfolgerung

Durch die Beimischung von Klärschlammkarbonisat zu Kompost oder Silage wird nicht nur die P-Verfügbarkeit aus dem Karbonisat erhöht, sondern gleichzeitig auch die Verfügbarkeit des Cadmiums gesenkt.

5. Literaturangaben

- Appel, T., Friedrich, K., Mindermann, B., Mertens, M., 2014: Landbauliche Verwertung von karbonisiertem Klärschlamm mit dem Ziel des P-Recyclings. Vortrag in Mainz-Lerchenberg auf der Fachtagung des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung Weinbau und Forsten Rheinland-Pfalz zur Zukunft der Klärschlammverwertung. http://mulewf.rlp.de/fileadmin/mufv/img/inhalte/veranstaltungen/Veranstaltungs-Chronik/Zukunft_der_Klaerschlamverwertung_in_RLP/AppelKI%C3%A4rschlamm_Nov.2014v9.pdf.
- Friedrich K., Schuh, K., Ellermann, N. Appel. T., 2013: Phosphorrecycling aus Klärschlamm – Steigerung der Pflanzenverfügbarkeit durch thermochemische Konversion, Jahrestagung des ANS e.V. Berlin, Tagungsband 2013.
- Nick, M., Bereswill, S., Friedrich, K., Appel, T., 2015: P-Verfügbarkeit aus co-silierten und co-kompostierten Klärschlammkarbonisaten, VDLUFA Schriftenreihe 71, Kongressband 2015, im Druck.
- Karlsson, T., Elgh-Dalgren, K., Björn, E., Skyllberg, U., 2007: Complexation of cadmium to sulfur and oxygen functional groups in an organic soil. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71, 604-614.

- Krüger, O., Adam, C., 2014: Monitoring von Klärschlammmonoverbrennungsanlagen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung zur Ermittlung ihrer Rohstoffrückgewinnungspotenziale und zur Erstellung von Referenzmaterial für die Überwachungsanalytik, UBA Texte 49/2014, Seite 52, ISSN 1862-4804.
- Mindermann, B, Friedrich, K., Mertens, M., Appel, T., 2014: P-Düngewirkung von karbonisierten Klärschlämmen in Abhängigkeit von der Art der P-Fällung. VDLUFA-Schriftenreihe 70, 246-252. Kongressband 2014 Hohenheim, VDLUFA-Verlag Darmstadt.

Schwermetallstatus Thüringer Ackerböden – Langzeit-Ergebnisse der Bodenuntersuchung nach Klärschlammverordnung

V. König

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

1. Veranlassung und Zielstellung

Der Schwermetall-Status von Böden ist eine wichtige Beurteilungsgröße im Rahmen ihrer Bewertung hinsichtlich der Nutzungsfunktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung. In diesem Zusammenhang ist zu prüfen, ob die Nutzung durch schädliche Bodenveränderungen beeinträchtigt ist. Schädliche Bodenveränderungen sind gemäß § 1 Abs. 3 Bundes-Bodenschutzgesetz (BBodSchG, 1998) Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für den einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen.

Im Rahmen des Bodenschutzrechts ist ebenfalls geregelt, dass Grundstückseigentümer verpflichtet sind, Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen zu treffen, die durch ihre Nutzung auf dem Grundstück oder in dessen Einwirkungsbereich hervorgerufen werden können (§ 7 BBodSchG). Zur qualitativen Bewertung werden nach § 8 BBodSchG u. a. Bodenwerte herangezogen, bei deren Überschreiten unter Berücksichtigung von geogenen oder großflächig siedlungsbedingten Schadstoffgehalten in der Regel davon auszugehen ist, dass die Besorgnis einer schädlichen Bodenveränderung besteht (Vorsorgewerte). Diese sind in Anhang 2 der Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV, 1999) enthalten. Anhand dieser Vorgaben soll im Vollzug des Bodenschutzes u. a. der Eintrag von Schwermetallen (SM) unter Berücksichtigung des SM-Status der Böden minimiert werden.

In diesem Kontext steht auch, dass die Klärschlammverordnung (AbfKlärV, 1992) die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung nur dann zulässt, wenn die Grenzwerte für zulässige Schwermetallgehalte im Boden nach § 4 Abs. 8 AbfKlärV nicht überschritten sind. Dazu ist eine zwingend vorgeschriebene Bodenuntersuchung nach § 3 Abs. 2 AbfKlärV durchzuführen. Die Ergebnisse werden im Vollzug der AbfKlärV durch die zuständigen Behörden geprüft und in

einem Flächen-Kataster dokumentiert. Letztgenanntes erfolgt in Thüringen in der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL). Für den Vollzug der Abf-KlärV galt bis 2012 eine Thüringer Verwaltungsvorschrift (VV, 1995).

Anhand dieses Datenfundus ist es möglich, seit dem Erfassen der Bodenuntersuchungsergebnisse im Jahr 1993 den SM-Status landwirtschaftlich genutzter Böden Thüringens zu bewerten. Diese Aussagen beschränken sich zwar auf die potenziellen Klärschlammeinsatzflächen, sind aber infolge der Verteilung auf alle Ackerbauregionen Thüringens für allgemeine Einschätzungen geeignet.

2. Methodik

Das Kataster der TLL enthält für den Zeitraum 1993 bis 2009 u. a. die Bodenuntersuchungsergebnisse von insgesamt 26 615 Ackerflächen (Tab. 1). Mit der Bodenuntersuchung nach AbfKlärV werden vor der Aufbringung von Klärschlamm der pH-Wert und die Gehalte an Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) sowie der Schwermetalle Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Blei (Pb), Kupfer (Cu), Nickel (Ni) und Zink (Zn) analysiert. Die Bestimmung von pH-Wert und Nährstoffen ist vor jeder Aufbringung und die der Schwermetalle vor der erstmaligen und dann im Abstand von zehn Jahren erforderlich. Dadurch sind die Flächenumfänge der Nährstoffanalysen größer als die der SM-Analysen.

Tab. 1: Untersuchte Fläche (ha) im Zeitraum 1993...2009

Parameter	1993... 1998	1999... 2004	2005... 2009	Mittel jährlich	Summe	% zur Acker- fläche
pH, P, K, Mg	23365	29702	26723	4693,5	79790	13,0
Schwer- metalle	22502	26334	23060	4229,2	71896	11,8

Die untersuchten Flächen nach AbfKlärV haben maximal 3 ha Flächengröße. Bei der Bodenprobenahme wurde in Thüringen die oberste Bodenschicht von 0 bis 20 cm beprobt.

Als Besonderheit war in Thüringen in der einschlägigen Verwaltungsvorschrift (VV, 1995) geregelt, dass die Untersuchungen ausschließlich im Labor der

TLL zu analysieren sind. Der Hintergrund für diese Festlegung besteht darin, dass nicht nur die im Vollzug beantragten Flächen mit grenzwertunterschreitenden SM-Gehalten erfasst werden sollten, sondern auch diejenigen Flächen mit Überschreitungen. Letztgenannte Flächen werden den Behörden nicht bekannt gegeben, weil die Klärschlammaufbringung nicht genehmigt wird. Mit dieser Verfahrensweise kann die TLL für den genannten Zeitraum über einen uneingeschränkten Fundus der SM-Analysen von Thüringer Ackerböden verfügen, deren SM-Status bewerten und bei den grenzwertüberschreitenden Gehalten die Ursachen ergründen. Ab 2010 ist die diesbezügliche Analysetätigkeit auch für private Untersuchungslaboratorien frei gegeben worden, die keine Verpflichtung zur Meldung der grenzwertüberschreitenden SM-Gehalte haben.

3. Ergebnisse

3.1 Vergleich mit den Vorsorgewerten der BBodSchV

Die Analysedaten der in den 17 Jahren untersuchten 26 615 Bodenproben wurden zunächst hinsichtlich ihrer Häufigkeitsverteilung betrachtet und mit den Vorsorgewerten des Bodenschutzrechts verglichen. Das ist insbesondere für die umwelttoxisch relevanten SM Cadmium, Blei und Quecksilber von Bedeutung. Die Abbildungen 1 bis 3 zeigen diesen Vergleich.

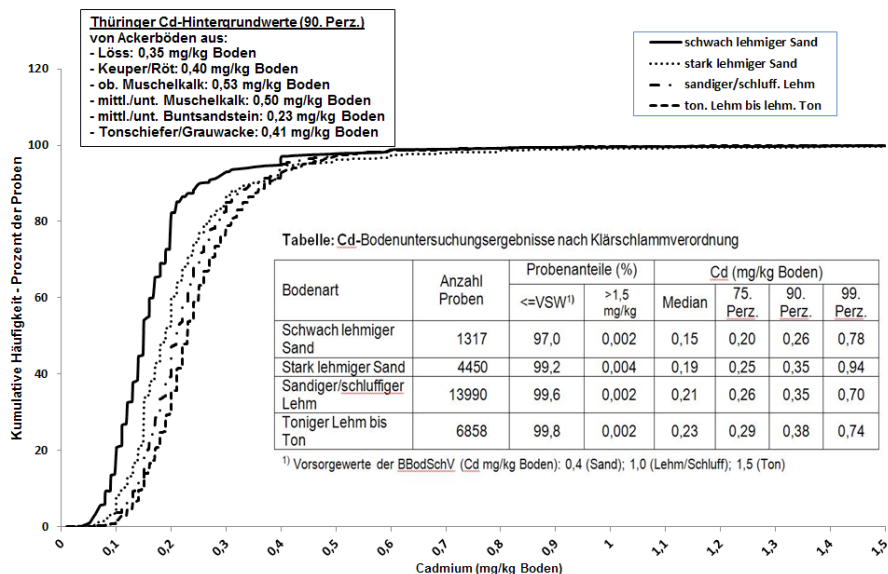


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Cadmium-Gehalte im Vergleich mit den Vorsorgewerten

Aus Abbildung 1 geht hervor, dass ca. 90 % der Cd-Analysedaten im niedrigen Wertebereich von $\leq 0,4$ mg/kg Boden liegen. Das ist auch der Gehaltsbereich der Hintergrundwerte (s. Kasten Abb. 1; TMLNU, 1997). Die Kurvenverläufe der kumulativen Häufigkeiten unterscheiden sich in der Steilheit im Wertebereich von 0,1 bis 0,4 mg/kg, die mit zunehmender Bodenschwere abnimmt.

Im Vergleich zu den Vorsorgewerten (VSW) zeigt sich, dass bodenartabhängig 97 bis nahezu 100 % der Cd-Analysewerte kleiner als die VSW sind. Das bestätigen auch die Median- und 99. Perzentilwerte. Demzufolge beschränkt sich die Anzahl der Cd-Gehalte mit mehr als 1,5 mg/kg auf wenige Einzelwerte.

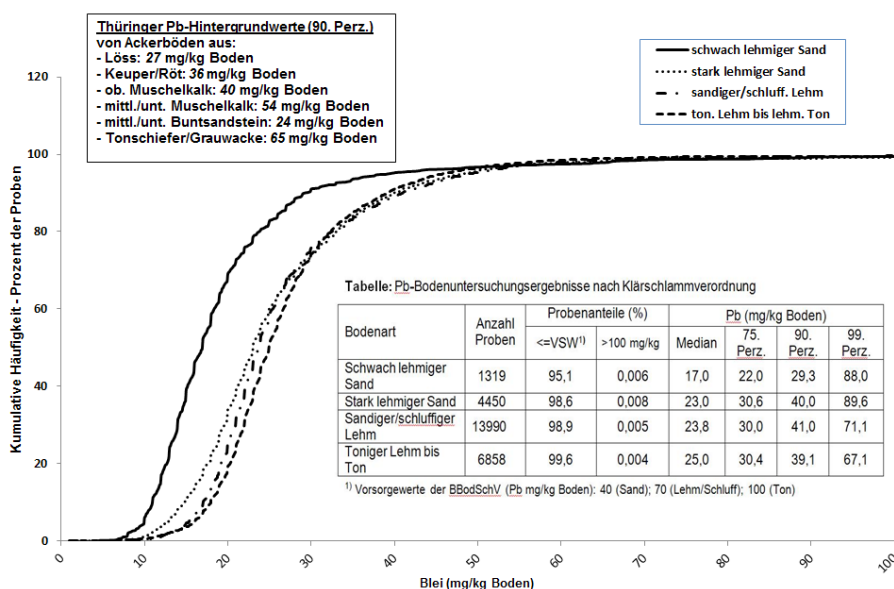


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung der Blei-Gehalte im Vergleich mit den Vorsorgewerten

Ähnliche Schwerpunkte im Verlauf der Häufigkeitsverteilung zeigen sich auch bei Blei und Quecksilber. Der überwiegende Teil der Pb-Gehalte liegt zwischen 10 und 40 mg/kg Boden (Abb. 2). Auch hier ist die mit zunehmender Bodenschwere abnehmende Steilheit der Kurvenverläufe erkennbar. Die Vorsorgewerte werden bei 95 bis nahezu 100 % der Proben unterschritten bzw. nur in wenigen Proben erreicht.

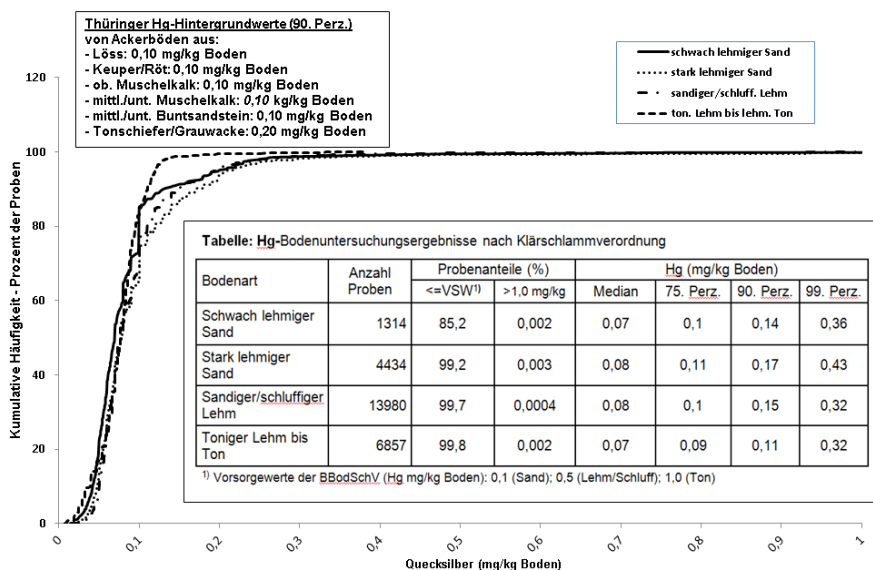


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Quecksilber-Gehalte im Vergleich mit den Vorsorgewerten

Bei Quecksilber unterscheiden sich die Kurvenverläufe der Bodenarten nur im Wertebereich von 0,1 bis 0,2 mg/kg bemerkenswert (Abb. 3). Die Vorsorgewerte werden bei 85 bis nahezu 100 % der Proben unterschritten bzw. nur in wenigen Proben erreicht. Der Hg-Vorsorgewert für sandige Böden (beträgt nur 10 % des VSW für Tonböden) ist im Vergleich zu den Verhältnissen bei Cd und Pb sehr niedrig. Er wird bereits bei dem 75. Perzentil der Proben erreicht. Die Überschreitung des VSW ist auf den sandigen Böden mit rd. 9 % der Proben höher als bei Cd und Pb.

Auch bei den Schwermetallen Cu, Cr, Ni und Zn sind die analysierten Gehalte im Boden überwiegend wesentlich niedriger als die Vorsorgewerte (Tab. 2). In der Regel liegen mehr als 95 % der Proben in diesem Gehaltsbereich. Erhöhte Anteile von rd. 7 bis 15 % der Proben über den Vorsorgewerten sind in der Rangfolge Hg>Ni>Zn>Cu bei den Sandböden zu verzeichnen. Daran ist erkennbar, dass auf den leichten Böden die Vorsorgewerte sehr niedrig angesetzt sind. Das wird insbesondere bei Hg deutlich, da der Vorsorgewert bereits dem 90. Perzentil der Hintergrundwerte entspricht (Abb. 3). Darüber hinaus kommen häufig erhöhte Nickel-Gehalte vor allem in den Randlagen des Thüringer Beckens vor.

Davon sind vorrangig die Verwitterungsböden des Keupers sowie die Tonböden des oberen Muschelkalkes und Buntsandsteins betroffen (TMLNU, 1997).

Tab. 2: Probenhäufigkeit nach Bodenartgruppen im Vergleich zu den Vorsorgewerten der BBodSchV

Bodenartgruppe	Bewertungsgröße	Cu	Cr	Cd	Pb	Ni	Zn	Hg
Sandböden (n=1317)	Vorsorgewerte (mg/kg Boden)	20	30	0,4	40	15	60	0,10
	Probenanteil (%) ≤ Vorsorgewert	93,3	96,5	97,0	95,2	88,5	89,2	85,2
Lehmböden (n=18440)	Vorsorgewerte (mg/kg Boden)	40	60	1,0	70	50	150	0,5
	Probenanteil (%) ≤ Vorsorgewert	97,2	97,4	99,5	98,9	94,8	98,3	99,7
Tonböden (n=6858)	Vorsorgewerte (mg/kg Boden)	60	100	1,5	100	70	200	1,0
	Probenanteil (%) ≤ Vorsorgewert	99,3	99,9	99,8	99,6	99,2	99,7	99,8

3.2 Bewertung nach Klärschlammverordnung

Im Vollzug der AbfKlärV werden nur die Flächen für eine landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zugelassen, deren Schwermetallgehalte in den Böden die entsprechenden Grenzwerte unterschreiten.

Anhand der 75. und 99. Perzentilwerte ist ersichtlich, dass die Grenzwerte der AbfKlärV für die Eignung der Flächen kein Problem sind. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass Thüringen kaum sehr leichte Böden bzw. viele karbonatreiche Böden hat. Lediglich Nickel ist in einer größeren Zahl von Fällen begrenzender Faktor für die Eignung. 93,4 % der Proben haben Ni-Gehalte bis 50 mg/kg und 4,1 % der Proben liegen im angrenzenden, leicht erhöhten Gehaltsbereich von 50,1-60 mg/kg Boden. Insgesamt sind durch die grenzwertüberschreitenden Ni-Gehalte 5,5 % der Fläche nicht geeignet.

Tab. 3: Statistische Kennwerte der Schwermetallgehalte in Thüringer Ackerböden (n=26 615 Proben)

Schwermetall	Perzentile					Maximalwert	Grenzwert (AbfklärV)
	10	25	50 (Medianwert)	75	99		
	Gehalte (mg/kg Boden)						
Cu	9,0	13,3	19,0	25,0	54,0	1052	60
Cd	0,13	0,16	0,21	0,27	0,80	40	1,0 ¹⁾ /1,5
Cr	16,9	23,0	30,6	39,6	76,2	880	100
Pb	16,3	20,0	23,8	30,0	72,0	946	100
Ni	11,0	17,0	24,7	33,0	68,9	550	50
Zn	42,0	50,2	59,7	73,0	162	1310	150 ¹⁾ /200
Hg	0,049	0,06	0,075	0,10	0,30	14,0	1,0

¹⁾für leichte Böden mit <5 % Tongehalt oder pH>5...<6

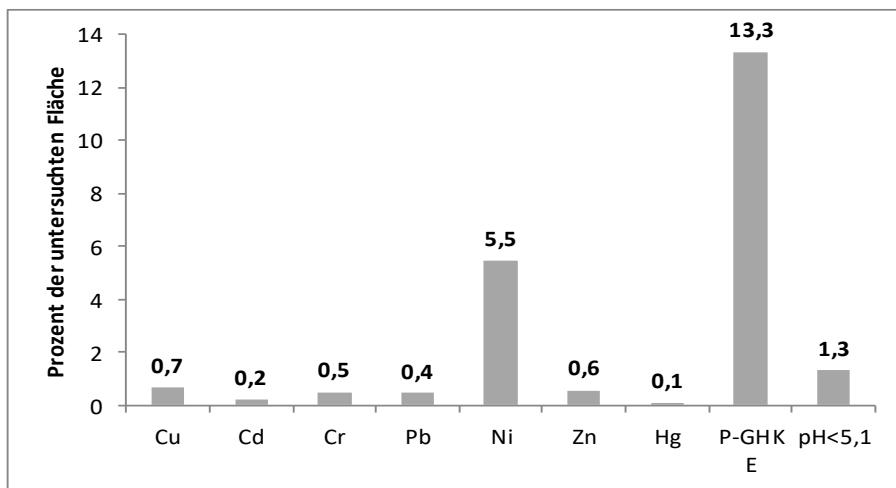


Abb. 4: Flächenanteile mit Untersagung der Klärschlammaufbringung aufgrund von Grenzwertüberschreitungen (Schwermetalle), hoher Phosphor-Gehalte (P-GHKE) und zu niedriger pH-Werte

Weitaus höhere Flächenanteile werden in Thüringen nicht beschlammte, weil sie zu hohe P-Gehalte (P-Gehaltsklasse E) haben. Ein geringer Anteil der Böden (insbesondere Buntsandsteinböden) haben pH-Werte $< 5,1$ und sind deshalb nicht für die Klärschlammaufbringung geeignet. Unter Berücksichtigung der teilweise auch vorhandenen gleichzeitigen Grenzwertüberschreitungen bei mehreren Schwermetallen sind 6,9% der Flächen gesperrt.

In der Summe und unter Berücksichtigung der gleichzeitigen begrenzenden Wirkung mehrerer Faktoren sind 20,7% der untersuchten Ackerflächen in Thüringen von der Klärschlammaufbringung ausgeschlossen.

4. Fazit

Mit der Bodenuntersuchung gemäß Klärschlammverordnung im Zeitraum von 1993 bis 2009 sind die SM-Gehalte von insgesamt rd. 12% der Ackerfläche Thüringens erfasst worden. Die vollständige Verfügbarkeit aller Schwermetallgehalte hat die Darstellung und Bewertung des SM-Status Thüringer Ackerböden anhand eines repräsentativen Datenumfanges ermöglicht. Anhand von 26 615 Bodenproben konnte festgestellt werden, dass insbesondere bei den umwelttoxisch relevanten Schwermetallen Cd, Pb und Hg, aber auch bei den anderen Schwermetallen in der Regel 95 bis 99% der Bodenproben unterhalb der Vorsorgewerte der BBodSchV liegen. Hiervon ausgenommen sind die schwach lehmigen Sandböden in Thüringen, bei denen der Anteil mit Unterschreitung der Vorsorgewerte bei Hg, Ni, Zn und Cu mit 85 bis 93% geringer ist.

Die Eignung der Thüringer Ackerflächen für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung wird durch grenzwertüberschreitende Gehalte bei einem oder mehreren SM nur auf rd. 7% der untersuchten Fläche eingeschränkt. Bei Anwendung der verschärften Grenzwerte nach dem Entwurf der novellierten AbfKlärV (2015) sind 25% der Sandböden, 9% der Lehm Böden und 3% der Tonböden (entspricht insgesamt rd. 8% der untersuchten Fläche) nicht für die Klärschlammaufbringung geeignet. Dabei sind die Ni- und Hg-Gehalte insbesondere auf den leichten Böden am Stärksten begrenzend.

5. Literaturangaben

- AbfKlärV, 1992: Klärschlammverordnung vom 15. April 1992 (BGBl. I S. 912), zuletzt durch Artikel 9 der Verordnung vom 9. November 2010 (BGBl. I S. 1504) geändert.
- BBodSchG, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (Bundes-Bodenschutz-gesetz) vom 27. März 1998 (BGBl. I S.502) zuletzt geändert am 09. September 2001 (BGBl. I S. 2331).
- BBodSchV, 1999: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 17.07.1999 (BGBl I 1999, 1554); Zuletzt geändert durch Art. 5 Abs. 31 G v. 24.2.2012 I 212.
- TMLNU, 1997: Atlas der Schwermetallgehalte Thüringer Böden.- Thüringer Land.anst. f. Geolog., 1997, pdf-Datei auf CD, 59 S.
- VV, 1995: Neufassung der Verwaltungsvorschrift zum Vollzug der Klärschlammverordnung (AbfKlärV) vom 15. April 1992 (BGBl. I S.912) vom 5. Mai 1993 (ThürStAnz Nr. 20/1993 S. 775 ff.).

Impact of Rice Cultivation on some Physical Properties of the Soil and Water Crop Consumption at the North of Nile Delta, Kafrelsheikh, Egypt

M.M. Saffan, A. Abou El-Khir

Soil & Water Sci. Dept. Fac. of Agric., Kafrelsheikh Univ. 33516, Egypt

1. Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) is considered the second important food crop after wheat and it is a main food crop for more than half of the world population, and will become increasingly more valuable in population of developing. One of the best target is to increase the crop production. In Egypt, rice is considered to be the second export crop after cotton. It is grown in an area of 1.2 million feddan, having an annual production of about 6.1 million tons. However, still there is a good chance to raise rice production in Egypt by improving rice cultivation techniques (RRTC, 2007).

The soil physical conditions are needed for good root growth, the water for plant growth are all dependent on the pore size distribution and inter-connections of the pores forming the pore space. Since wet-leveling (Talweet) is known to have a compaction effect on soil tilth, there is a need for determining soil conditions, especially under Talweet condition (Ebada, 1992, Tripathi et al., 2003). In Egypt, however irrigation water is not sufficient for irrigation, so one way to save water is to decrease submerged irrigation heads without any drastic effects on the yield. In general, efficient management of irrigation water is resulted in producing higher yields with less irrigation water.

The objective of the present study was to maximize the rice crop yield through studying the effect of land leveling with different planting methods on some physical properties of soil cultivated with rice crop. It aimed also to inquire the effect of three different irrigation heads on field water use efficiency of rice crop.

2. Materials and Methods

Two field experiments were carried out at Sakha Agricultural Research Station in the North Delta region at Kafr El-Sheikh Governorate during the two growing seasons 2002 and 2003. The investigated area was about 5300 m². The site locates at intercept 31° 07' N latitude and °30'52 E longitude and it has elevation about 6 meters above sea level for the two growing seasons. Previous crops were flax and berseem in the 1st and 2nd seasons, respectively. The investigated area was plowed (14 cm depth) and divided into four large plots. Each plot was 11 x 11 m and isolated from the others to prevent the horizontal water movement. A strip-plot design with three replicates was conducted for four different land levelings with different planting methods. T₁ and T₂ (dry leveling) were cultivated by drilling without wet leveling (Talweet) and cultivated after soil flooding by manual transplanting, respectively. So, T₃ and T₄ (wet leveling) were cultivated after wet leveling (Talweet) by manual transplanting method and cultivated after wet leveling of the soil (Talweet) by mechanical transplanting. N- and P-fertilizer was applied during tillage practice at the recommended dose (RRTC, 2007). Rice variety (Sakha 101) was planted in the two growing seasons.

Drilling cultivation was done at the same time of nursery at dry leveled soil and transplanting at wet leveled soil (3 plants/hill). Mechanical cultivation was done after talweet in dimensions of 20 x 20 cm between hills and rows. Weeds and grasses were controlled chemically by Saturn (2 L/fed.) and manually as necessary.

Disturbed soil samples were taken from the experimental site from different depths namely 0-15, 15-30 and 30-45 cm in the two growing seasons before conducting the experiment. Soil samples were air dried and ground to pass through 2 mm sieve, then the different determinations of soil chemical properties were carried out. Also, undisturbed soil samples using core method were collected from the depths sequence of 0-15, 15-30 and 30-45 cm before planting and after harvesting rice crop, and prepared to determine soil physical properties.

Physical analysis: Particle size distribution % (Gee and Bauder, 1986). Soil bulk density (mg/m³): Using core method (Vomocil, 1957). **Aggregate size distribution:** By wet sieving technique using undisturbed soil samples as described by Yoder (1936). Water stable aggregates (WSA), optimum size of aggregates (opt. size), aggregation index (AI), structure coefficient (SC) and mean weight

diameter (MWD) were calculated according to Baver et al. (1972). Infiltration rate (IR) and cumulative infiltration by the double ring infiltrometer (Garcia, 1978).

Field water use efficiency is the weight of marketable crops produced per volume unit of applied water expressed as cubic meters of water (Michaele, 1978). In the two growing seasons of the experiments, irrigation water at all depths was measured by using a cut throat flume of (20 x 90 cm) according to Walker and Skogerbae (1987).

Chemical analysis: Soil reaction, EC dS/m, soluble cations and anions were estimated in the soil paste extract, available N using micro-Kjeldahl method, available P and K according to Page (1982) and Chapman and Pratt (1961) respectively. Some physical and chemical properties of soil samples at the two fields before experiments are presented in Table 2.

Tab. 2: Mean chemical, physical analysis of the studied soil, before carrying out the experiment, in the two growing seasons.

Soil depth, cm	EC* dS/m 25°C	pH	Cations,* (meq/L)				Anions,* (meq/L)			
			Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
Mean chemical analysis										
0-15	2.33	8.10	16.30	4.03	2.70	0.30	0.40	1.20	12.20	9.50
15-30	2.41	8.78	16.50	5.20	2.10	0.30	-	2.20	15.30	7.60
30-45	2.35	8.90	16.80	4.30	2.20	0.20	-	2.60	16.30	5.60
0-15	2.35	7.98	16.60	4.9	1.70	0.30	-	1.30	11.70	10.50
15-30	2.18	8.30	17.50	2.8	1.20	0.30	-	2.40	13.20	6.20
30-45	2.20	8.11	16.70	3.8	1.30	0.20	-	2.10	15.30	4.90
Mean Physical analysis and Av.N,K,P										
Soil depth, cm	Particle size distribution				Textural class	OM, %	Bulk density (mg/m ³)	Av. N	Av. K	Av. P
	Coarse sand	Fine sand %	Silt	Clay						
0-15	3.09	12.44	23.95	60.52	Clayey	1.14	1.22	28.00	409.50	8.30
15-30	2.84	5.92	31.77	59.48	Clayey	0.52	1.34	22.00	382.80	6.80
30-45	0.84	6.87	40.37	51.92	Clayey	0.14	1.40	16.00	195.00	4.20
0-15	2.19	11.53	22.84	63.44	Clayey	1.15	1.25	32.00	429.50	8.10
15-30	2.13	4.82	33.61	59.44	Clayey	0.64	1.32	28.00	345.50	6.70
30-45	0.54	5.32	42.19	51.96	Clayey	0.36	1.41	16.00	198.10	4.40

- soil paste extract

Some of data obtained were statistically analyzed according to Snedecor and Cochran (1967). Mean values were compared at the 5 % and 1 % levels of significance by using LSD.

4. Results and Discussion

4.1 Bulk density and total porosity

The obtained data showed that bulk density values after harvesting rice crop were higher than those before planting under all treatments. Increment of soil bulk density by land leveling with planting methods could be attributed to the effect of puddling processes, which compact and degrades and breaks the natural aggregates to finer fractions. The change of soil bulk density values was clearly in the surface layers of the soil up to 0-15 and 15-30 cm and a little difference in 30-45 cm depth was observed with all treatments in the two growing seasons.

Tab. 3: Soil bulk density (ρ_b) and total porosity (E) as affected by land levelling with planting methods in the two growing seasons (2002 & 2003).

Land levelling practices	r_b & E% before planting		r_b & E% in the 1 st season (2002) after harvesting					
			R ₁		R ₂		R ₃	
	r_b	E%	r_b	E%	r_b	E%	r_b	E%
T ₁ Mean	1.32	50.18	1.33	49.81	1.34	49.43	1.35	49.05
T ₂ Mean	1.32	50.18	1.33	49.81	1.34	49.43	1.35	49.05
T ₃ Mean	1.32	50.18	1.35	49.05	1.35	49.05	1.36	48.67
T ₄ Mean	1.32	50.18	1.35	49.05	1.35	48.67	1.36	48.67
Land levelling practices	r_b & E% before planting		r_b & E% in the 2 nd season (2003) after harvesting					
			R ₁		R ₂		R ₃	
	r_b	E%	r_b	E%	r_b	E%	r_b	E%
T ₁ Mean	1.33	49.81	1.34	49.43	1.34	49.43	1.34	49.43
T ₂ Mean	1.33	49.81	1.34	49.43	1.35	49.05	1.35	49.05
T ₃ Mean	1.33	49.81	1.37	48.30	1.37	48.30	1.38	47.92
T ₄ Mean	1.33	49.81	1.38	47.92	1.39	47.54	1.39	47.54

T₁ = Dry leveling with drilling cultivation, T₂ = Dry leveling with manual transplanting, T₃ = Wet leveling with manual transplanting, T₄ = Wet leveling with mechanical cultivation, r_b = Soil bulk density mg/m³, E = Total porosity %

The highest increase in soil bulk density was recorded by soil wet leveling and the lowest increasing with soil dry leveling in the first growing season. The mean values of soil bulk density, before planting was 1.32 mg/m^3 and after harvesting under water depths W_1 , W_2 and W_3 were 1.33, 1.34 and 1.35 mg/m^3 respectively, under the application of T_1 . The same trend was noticed with T_2 , where soil bulk density values were 1.33, 1.34 and 1.35 mg/m^3 under R_1 , R_2 and R_3 , treatments, respectively.

On the other hand, under T_3 and T_4 , values of soil bulk density increased as compared to T_1 and T_2 . Mean values of soil bulk density under T_3 were found to be 1.35, 1.35 and 1.36 mg/m^3 , under T_4 were 1.35, 1.35 and 1.36 mg/m^3 with water heads W_1 , W_2 and W_3 , respectively. It could be concluded that the values of soil bulk density increased more by wet than dry leveling practices. On the other hand, bulk density values had a little increase, as long as submerged water head increased and consequently the compaction effect of water column. The same trend was found in the second growing season.

Finally, the soil compaction by wet leveling using cattles and mechanical transplanting had deteriorated the macro aggregates to micro aggregates. These effects were observed clearly in the surface layers up to 0-15 and 15-30 cm. These results are in agreement with Saffan (1975), DeDatta (1981) and Ibrahim (1981).

On the other hand, total porosity had the opposite trend of the soil bulk density at all depths. It decreased under soil puddling process (talweeting) at T_3 and T_4 treatments, especially in the surface layer as well as with increasing submerged water heads compared with T_1 and T_2 . The dry leveling processes at the two growing seasons, under treatments T_1 , T_2 , T_3 and T_4 affected the total porosity compared with that before planting. The trend of these results was in agreement with those obtained by El-Aishy et al. (1976). They stated that the values of total porosity were lower in wet leveled soil compared with control.

4.2 Infiltration rate (IR) and cumulative infiltration

Data of the infiltration rate (IR) and cumulative infiltration (Cum.I) as affected by land leveling with different planting methods in the two growing seasons were presented in Tab. 4. It was noticed that under all treatments, values of IR and Cum.I after harvesting were lower than that before planting, and the land leveling

with planting methods treatments affected basic IR and cumulative infiltration. The treatments of wet leveling (T_3 and T_4) recorded the lower values throughout the two growing seasons of study, where the values of basic infiltration rate were 3.7 and 3.7 mm/h for wet leveling T_3 and T_4 , treatments in the first and second growing seasons. On the other hand, dry leveling treatments (T_1 and T_2) recorded 5.3 and 5.3 mm/h in first season, and 5.6 and 5.3 mm/h in the second season. The corresponding values of cumulative infiltration after 3 hours for the above mentioned treatments were found to be 36.3 and 31 mm under wet leveling as well as 38.7 and 39 mm under dry leveling in the first season. The cumulative infiltrations in the second season for the same treatments were 37 and 32.3 mm for wet leveling and 49 and 43.3 mm for dry leveling. These results indicated that cumulative infiltration after three hours was lower under wet leveling treatments relatively to that under dry leveling (T_1 , T_2). These data were in great agreement with those obtained by Ebada (1992), DeDatta (1981) and Peeyush Sharma et al. (2005). They stated that rice cultivation decreased infiltration and permeability of the soil.

4.3 Soil aggregation parameters

The obtained data showed that mean weight diameter (MWD) values were decreased after harvesting rice crop than those before planting, and the wet leveling (T_3 , T_4) process caused a clearly decrement in the values of MWD at all soil depths compared with those obtained from samples in dry leveling (T_1 , T_2). The decline of MWD was clear under dry-and wet leveling practices.

MWD in the first season (Tab. 5) were 0.172, 0.152, 0.151, 0.106 and 0.107 mm for before planting, T_1 , T_2 , T_3 and T_4 , respectively at soil depth (0-15 cm), while MWD in the second season (Tab. 5) were 0.188, 0.180, 0.162, 0.129 and 0.112 mm for the same treatment, respectively. Data also revealed that MWD were decreased with increasing soil depth in both growing seasons and under all treatments. Decrement in MWD in wet leveling treatments may be due to destructive effect of puddling process.

The obtained data of aggregation index (AI) and structure coefficient (SC) as shown in Tab. 5 showed that values of AI and SC were higher under dry leveling than that with wet leveling and before planting at the all soil depths. The AI were 0.076, 0.076, 0.053 and 0.052 for T_1 , T_2 , T_3 and T_4 in the first growing season, respectively at the soil depth 0-15 cm (Tab. 5). On the other hand, AI were 0.090,

Tab. 4: Infiltration rate IR (mm/h) and cumulative infiltration Cum.I (mm) as affected by land leveling with planting practices in the first growing season (2002) and in the second growing season (2003).

Tapped mm	Treat.	2002				2003						
		Before planting	T ₁ Mean	T ₂ Mean	T ₃ Mean	T ₄ Mean	Before planting	T ₁ Mean	T ₂ Mean	T ₃ Mean	T ₄ Mean	
0	I.R.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Cum.I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	I.R.	87.6	75.6	75.6	75.6	63.6	124.0	96.0	84.0	75.6	63.6	63.6
	Cum.I	7.3	6.3	6.3	6.3	5.3	10.3	8.0	7.3	6.3	5.7	5.7
10	I.R.	68.4	51.6	55.2	68.4	48.0	112.0	68.4	56.4	68.4	48.0	48.0
	Cum.I	13.0	10.7	11.0	12.0	9.3	19.7	13.7	11.7	12.0	9.3	9.3
20	I.R.	36.0	30.0	30.0	31.8	28.2	50.0	35.2	36.0	31.8	28.2	28.2
	Cum.I	19.0	15.7	16.0	17.3	14.0	28.0	20.0	17.7	17.3	14.0	14.0
30	I.R.	31.8	19.8	22.2	24.0	19.8	48.0	36.0	25.8	30.0	24.0	24.0
	Cum.I	24.3	19.0	19.7	21.3	17.3	36.3	26.0	22.0	22.3	18.0	18.0
45	I.R.	17.2	17.2	17.2	16.0	13.2	26.7	21.2	20.0	14.8	16.0	16.0
	Cum.I	28.7	23.3	24.0	25.3	20.7	43.0	31.3	27.0	26.0	22.0	22.0
60	I.R.	14.8	13.2	12.0	12.0	10.8	24.0	20.0	16.0	13.2	10.8	10.8
	Cum.I	32.3	26.7	27.0	28.3	23.3	49.0	36.3	31.0	29.3	24.7	24.7
90	I.R.	6.6	7.2	6.6	4.6	4.0	10.0	8.0	7.4	4.6	4.0	4.0
	Cum.I	35.7	30.3	30.3	30.7	25.3	54.0	40.3	34.7	31.7	26.7	26.7
120	I.R.	6.0	6.0	6.0	4.0	4.0	9.3	6.6	6.0	4.0	4.0	4.0
	Cum.I	38.7	33.3	33.3	32.7	27.3	59.3	43.7	37.7	33.7	28.7	28.7
180	I.R.	6.0	5.3	5.3	3.7	3.7	6.3	5.6	5.3	3.7	3.7	3.7
	Cum.I	44.7	38.7	39.0	36.3	31.0	67.3	49.0	43.3	37.0	32.3	32.3

Tab.5: Average of aggregation parameters as affected by land leveling treatments with planting methods at first season (2002) and second season (2003).

		First season (2002)				
Treatment	Soil Depths (cm)	Aggregate size distribution, %				
		>2mm	2-1 mm	1-0.5 mm	0.5-0.25 mm	
Before planting	0-15	1.658	9.883	22.310	16.725	
	15-30	0.564	4.035	16.826	23.525	
	30-45	0.306	2.169	13.876	29.080	
Afterharvesting	T ₁	0-15	1.133	8.106	19.764	18.046
		15-30	0.439	3.241	16.783	22.939
		30-45	0.297	2.278	12.280	26.910
	T ₂	0-15	1.127	8.618	20.847	16.481
		15-30	0.505	4.448	15.067	23.605
		30-45	0.170	2.207	11.507	27.397
	T ₃	0-15	0.224	5.991	12.643	24.059
		15-30	0.143	4.682	10.452	26.585
		30-45	0.111	4.716	8.777	30.088
T ₄	0-15	0.196	5.642	12.237	27.772	
	15-30	0.149	3.612	10.513	29.625	
	30-45	0.090	3.367	7.910	29.197	
		Second season (2003)				
Before planting	0-15	1.862	9.901	24.761	19.771	
	15-30	1.099	4.299	21.104	24.913	
	30-45	0.333	2.443	16.324	28.888	
Afterharvesting	T ₁	0-15	1.300	8.927	23.156	19.370
		15-30	0.642	5.520	19.340	21.593
		30-45	0.352	2.184	13.471	26.961
	T ₂	0-15	1.175	9.423	23.183	17.706
		15-30	0.571	5.963	16.967	22.749
		30-45	0.415	3.945	13.571	26.122
	T ₃	0-15	0.466	5.863	19.07	25.125
		15-30	0.144	4.531	14.836	28.426
		30-45	0.098	3.385	11.144	30.830
T ₄	0-15	0.188	6.219	13.893	28.898	
	15-30	0.168	4.408	10.810	29.645	
	30-45	0.079	3.667	9.405	31.140	

First season (2002)					
Total WSA% >0.25mm	Total WSA% <0.25 mm	M.W.D. (mm)	Op.S. %-0.5- 2.0mm	A.I	S.C.
50.576	49.422	0.172	32.193	0.086	1.023
49.950	50.050	0.114	20.861	0.057	0.998
45.431	54.569	0.099	16.045	0.049	0.833
48.049	51.951	0.152	27.867	0.076	0.892
43.418	56.582	0.111	19.989	0.056	0.769
41.865	58.185	0.091	14.588	0.045	0.719
47.073	52.927	0.151	29.463	0.076	0.890
43.292	56.708	0.109	19.516	0.055	0.787
41.281	58.719	0.086	13.714	0.043	0.706
42.926	57.074	0.106	18.643	0.053	0.752
41.861	58.139	0.095	15.134	0.048	0.730
43.694	56.306	0.095	13.462	0.048	0.780
45.841	54.159	0.107	18.208	0.052	0.851
43.879	56.121	0.090	14.125	0.045	0.784
40.535	59.437	0.080	11.277	0.040	0.703
Second season (2003)					
56.295	43.705	0.188	34.662	0.094	1.288
51.415	48.585	0.139	25.403	0.070	1.038
47.988	52.012	0.107	18.767	0.054	0.923
52.753	47.247	0.180	32.085	0.090	1.125
47.095	52.890	0.128	24.860	0.064	0.897
43.415	56.585	0.095	15.920	0.048	0.754
51.485	48.515	0.162	32.603	0.081	1.059
46.244	53.751	0.125	22.930	0.062	0.863
43.061	55.941	0.107	17.516	0.053	0.791
50.530	49.479	0.129	24.939	0.065	1.025
47.937	52.063	0.108	19.367	0.055	0.924
45.457	54.543	0.094	14.529	0.047	0.833
49.138	50.862	0.112	20.058	0.057	0.967
45.013	54.986	0.098	15.216	0.049	0.822
44.223	55.777	0.091	13.070	0.046	0.794

0.081, 0.065 and 0.057 in the second season at the same depth, respectively. SC were 0.892, 0.890, 0.752 and 0.850 in the first season, 1.125, 1.059, 1.025 and 0.967 in the second season for T₁, T₂, T₃ and T₄, respectively. The decreasing in AI and SC in wet leveling treatments may be due to the destructive effect of puddling (talweeting) process. Similar results were reported by Saffan (1975) and El-Henawy (2000).

The percentage of water stable aggregates (WSA%) > 0.25 mm for the three successive surface layers (0-15, 15-30, 30-45 cm) at the first season were 48.049, 43.418 and 41.685 under T₁, 47.073, 43.292 and 41.281 under T₂, 42.926, 41.861 and 43.694 under T₃ and 45.841, 43.879 and 40.535 under T₄ for the three layers, respectively. On the other hand, WSA% > 0.25 mm at the second season were 52.753, 47.095 and 43.415 under T₁, 51.485, 46.244 and 43.061 under T₂, 50.530, 47.937 and 45.457 under T₃ and 49.138, 45.013 and 44.223 under T₄ for the same successive layers (Tab. 5).

Data indicated that WSA% > 0.25 mm under dry leveling (T₁, T₂) were higher than that under wet leveling (T₃, T₄). It was noticed also that the percentage of aggregates on all sizes of aggregates were higher in the dry leveling processes than those under wet leveling in both seasons. This decrease in all sizes of aggregates at wet leveling may be due to the breakdown of macro-aggregate to micro-aggregates which resulting by wet leveling (Talweet) processes.

The values of optimum size of aggregates for the soil depth of (0-15 cm) at the first season were 27.867, 29.463, 18.643 and 18.208 % under the four treatments T₁, T₂, T₃ and T₄, respectively. On the other hand, optimum size of aggregates for the same treatments at the second season were 32.085, 32.603, 24.939 and 20.058 % (Tab. 5).

Data indicated that optimum size of aggregates (2-0.5 mm) under dry leveling were higher than that under wet leveling processes and the values of optimum size of aggregates were decreased with increasing soil depths in both seasons under all treatments. Finally, the decrease in aggregation parameters may be due to the wet-leveling process which breaks macro-aggregates to micro aggregates. The trend of these results was in agreement with Saffan (1975) who stated that wet-leveling process decreased aggregation index and structure coefficient. The obtained results indicated that integrated cultivation for high rice crop production dry leveling with manual transplanting and water head 3 cm produced

a good crop production with a desirable soil physical properties, especially bulk density and total porosity.

Tab. 6: Field water use efficiency as affected by different land leveling with planting methods and irrigation submergence heads treatments in 2002 and 2003 growing season.

Water heads Soil practices	W ₁			W ₂			W ₃		
	Grain yield kg/fed.	Water applied m ³ /fed.	Field water use efficiency kg/m ³	Grain yield kg/fed.	Water applied m ³ /fed.	Field water use efficiency kg/m ³	Grain yield kg/fed.	Water applied m ³ /fed.	Field water use efficiency kg/m ³
First season 2002									
T ₁	2475.00	2934.90	0.84	2595.78	4192.70	0.62	2988.30	5869.70	0.51
T ₂	2762.30	2851.00	0.97	3381.70	4276.50	0.79	3742.70	5702.00	0.66
T ₃	2793.00	2683.30	1.04	3460.00	3773.90	0.91	3926.30	5350.50	0.73
T ₄	2755.30	2599.40	1.06	3101.70	3689.50	0.84	3666.00	5366.60	0.69
Second season 2003									
T ₁	2576.30	2852.10	0.90	2589.00	3882.20	0.67	3011.00	5669.30	0.53
T ₂	2698.70	2767.20	0.97	3158.70	3816.60	0.83	3755.00	5602.70	0.67
T ₃	2772.00	2599.40	1.10	3299.00	3495.00	0.94	3736.00	5062.60	0.74
T ₄	2763.70	2515.30	1.10	3174.00	3415.70	0.93	3702.00	5012.90	0.74

T₁ = Dry leveling with drilling cultivation, W₁ = Submerged water head 1 cm, T₂ = Dry leveling with manual transplanting, W₂ = Submerged water head 3 cm, T₃ = Wet leveling with manual transplanting, W₃ = Submerged water head 6 cm, T₄ = Wet leveling with mechanical cultivation

Data in Tab. 6 indicate that treatment W₁ (1 cm submerged head) obtained the highest values of field water use efficiency followed by W₂ (3 cm submerged head) and the latest one was W₃ (6 cm submerged head), which gave the lowest values in the two growing seasons. There is a clear trend showing that, as the depth of submersion head of irrigation increased, the amount of irrigation water increased and field water use efficiency values decreased as was also reported by Saied *et al.* (1995) and El-Kholy (1997).

Data indicated also that wet leveling treatments (T_3, T_4) recorded higher values of field water use efficiency than dry leveling treatments (T_1, T_2), which due to the less amount of water which received using wet leveling treatment as compared by dry leveling one, which is in great agreement with Ebada (1992) and Saffan et.al. (2012).

5. References

- Baver, L.D., Gardner, W.H., Gardner, W.R., 1972: Soil Physics. John Wiley & Sons., Inc., New York, 4th edition.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1961: Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. Univ. of Californian, USA.
- De-Datta, S.K., 1981: Water management practices for rice. In: Principles and Practices of Rice Production. WileyInterScience Press, New York, 297-347.
- Ebada, R.H.A., 1992: Effect of land leveling treatments on rice grain yield, water requirements and some physical properties of paddy soils. M.Sc. Thesis, Fac. of Agric., Kafr El-Sheikh, Tanta Univ.
- El-Aishy, S.M., Gaheen, S.A., Khadr, M., Saffan, M.M., 1976: Effect of wet leveling on some soil physical properties, root system development and grain of rice. J. Agric. Res. Tanta Univ., 2(1):367-375.
- El-Henawy, A.S., 2000: Impact of available water sources at North Delta on soil and some field crops. M.Sc. Thesis, Fac. of Agric., Kafr El-Sheikh, Tanta Univ.
- Garcia, I., 1978: Soil Water Engineering Laboratory Manual. Dept. of Agric. and Chemical Engineering, Colorado State Univ. Fort. Callins Colorado, USA.
- Gee, G.W., Bauder, J.W., 1986: Particle Size Analysis, In: Methods of Soil Analysis. C.F. Klute, A. (ed.) Part I. 9, 15: 383-409, Amer. Soc. Agron Inc. Soil Soc. of Amer, Inc. Madison, Wisconsin, USA. Second Edition.
- Ibrahim, S.M., 1981: Effect of tillage operation and water status on some physical properties. M.Sc. Thesis, Faculty of Agric. Kafr El-Sheikh Tanta Univ.
- Page, A.L., 1982: Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbial Properties. 2nd edition Amer. Soc. of Agron., Inc. Soil Sci. Soc. of Amer, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Panda, S.C., Patro P.C. Panda, Reddy, G.M.V., 1999: Effect of integrated nitrogen management on rice yield and physico-chemical properties of soil. Crop. Res. Hisar, 18(1):25-28.

- Peeyush Sharma, R.P. Tripathi, Surendra Singh, 2005: Tillage effects on soil physical properties and performance of rice-wheat cropping system, water table condition of Tarai, Northern India. *European Journal of Agron.* 23(4), 327-335.
- RRTC: (Rice Research and Training Center). High Lights 2007.
- Saffan, M.M., 1975: Effect of wet-leveling on some physical properties and root system development of rice in clay soils. M.Sc. Thesis, Faculty of Agric., Kafr El-Sheikh Tanta University.
- Saffan, M.M., Gaheen, S.A., Khalifa, R.M., 2012: Water requirements of maize crop as affected by soil moisture depletion and water table level. *VDLUFA-Schriftenreihe* 68, 429-441, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Snedecor, G.W., Cochran, W.G., 1972: *Statistical Methods* 6th Ed. Iowa State Univ., Ames. Iowa.
- Tripathi, R.P.; Gaur, M.K., Ramat, M.S., 2003: Puddling effects on soil physical properties and rice performance under shallow water table conditions of Tarai. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 51(2), 18-124.
- Vomocil, J.A., 1957: Measurements of soil bulk density and penetrability. *A Review of Methods Adv. Agron.* 9, 159-176.
- Yoder, R.E., 1936: A direct method of aggregation analysis of soil and a study of physical nature erosion losses. *J. Amer. Sci. Agron.* 28, 337-351.

Erosionsschutz und Wasserrückhalt auf landwirtschaftlichen Flächen mit Hilfe von bewirtschaftungsintegrierten Verwallungen

N. Seidel¹, E. Müller², S. Peschke², W. Schmidt², S. Schütze³

¹LfULG, Förder- und Fachbildungszentrum Kamenz, ²LfULG, Abteilung Landwirtschaft, Nossen, ³Landratsamt Meißen, Großenhain

1. Einleitung

Die Wasserhaltefähigkeit von Böden ist die Grundvoraussetzung für ihre landwirtschaftliche bzw. ackerbauliche Nutzung. Um den Wasserspeicher Boden umfassend für die Pflanzenproduktion zu nutzen, muss die Landwirtschaft möglichst viel Niederschläge in den Boden infiltrieren und dort speichern. Aus der Tatsache heraus, dass die Landwirtschaft der größte Flächennutzer ist (z. B. werden über 50 % der Landesfläche Sachsens landwirtschaftlich, und davon wiederum 80 % ackerbaulich genutzt), ergibt sich ein entsprechendes Potenzial, durch die landwirtschaftliche Nutzung über die Beeinflussung von Interzeptionsspeicher, Evapotranspiration, Infiltration, Volumen und Auffüllung des Bodenwasserspeichers und dem daraus resultierenden Oberflächenabfluss zum Hochwasserschutz beizutragen. Dies insbesondere deshalb, da die Bearbeitung von Ackerflächen die Optimierung der Wasserinfiltration ermöglicht (DWA, 2013).

Im Folgenden wird vorgestellt, wie durch die konservierende Bearbeitung und durch ergänzende Maßnahmen am Beispiel Pröda die Wasserinfiltration auf Ackerflächen optimiert und dadurch das vorhandene Porenvolumen des Wasserspeichers Boden zum Wasserrückhalt als Beitrag zum dezentralen Hochwasserschutz effizienter genutzt werden kann. Auf dem Ackerschlag in Pröda wurden in der Tiefenlinie des Ackerschlages zwei Verwallungen (Geländemodellierungen) angelegt und so zusätzliches Speichervolumen für den dezentralen Hochwasserschutz geschaffen.

1.1 Wirkung verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf den Erosionsschutz und das Wasserrückhaltevermögen

Auf den erosionsanfälligen Böden des Sächsischen Lößhügellandes sind bei Starkregenereignissen regelmäßig erhebliche Abflussereignisse und damit ein-

hergehende Erosionsschäden zu beobachten. Diese ereignen sich vor allem im Frühjahr auf Flächen mit noch gering entwickelten Kulturen (Mais, Zuckerrüben, Kartoffeln) und im Sommer, wenn die Bestände bereits abgeerntet sind (Wintergerste, Winterraps) und damit nur ein geringer Bedeckungsgrad der Bodenoberfläche gegeben ist. Durch die Anwendung erosionsmindernder Bodenbearbeitungsverfahren (Mulchsaat, Streifensaar, Direktsaat) können diese Prozesse im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (Wenden mit dem Pflug) deutlich gemindert werden. Dies liegt darin begründet, dass bei diesen Verfahren auf das Wenden mit dem Pflug verzichtet wird. Dadurch wird die Bodenstruktur nachhaltig stabilisiert und es bleibt auch nach der Bearbeitung eine Mulchaufgabe erhalten, welche die Bodenoberfläche vor Verschlammung schützt. Die positiven Wirkungen erosionsmindernder Bodenbearbeitungsverfahren wurden anhand zahlreicher Beregnungsversuche nachgewiesen (Nitzsche et al, 2002).

1.2 Wirkung begrünter Abflussbahnen (Tiefenlinien)

Wird durch die Anwendung erosionsmindernder Bodenbearbeitungsverfahren in den Tiefenlinien der Ackerschläge kein ausreichender Erosionsschutz erreicht werden, besteht eine wirksame Maßnahme darin, diese zu begrünen. Durch eine ganzjährige Vegetationsbedeckung der Tiefenlinien wird die Bodenstruktur stabilisiert und vor der erosiven Wirkung des konvergierenden Abflusses geschützt. Die Tiefenlinien selbst werden dadurch wirksam vor Rinnen- oder Grabenerosion bewahrt (Stone, 2009; Voß et al., 2010).

Die höhere Rauigkeit und Dränleistung der begrünter Abflussbahnen im Vergleich zur Ackerfläche bewirkt zudem, dass die Fließgeschwindigkeit und damit die Transportkapazität des Oberflächenabflusses herabgesetzt wird, mitgeführtes Bodenmaterial sedimentiert und damit der Eintrag in angrenzende Oberflächengewässer reduziert wird.

1.3 Einfluß von Kleinstrückhalten auf die Wasserretention in den Einzugsgebieten

Für die Schaffung von zusätzlichem Wasserretentionspotenzial in den Einzugsgebieten eignen sich verschiedene dezentrale Hochwasserschutzmaßnahmen. Diese sind umfassend im Regelwerk DWA-M 550 (DWA, 2013) beschrieben. In der Literatur findet man einige Studien zur hydrologischen Wirkung von

Klein- und Kleinstrückhalten als dezentrale Maßnahmen des Hochwasserschutzes. Wegner (1992) untersuchte anhand des Eschbaches, nordwestlich von Frankfurt am Main die Summenwirkung verschiedener dezentraler Maßnahmen im Vergleich zu einem zentralen Hochwasserrückhaltebecken. Angaben zum Gesamtvolumen dieser Maßnahmen fehlen jedoch. Er zeigt, dass mit Hilfe von dezentralen Maßnahmen bei einem HQ 100 eine Scheitelreduktion am Unterlauf des Eschbaches von ca. 20 % erreicht werden kann. Auch Assmann et al. (1998) zeigen anhand von Modellrechnung für die Obere Elsenz nahe Heidelberg, dass mit Hilfe von dezentralen Maßnahmen deutlich abgeflachte Abflussspitzen erreicht werden können. Das Umsetzungspotential für dezentrale Kleinrückhalte wird nach DWA (2013) so eingeschätzt, dass bis in flache Gebirgslagen bei guten Bedingungen bis zu 5000 m³ pro km² zusätzliches Speichervolumen aktiviert werden können. Dezentrale Kleinrückhalte werden daher als effektive Einzelmaßnahme bewertet, die in der Summe ein hohes Retentionspotential erreichen (DWA, 2013, Rieger und Disse, 2013).

2. Material und Methoden

2.1 Lage, Standorteigenschaften und Schadenspotenzial der Ackerfläche

Der Untersuchungsstandort befindet sich in der Lommatzcher Pflege (Sachsen) und gehört zur Ortschaft Pröda (Stadt Nossen). Der rund 21 ha große Schlag (Bild 1) wird von einer ca. 500 m langen Tiefenlinie durchzogen, die östlich in den Vorfluter „Stahnaer Bach“ mündet und ein starkes Längsgefälle von mehr als 8 % aufweist.

Der Stahnaer Bach mündet in das Dreißiger Wasser, welches über den Ketzerebach in die Elbe fließt. Die Bodenart des Ackerschlagel ist schwach toniger Schluff (Ut3) und damit aufgrund des hohen Schluffgehaltes sehr erosionsanfällig. Die einst ca. 4 m mächtige Lössdecke wurde stark erodiert, sodass die Lößauflage heute auf den Kuppen nur noch ca. 50 cm beträgt. In der jüngsten Vergangenheit kam es zu häufigen Hochwasser- und Erosionsereignissen (04/2006, 02/2010, 06/2013, 11/2013) mit erheblichen Schäden in verschiedenen Ortsteilen der ehemaligen Gemeinde Leuben–Schleinitz, heute Stadt Nossen.

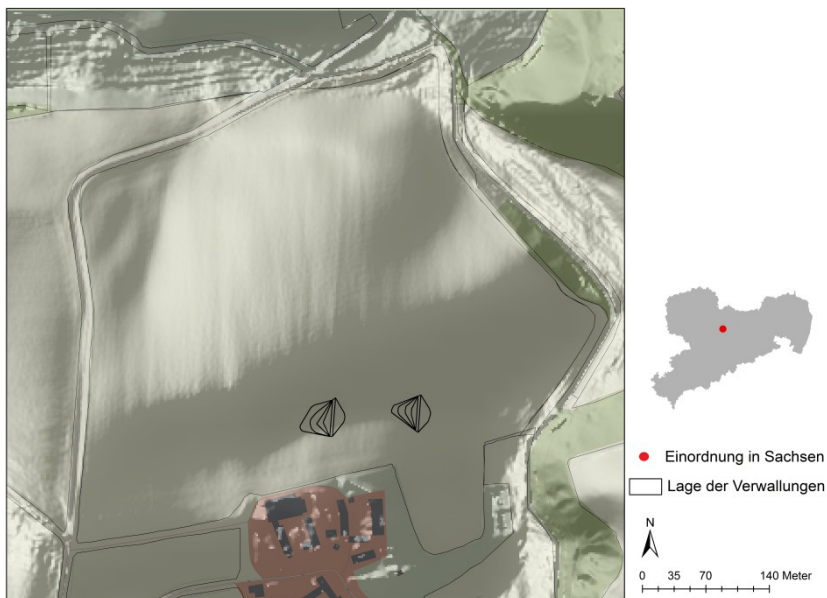


Abb. 1: Lage des Standortes in Sachsen und Darstellung der Untersuchungsfläche Pröda mit Kennzeichnung der Verwallungen (Fachdaten: Sächsisches Landesamt für Umwelt Geologie und Landwirtschaft, Referat 72; Geobasisdaten: © 2014, Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen)

2.2 Umsetzung der Baumaßnahme

Für den Bau der oberen Verwallung wurde der Mutterboden auf einer Fläche von rund 2200 m² abgetragen. Um den Wall mit einer Höhe von rund 1,80 m zu errichten war eine Einbaumenge von rund 500 m³ Lösslehm notwendig. Für die untere Verwallung wurde der Mutterboden auf einer Fläche von 1500 m² abgeschoben. Für den ca. 1,50 m hohen Damm wurde eine Einbaumenge rund 400 m³ Lösslehm verwendet. Nach dem Einbau und der Profilierung der Dämme wurde der zwischengelagerte Mutterboden auf der gesamten Fläche wieder aufgebracht (Arnold Consult GmbH, 2012). Die Böschungsneigungen der Verwallungen betragen wasserseitig 1:10 und luftseitig 1:4. Die Dammkronen sind jeweils ca. 3 m breit. Die Staukapazität der oberen Verwallung umfasst 500 m³, die der unteren Verwallung 200 m³. Das über die Verwallungen zu entwässernde Einzugsgebiet besitzt eine Größe von rund 6 ha. Zur Abführung des zufließenden Oberflächenabflusses wurde in den Verwallungen jeweils ein 30 m langer

Sickerstrang verlegt und mit gut durchlässigem Material (kf-Wert $> 5,00E-4$ m/s) verfüllt (Arnold Consult GmbH, 2012). Der Abfluss über den Sickerdrän beträgt entsprechend 3,75 l/s bzw. 3,5 m³/h. Bei vollständiger Auslastung der oberen Verwallung (500 m²) würde die Entleerungszeit demnach 37 Stunden betragen, die der unteren Verwallung (200 m²) rund 15 Stunden. Die Fertigstellung der Baumaßnahme erfolgte im Oktober 2012 (Bild 2). In den Folgejahren wurden die Verwallungen dann vollkommen in die Bewirtschaftung integriert (Bild 3).

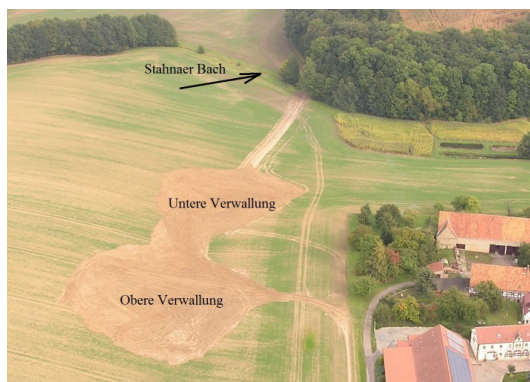


Abb. 2: Luftbild der Verwallungen kurz nach Ende der Fertigstellung der Baumaßnahme 2012. (Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt Geologie und Landwirtschaft, Referat 72)

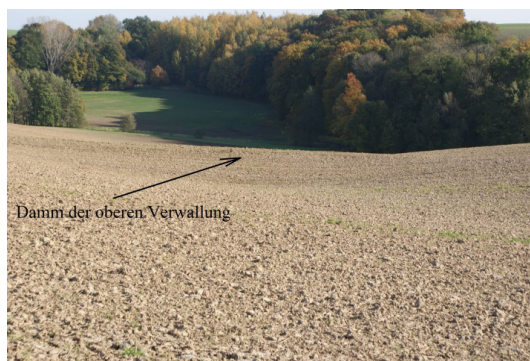


Abb. 3: Integration der oberen Verwallung in die Winterweizenbestellung 2014 mit Blick auf den wasserseitigen Dammbereich. (Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt Geologie und Landwirtschaft, Referat 72)

2.3 Das Modell EROSION-3D

EROSION-3D ist ein physikalisch begründetes Modell zur Simulation des durch Einzelereignisse oder Niederschlagsreihen bewirkten Oberflächenabflusses sowie der dadurch verursachten Bodenerosion und -deposition auf Einzugsgebietsebene, einschließlich des Eintrages von Sedimenten und partikelgebundenen Schadstoffen in Oberflächengewässer. Das Modell EROSION-3D ist rasterbasiert und deshalb in der Lage, auch sehr kleine Einzugsgebiete abzubilden. Mit Hilfe des Parameterkataloges Sachsen (Michael et al., 2000), in welchem umfangreiche Erosionsversuche verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten Eingang gefunden haben, ist EROSION-3D in der Lage, Bodenabtrag, Deposition und Oberflächenabflussmengen für verschiedene Bearbeitungsvarianten zu berechnen. Das Retentionsbeckenmodul von EROSION-3D ermöglicht zudem die Einbeziehung künstlich angelegter Rückhaltebecken durch entsprechende Veränderung des Geländemodells und Parametrisierung der Damm- und Abflusscharakteristika. Es ist weiterhin möglich, für einzelne Einzugsgebiete das aktivierbare Stauvolumen zu berechnen, und zwar auf Grundlage fiktiv an geeigneter Stelle eingefügter Verwallungen bzw. Dämme.

Szenarien

Auf Basis von EROSION-3D Modellrechnungen wird zunächst die alleinige Wirkung verschiedener Bodenbearbeitungsvarianten geprüft (Szenarien „BB“). Des Weiteren wird simuliert welchen Einfluss eine Begrünung der Tiefenlinie in Kombination mit den verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten besitzt (Szenarien „BB-begrünte TL“). Darüber hinaus wird die Wirkung zweier künstlich angelegter Verwallungen, ebenfalls in Verbindung mit den vier Bodenbearbeitungsvarianten, berechnet (Szenarien „BB-Verwallungen“).

Bezüglich des Niederschlages wurde ein standorttypisches 10-jährliches Ereignis (32 mm in 60 min) verwendet. Bei allen Varianten wurde mit einer mittleren Anfangsbodenfeuchte von ca. 30 Vol %, in Abhängigkeit der Bodenart und Bewirtschaftungsweise, gerechnet. Darüber hinaus wurde unterstellt, dass die Ereignisse Ende Mai eintreffen und die Kultur Silomais angebaut wurde.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Einfluss der Bodenbearbeitung

Der ausgeprägte Einfluss der Bodenbearbeitung (ohne Verwallungen) auf die Erosionsanfälligkeit der Ackerfläche wird anhand der konträren Szenarien „Konventionell“ (Bild 4) und „Direktsaat“ (Bild 5) demonstriert. Die Erosionsprognosekarte der konventionellen Bewirtschaftung zeigt, dass insbesondere in den Tiefenlinien erwartungsgemäß die höchsten Bodenabträge ($> 25 \text{ kg/m}^2$) stattfinden. Die verbleibenden Bereiche der Ackerfläche zeigen Abträge zwischen $0,25$ und $2,5 \text{ kg/m}^2$. Auch bei der Direktsaat kann es in den Tiefenlinien noch zu Bodenerosion kommen. Auf der übrigen Fläche sind die Abträge vergleichsweise gering.

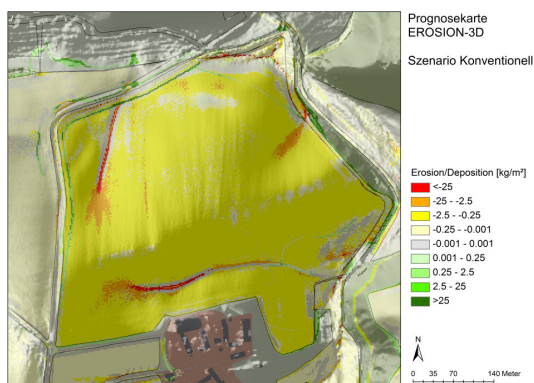


Abb. 4: EROSION-3D-Prognosekarte für das Szenario konventionelle Bewirtschaftung (Worst Case) bei Eintreffen des 10-jährlichen Ereignisses Ende Mai, Fruchtart Mais (Fachdaten: Sächsisches Landesamt für Umwelt Geologie und Landwirtschaft, Referat 72; Geobasisdaten: © 2014, Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen)

Die Ergebnisse aller Szenarienkombinationen hinsichtlich der Eintragsmengen von Sediment und Abfluss in den Vorfluter (Stahnaer Bach) sind in Bild 6 dargestellt. Die Szenarien der unterschiedlichen Bodenbearbeitungen „BB“ zeigen, dass sich im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung (K) der Sedimenteintrag bei Anwendung der Mulchsaat (MS) halbiert. Bei der Streifensaart (ST) und dem Direktsaatverfahren (DS) vermindert sich dieser um über 90 %. Der Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Bodenabtrag wird damit deutlich

herausgestellt. Der Einfluss auf die Abflussminderung ist hingegen geringer. So reduziert sich dieser beim Mulchsaatverfahren im Vergleich zur konventionellen Bewirtschaftung um rund 10 %, bei Streifensaart und Direktsaat um rund 35 %. Die Begrünung der Tiefenlinie (Szenarien „BB-begrünte TL“) würde bewirken, dass selbst bei konventioneller Bearbeitung der Sedimenteintrag in den Vorfluter um rund 60 %, bei Mulchsaat um rund 85 % und bei Streifen und Direktsaat fast um 90 % gegenüber den Szenarien ohne Begrünung („BB“) reduziert wird. Die Begrünung der Tiefenlinie führt demnach zu einer deutlichen Minderung des Sedimenteintrages in den Vorfluter. Auf die Minderung des Abflusses hat die Maßnahme jedoch nur eine geringe Wirkung.

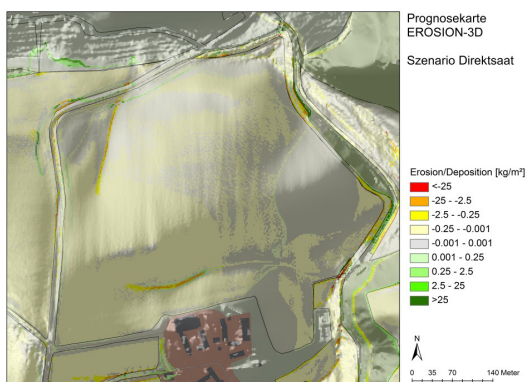


Abb. 5: EROSION-3D-Prognosekarte für das Szenario Direktsaat (Best Case) bei Eintreffen des 10-jährlichen Ereignisses Ende Mai, Fruchtart Mais. (Fachdaten: Sächsisches Landesamt für Umwelt Geologie und Landwirtschaft, Referat 72; Geobasisdaten: © 2014, Staatsbetrieb Geobasisinformation und Vermessung Sachsen)

Erst mit Hilfe der Verwallungen (Szenarien „BB-Verwallungen“) wird durch das zusätzlich geschaffene Retentionspotenzial sowohl der Sedimenteintrag als auch der Abfluss in den Stahnaer Bach auf ein Minimum reduziert. Berechnungen zur Untersuchung der Auslastung und Verlandung der Verwallungen zeigen, dass die Staukapazitäten der oberen Verwallung (Bild 7) und der unteren Verwallung (Bild 8) das 10-jährliche Ereignis bei allen vier Bodenbearbeitungsvarianten problemlos fassen. Die Obere Verwallung wird dabei bei der konventionellen Variante zu 73 %, bei Mulchsaat zu 62 %, und bei Streifensaart und Direktsaat zu 46 % ausgelastet. Es zeigt sich jedoch, dass der Sedimentanteil, insbesondere bei der konventionellen Variante, einen erheblichen Anteil (12 %) der oberen Verwallung

einnimmt. Bei Mulchsaat sind es nur noch 7%, bei Streifensaart und Direktsaat sind es weniger als 1%. Rein fiktiv wäre demnach die obere Verwallung nach 8-maligem Eintreten des 10-jährlichen Ereignisses komplett mit Sediment verfüllt, bei Direktsaat hingegen erst nach 240-maligem Eintreffen. Die untere Verwallung zeigt im Vergleich zur oberen Verwallung eine deutlich geringere Auslastung, was auf das geringere Verhältnis von Staukapazität zu entwässernder Fläche zurückzuführen ist. So wird das Stauvolumen der unteren Verwallung selbst bei konventioneller Bodenbearbeitung nur zu rund 50% beansprucht (Bild 8). Zusätzlich wurden Berechnungen zur Wirkung der Verwallungen bei einem 50- und einem 100-jährlichen Ereignis durchgeführt. Diese ergaben, dass die Staukapazität bei Streifen- und Direktsaat auch beim Eintreffen eines 100-jährlichen Ereignisses ausreicht, während diese bei konventioneller Bodenbearbeitung bereits ab dem 50-jährlichen Ereignis überschritten wird.

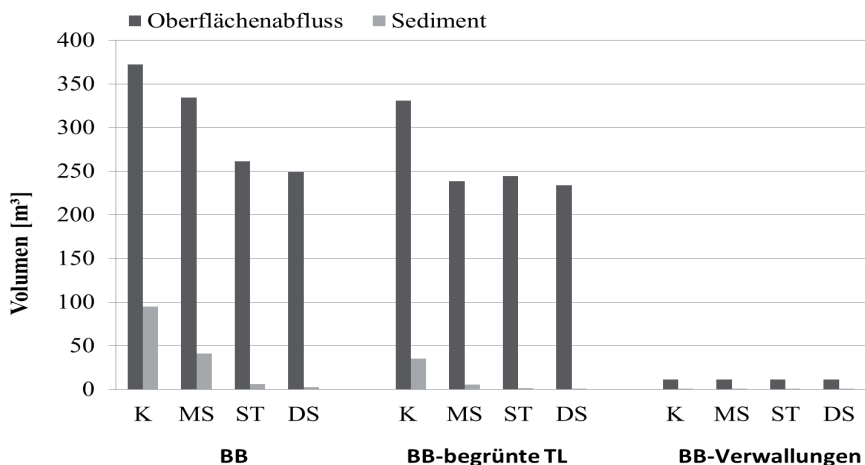


Abb. 6: Einfluss der einzelnen Szenarienkombinationen auf den Eintrag von Sediment und Oberflächenabfluss in den Vorfluter für ein 10-jährliches Extremereignis unter Annahme der Fruchtart Mais im Mai.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass einer Begrünung der Tiefenlinie bzw. dem Anlegen von Verwallungen eine erosionsmindernde Bodenbearbeitung des Einzugsgebietes vorausgehen sollte, da bei konventioneller Bodenbearbeitung eine Aufeinanderfolge von Starkregenereignissen zu einer zunehmenden Bodenablagerung der begrüneten Fläche bzw. der Verwallungen führen würde, welche die Wirksamkeit der Maßnahmen deutlich herabsetzt.



Abb.7: Obere Verwallung (Speichervolumen: 500 m³): Auslastung bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen und Annahme des 10-jährlichen Ereignisses

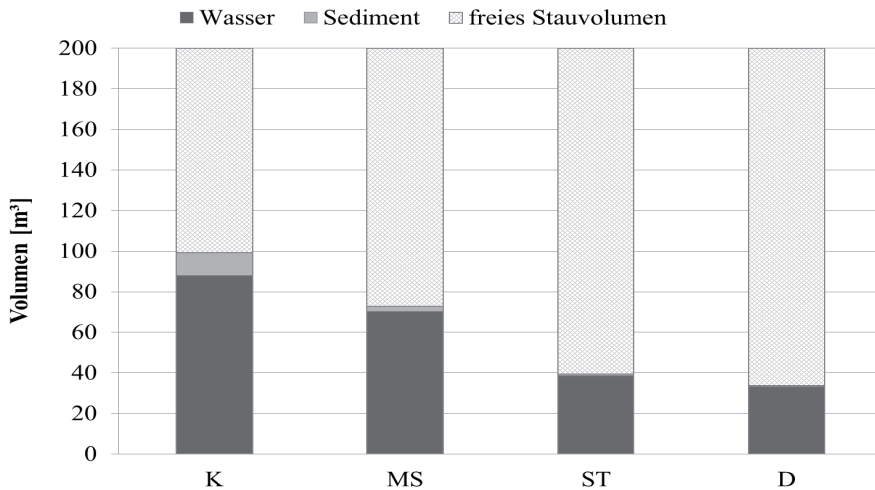


Abb.8: Untere Verwallung (Speichervolumen: 200 m³): Auslastung bei unterschiedlichen Bodenbearbeitungssystemen und Annahme des 10-jährlichen Ereignisses.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Durch das Anlegen bewirtschaftbarer Verwallungen kombiniert mit erosionsmindernder Bodenbearbeitung der Ackerfläche wurde auf Grundlage der Berechnungen von EROSION-3D eine lokal wirksame Maßnahme umgesetzt, die sowohl dem Hochwasserschutz als auch dem Erosionsschutz dient, ohne dass dabei wertvolle Ackerfläche verloren geht. Die Simulationsergebnisse für den Standort Pröda haben gezeigt, dass im Vergleich zur konventionellen Bodenbearbeitung durch die Anwendung der Mulchsaat am Standort Pröda der Sedimenteintrag halbiert werden kann. Bei Annahme einer Streifen- oder Direktsaat würde sich der Sedimenteintrag sogar um über 90 % reduzieren. Der Wasserrückhalt in der Fläche wird bei Mulchsaat um mehr als 10 % und bei Streifen- und Direktsaat um rund 35 % erhöht. Die Art der Bodenbearbeitung zeigt damit einen deutlich höheren Einfluss auf den Sedimentrückhalt als auf den Abfluss. Eine Begrünung der Tiefenlinie würde den Sedimenteintrag in den Vorfluter noch weiter senken, besitzt jedoch auf die Reduzierung des Oberflächenabflusses nur eine geringe Wirkung. Erst durch den zusätzlichen Einbau der Verwallungen wird neben dem Sedimenteintrag auch die Menge des Oberflächenabflusses erheblich reduziert. Der Wartungsaufwand der Anlagen, insbesondere für die Sedimentberäumung, wird durch erosionsmindernde Bodenbearbeitungsverfahren gering gehalten. Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft untersucht dieses Projekt hinsichtlich seiner Wirksamkeit beim Eintreten zukünftiger, realer Starkregenereignisse. Bestätigt sich die Wirksamkeit der Maßnahme weiterhin, ist eine Übertragung auf Einzugsgebietsebene denkbar. Flächenhaft angewendet, ist die Kombination aus bewirtschaftbaren Verwallungen und erosionsmindernder Bodenbearbeitung einen wirkungsvollen Beitrag zur Reduzierung von Sediment- und Phosphateinträgen in Oberflächengewässer und zum dezentralen Hochwasserschutz.

5. Literaturangaben

- Arnold Consult GmbH, 2012: Genehmigungsplanung Erosionsschutz Pröda, Schlag Naumann. Meißen. unveröffentlicht.
- Assmann, A., Gündra, H., Schukraft, G., Schulte, A., 1998: Konzeption und Standortauswahl bei der dezentralen, integrierten Hochwasserschutzplanung für die Obere Elsenz (Kraichgau).-Wasser & Boden.

- DWA, 2013: Entwurfsfassung DWA Regelwerk (2013), Merkblatt DWA-M 550-Dezentrale Boden 50/8 Maßnahmen zur Hochwasserminderung. Hennef.
- Michael, A., Schmidt, J., Schmidt, W., 2000: Band II- Parameterkatalog Sachsen, Anwendung. In: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): EROSION 2D/3D- Ein Computermodell zur Simulation von Bodenerosion durch Wasser. Freiberg.
- Nitzsche, O., Krück, S., Zimmerling, B., Schmidt, W., 2002: Boden- und gewässerschonende Landbewirtschaftung in Flusseinzugsgebieten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 11-7. Jahrgang, S. 1-22.
- Reinhardt, C., 2010: Dezentraler Hochwasserrückhalt im Einzugsgebiet der Oberen Flöha (Mittleres Erzgebirge)-Modellierung der Potenziale von dezentralen Maßnahmen an Fließgewässern als Elemente des vorbeugenden Hochwasserschutzes. Diss. Freie Universität Berlin.
- Rieger, W., Disse, M., 2013: Physikalisch basierter Modellansatz zur Beurteilung der Wirksamkeit einzelner und kombinierter dezentraler Hochwasserschutzmaßnahmen.
- Stone, R., 2009: Grassed Waterways. Ministry of Agriculture and Food. Ontario, Canada. (<http://www.omaf.gov.on.ca/english/engineer/facts/09-021.pdf>).
- Voß, J., Schwan, A., Heyne, W., Müller, N., 2010: Entwicklung von Umsetzungsstrategien und –planungen für eine natur- und bodenschutzgerechte dauerhafte Begrünung von besonders erosionswirksamen Abflussbahnen. Schriftenreihe des LfULG, 13/2010.
- Wegner, H, 1992: Dezentraler Hochwasserschutz.-Wasser & Boden 44 (1/1992):6-10.

Bodenfeuchte bei Pflugbearbeitung, Mulch- und Direktsaat

H. Flaig, E. Düll

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

1. Fragestellung

Regionalen Klimaprojektionen zufolge wird in den nächsten Jahrzehnten die Jahresmitteltemperatur ansteigen – in Baden-Württemberg bis Mitte des Jahrhunderts um etwa 1 °C, bis Ende des Jahrhunderts um 3-4 °C (LUBW, 2013). Anzahl und Intensität der Hitzeereignisse werden zunehmen. Die Niederschläge in der Vegetationsperiode sollen zwar nur moderat abnehmen, über die temperaturbedingt deutlich höhere Evapotranspiration aber werden vermutlich Anzahl und Intensität von Trockenperioden dennoch ansteigen. Eine ausreichende Wasserversorgung während der Vegetationsperiode ist essentiell für sichere und qualitativ hochwertige Erträge in der Landwirtschaft. Der konservierenden Bodenbearbeitung, wie zum Beispiel Mulch- oder Direktsaat, wird oft zugeschrieben, gerade in Trockenperioden den Kulturpflanzen mehr Bodenwasser zur Verfügung zu stellen, als das beim Pflügen der Fall ist. Ziel des hier vorgestellten Projekts war es, Untersuchungen zur Bodenfeuchte unter verschiedener Bodenbearbeitung durchzuführen, um diese empirisch begründete Hypothese zu überprüfen.

2. Versuchsstandort, Messanordnung und Messmethodik

In einem früheren Projekt (Flaig und Schickler, 2012) stellte sich der Standort Dossenheim des langjährigen „Systemvergleichs Bodenbearbeitung“ als geeignet für intensivere Untersuchungen heraus. Hier werden die Verfahren Pflug, Mulch- und Direktsaat auf eng benachbarten Versuchsparzellen bereits seit 20 Jahren miteinander verglichen. In Dossenheim bei Heidelberg wurde von Ende März bis Ende Oktober 2014 die Bodenfeuchte gemessen, um zu untersuchen, ob sich bei den drei Bodenbearbeitungsverfahren im Laufe der Vegetationsperiode messbare Unterschiede im Bodenwassergehalt feststellen lassen. Die Bodenverhältnisse sind einigermaßen homogen. Im tiefgründigen Auenlehm mit einer Ackerzahl von 80-85 herrscht Lehm, toniger Lehm oder lehmiger Ton vor.

Mit einer mobilen TDR-Sonde (TRIME-PICO IPH/T3, IMKO GmbH) wurde die Bodenfeuchte wöchentlich in vier Tiefenstufen erfasst: 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm und 60-80 cm, und dies in 10 Zugriffsrohren pro Bearbeitungsvariante (Abb. 1). Zusätzlich wurden vier stationäre FDR-Profilsonden (Enviroscan all-in-one, Sentek technologies) pro Bearbeitungsvariante eingesetzt, die per Datenlogger stündliche Werte in 10, 30, 50, 70 und 90 cm Tiefe erfassten. Die Daten der FDR-Sonden wurden wöchentlich manuell per Kabel ausgelesen oder über GPRS vom LTZ abgerufen. Die beiden Messverfahren bildeten Befeuchtungs- und Austrocknungsphasen des Bodens adäquat ab, unterschieden sich jedoch neben der zeitlichen Auflösung in der absoluten Höhe der Messwerte. Die Rohre und Sonden wurden in den wachsenden Bestand eingebracht (im Versuchsjahr 2014 Winterweizen).

Niederschlagsdaten wurden sowohl von einem Regenmesser auf dem Versuchsfeld selbst als auch von der Wetterstation des Julius-Kühn-Instituts in unmittelbarer Nähe bezogen. Die bodenphysikalischen Messungen erfolgten an Stechzylinderproben, die Bestimmung der Trockenrohdichte nach DIN ISO 11272 (DIN 1998) und die Bestimmung der nutzbaren Feldkapazität mit der Überdruckmethode gemäß VDLUFA-Methodenbuch (1991b).

Messstandort Dossenheim 2014

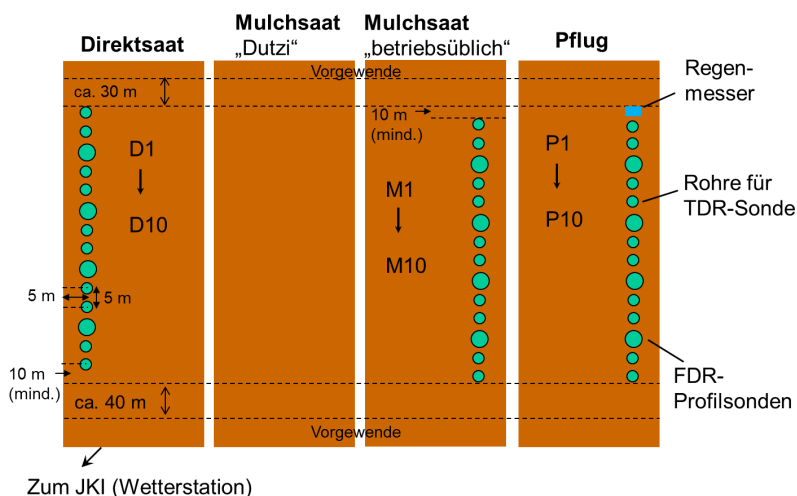


Abb. 1: Skizze der Messanordnung auf dem Messfeld Dossenheim. Aufgrund von Problemen beim Einschlagen der Zugriffsrohre (z.B. Steine im Boden) kann die tatsächliche Lage der Rohre von der Skizzenanordnung geringfügig abweichen. Parzellen jeweils 180 m lang und 24 m breit.

Nicht alle Sondenmesswerte konnten in die Auswertung einbezogen werden (Details s. Düll und Flaig, 2014). So wurden alle Messwerte, die kleiner als 5 Volumen% Wasser im Boden anzeigten, als Artefakte behandelt, bei deren Messung kein Bodenschluss zum Sondenrohr gewährleistet war (Trockenrisse, Mäusegänge u. ä.). Für einen statistischen Vergleich der Bodenbearbeitungsvarianten im Zeitverlauf wurden die Flächen unter den Verlaufskurven berechnet (AUC-Verfahren) und diese Flächen einem Kruskal-Wallis-Test mit paarweisem Vergleich nach Dunn unterzogen (TDR-Sonde). Die statistische Prüfung für die Trockenrohdichte und nutzbare Feldkapazität erfolgte per Varianzanalyse bzw. Kruskal-Wallis-Test, jeweils kombiniert mit paarweisem Vergleich (Tukey- bzw. Dunn-Test).

3. Resultate der Bodenfeuchtemessungen

Das Verfahren der Bodenbearbeitung hatte Einfluss auf die Bodenfeuchte. Die Pflugvariante wies in den oberen 20 cm weniger Bodenfeuchte auf als die Mulchsaat- und Direktsaatvariante (Abb. 2, Abb. 3). Dieses Ergebnis wurde mit beiden Sondentypen erzielt, bei der TDR-Sonde war das Resultat statistisch signifikant. Besonders deutlich war der Unterschied zwischen Direktsaat (mehr Wasser) und Pflug (weniger Wasser).

Vergleich Bodenbearbeitung Tiefe 0 bis 20 cm (TDR)

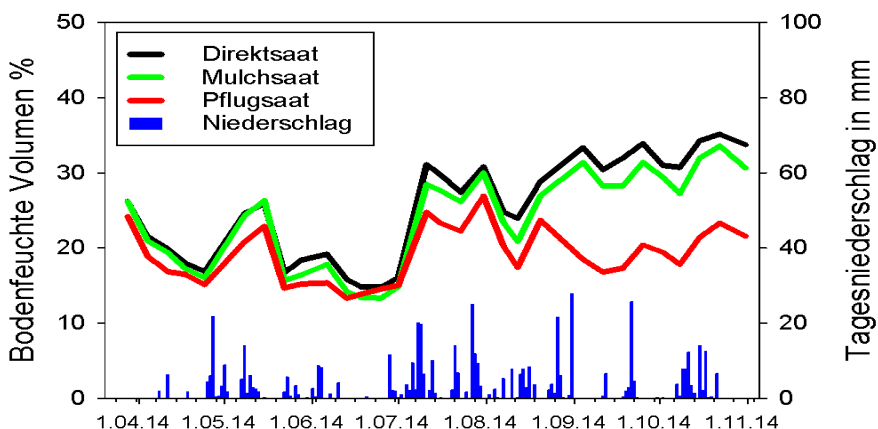


Abb. 2: Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf die Bodenfeuchte. Mobile TDR-Sonde, 0-20 cm, wöchentliche Messung.

Vergleich Bodenbearbeitung 10 cm Tiefe (FDR)

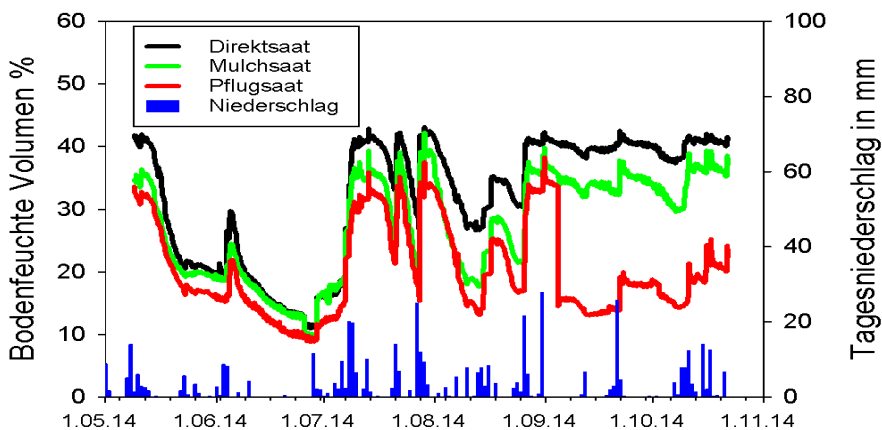


Abb. 3: Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren auf die Bodenfeuchte. Stationäre FDR-Sonde, 10 ± 5 cm, stündliche Messung.

Vergleich Bodenbearbeitung Tiefe 20 bis 40 cm (TDR)

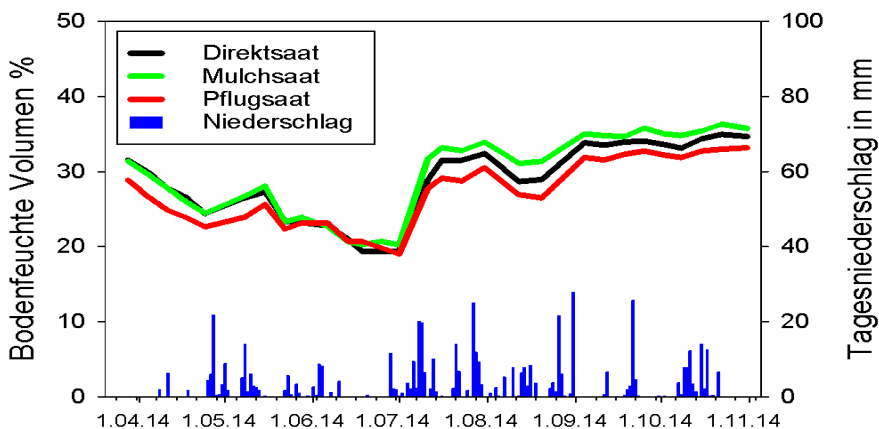


Abb. 4: wie Abb. 2, nur 20-40 cm.

Die eigentlichen Unterschiede im Bodenwasser zwischen den Bearbeitungsvarianten traten nach der Ernte des Bestandes auf, so waren die Unterschiede im Bodenwassergehalt zwischen Mulchsaat und Direktsaat bis in den Sommer

hinein nicht signifikant und traten erst im Spätsommer und Herbst deutlicher zutage. Auch in 20-40 cm Tiefe war in der Pflugvariante weniger Bodenwasser zu messen, allerdings war nur der Unterschied zwischen Mulchsaat und Pflug signifikant (Abb. 4). Ab 40 cm Bodentiefe unterschieden sich die Bearbeitungsverfahren hinsichtlich der Bodenfeuchte nicht mehr.

4. Bodenphysikalische Ergebnisse ergänzen den Befund

Den bodenphysikalischen Untersuchungen zufolge besitzt die Pflugvariante in 10-20 cm Tiefe sowohl einen höheren Gesamtporenanteil, als auch eine höhere nutzbare Feldkapazität als Mulch- und Direktsaat (Tab. 1). Der Feinporenanteil und damit der Totwassergehalt hingegen unterscheiden sich in dieser Tiefenstufe nicht. Gleichzeitig wurde ein geringerer Bodenwassergehalt gemessen. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass unter Pflug die Grob- und Mittelporen weniger Wasser führten als die Varianten mit konservierender Bodenbearbeitung, so dass die potentiell höhere nutzbare Feldkapazität im Oberboden nicht ausgenutzt werden konnte. Oft sank der Wassergehalt sogar unter den permanenten Welkepunkt. Entweder entleerten sich die Grob- und Mittelporen bei der Pflugparzelle schneller oder sie wurden weniger leicht aufgefüllt.

Entscheidend für die Unterschiede war vermutlich die Mulchdecke aus abgestorbenen Pflanzenresten, die bei Mulch- und vor allem Direktsaat vorhanden war. Sie konnte dort die Evaporation von Wasser aus den oberen Bodenschichten teilweise verhindern, auf der gepflügten Fläche fehlte jedoch diese „Evaporationsbremse“. Die Grob- und Mittelporen entwässerten ohne schützende Mulchdecke schneller. Außerdem versickert das Niederschlagswasser bei konservierenden Verfahren in der Regel besser (Schmidt et al., o.J.). Die umfangreiche mehrjährige Bodenbearbeitungsstudie auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“ in Zollikofen (CH) kam beim Vergleich der Bodenwasserverhältnisse zwischen Direktsaat und Pflug im Prinzip zu denselben Schlussfolgerungen (Chervet et al., 2006).

Das Jahr 2014 war hinsichtlich der Niederschläge insgesamt kein extremes Jahr. Die Winterweizenrerträge auf der Versuchsfläche waren mit 85-88 dt/ha sehr gut. Auf der Pflugparzelle wurden die höchsten Erträge erzielt, so dass das zeitweilige Wasserdefizit im Oberboden keine spürbaren Auswirkungen auf den Ertrag hatte. Im Versuchsjahr 2011, in dem ebenfalls Bodenwassergehalte

gemessen werden konnten, war das Frühjahr extrem trocken und der Winterweizen machte eine Notreife mit geringen Erträgen durch – hier wies die Direktsaat die höchsten Erträge auf (Flaig und Schickler, 2012).

Die in Dossenheim zwischen klimatisch unterschiedlichen Jahren differenziert auftretenden Ertragsvorteile verschiedener Bodenbearbeitungsweisen lassen sich sogar global für verschiedene Regionen nachzeichnen: Direktsaat führt in einer weltweiten Analyse dann bei einer ganzen Anzahl von Kulturen zu Ertragsvorteilen, wenn es sich um trockene Klimate handelt, die Wasserversorgung der Kulturen auf Niederschläge angewiesen ist, Erntereste auf dem Feld belassen werden und eine Fruchtfolgerotation durchgeführt wird (Pittelkow et al., 2014). Die Messung von Bodenwassergehalten soll noch über 2014 hinaus weitergeführt werden, um weitere Hinweise darauf zu erhalten, unter welchen klimatischen Voraussetzungen welche Kultur unter welcher Bodenbearbeitung Vorteile zieht und in welchem Bodenhorizont sich Unterschiede im Bodenwassergehalt besonders ausprägen.

5. Förderung

Das Projekt „Bodenwasserhaushalt und konservierende Bodenbearbeitung“ wurde im Rahmen des Forschungsprogramms KLIMOPASS im Jahre 2014 aus Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg finanziell gefördert.

Tab. 1: Nutzbare Feldkapazität [%] verschiedener Horizonte der Bearbeitungsvarianten im Vergleich. Stechzylinderproben, Probenahme September 2014. MW: Mittelwert aus mindestens 8 Messungen; Stabw: Standardabweichung; ANOVA: Einfaktorielle Varianzanalyse oder Kruskal-Wallis-Test; * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001, n.s.: nicht signifikant (p > 0,05). P: Pflug, M: Mulchsaat, D: Direktsaat. Tukey- und Dunn-Test ermöglichen paarweise Vergleiche.

Bearbeitungs- variante Bodentiefe [cm]	Pflug		Mulchsaat		Direktsaat		Signifikanz ANOVA	Tukey-/ Dunn-Test
	MW	Stabw	MW	Stabw	MW	Stabw		
0-5	13,99	1,72	17,79	0,83	14,07	3,09	**	M ↔ P M ↔ D
5-10	13,00	1,52	13,60	2,24	11,23	2,46	n.s.	
10-15	14,62	1,39	10,97	2,87	9,61	1,73	***	P ↔ M P ↔ D
15-20	14,49	2,22	9,42	1,12	9,89	2,49	***	P ↔ M P ↔ D
30	11,41	1,76	11,30	1,57	12,03	2,31	n.s.	
50	12,16	2,71	10,62	1,42	9,90	1,59	n.s.	
70	12,21	2,76	11,39	2,73	11,35	1,52	n.s.	

6. Literaturangaben

- Chervet, A., Ramseier, L., Sturny, W.G., Weisskopf, P., Zihlmann, U., Müller, M. und Schafflützel, R., 2006: Bodenwasser bei Direktsaat und Pflug. *AGRARForschung* 13(4), 162-169.
- Düll, E., Flaig, H., 2014: Bodenwasserhaushalt und konservierende Bodenbearbeitung. *Forschungsbericht KLIMOPASS*, 59 S. Noch unveröffentlicht.
- Flaig, H., Schickler, J., 2012: Bodenwasserhaushalt und Bodenbearbeitung - Bodenwasserhaushalt bei konservierender Bodenbearbeitung. *Forschungsbericht KLIMOPASS*, 82 S. <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063>, ID Umweltbeobachtung U61-W03-N10.
- LUBW, 2013: Zukünftige Klimaentwicklung in Baden-Württemberg – Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), Karlsruhe. <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229984/>.
- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linquist, B.A., van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., 2014: Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. doi:10.1038/nature13809 (online); *Nature* 517: 365-368 (2015).
- Schmidt, W., Nitzsche, O., Krück, S., Zimmermann, W., ohne Jahr: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben „Entwicklung von dauerhaft umweltgerechten Landbewirtschaftungsverfahren im sächsischen Einzugsgebiet der Elbe“. Teilthema I: Begleitende Untersuchungen zur praktischen Anwendung und Verbreitung von konservierender Bodenbearbeitung, Zwischenfruchtanbau sowie Mulchsaat in den Ackerbaugebieten Sachsens zur Minderung von Wassererosion und Nährstoffaustrag im Elbeeinzugsgebiet (Laufzeit 1998-2002). Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Hrsg.), Leipzig.

Abschätzung des mineralisierbaren Stickstoffs in ackerbaulich genutzten Böden mithilfe von Kenngrößen

T. Appel¹, R. Beisecker²

¹Fachhochschule Bingen, ²Ingenieurbüro für Ökologie und Landwirtschaft, Kassel

1. Einleitung

Die Stickstoffdüngung könnte besser an den Bedarf angepasst sein, wenn die N-Mineralisation aus der organischen Substanz des Bodens präziser vorhergesagt werden könnte. Die im Boden mineralisierte N-Menge ist abhängig von der Zeitspanne, die für die Mineralisation zur Verfügung steht. Kulturen mit einer langen Vegetationszeit (z.B. Zuckerrüben) können deshalb wesentlich mehr Stickstoff aus der Mineralisation nutzen als Kulturen, die nur wenige Wochen wachsen (z.B. Salat). Die Stickstoffmineralisation wird durch die Aktivität der im Boden lebenden Mikroorganismen bewerkstelligt. Sie sind bei günstigen Temperaturen (optimal ca. 35 °C) und ausreichender Feuchtigkeit (optimal ca. 80 bis 100 % der Wasserhaltekapazität) besonders aktiv, wenn sie außerdem ausreichend Nahrung in Form leicht abbaubarer organischer Substanz zur Verfügung haben. Der Wassergehalt und die Temperatur im Boden lassen sich relativ zuverlässig mit im Boden platzierten Sensoren messen. Die für die Mikroben zur Verfügung stehende Menge an Nahrung, die abbaubar und deren N-Gehalt dadurch potenziell mineralisierbar ist (N_{pot}) lässt sich dagegen nur sehr aufwendig messen, weil es dafür erforderlich ist, den Boden mehrere Wochen unter kontrollierten, möglichst optimalen Bedingungen zu bebrüten und den während der Bebrütung akkumulierten anorganischen Stickstoff (N_{min}) zu messen. Für den praktischen Einsatz, beispielsweise zur Initialisierung von Simulationsmodellen, wäre es hilfreich, wenn N_{pot} mit leichter durchführbaren Methoden abgeschätzt werden könnte.

Es war deshalb unser Ziel, festzustellen, welche Kenngrößen möglicherweise für die Abschätzung des potenziell mineralisierbaren Stickstoffs im Boden anstelle der Inkubation geeignet sind. Der CaCl₂ extrahierbare Norg schien für den schnell mineralisierbaren Stickstoff besonders aussichtsreich zu sein (Appel und Mengel, 1998). Im VDLUFA-Methodenbuch werden zwei andere

Methoden zur Bestimmung des N-Nachlieferungspotenzials beschrieben, die Elektro-Ultrafiltration nach Nemeth (1985) und der heißwasserlösliche Stickstoff nach Körschens et al. (1990).

2. Material und Methoden

Im Frühjahr vor der ersten N-Düngung wurden auf 16 ackerbaulich genutzten Standorten Bodenproben aus der Krume entnommen. Insgesamt wurden 8 Ackerschläge beprobt, je zwei Standorte auf unterschiedlichen Positionen jeweils eines Schläges (Tab. 1).

Tab. 1: Kennwerte der 16 für die Untersuchung verwendeten Böden (WW = Winterweizen, WG = Wintergerste)

Feld-Nr.	Kultur	Bodenprobe	T [%]	U [%]	S [%]	pH	CaCO ₃ -äq. [%]	Corg [%]	Nt [%]
1	WW	A	6,6	81,5	11,9	5,6	0,28	1,29	0,114
		B	1,5	89,5	9,0	5,3	0,11	1,32	0,112
2	Ölrettich ^{a)}	C	8,1	81,5	10,4	6,0	0,08	1,27	0,104
		D	6,1	83,2	10,7	6,3	0,41	1,27	0,113
3	WG	E	7,7	15,8	76,5	5,4	0,08	1,45	0,103
		F	5,9	14,0	80,1	5,2	0,47	1,23	0,097
4	Rübsen ^{a)}	G	9,4	17,6	73,0	6,1	0,10	2,02	0,148
		H	12,0	17,8	70,2	5,9	0,53	1,88	0,145
5	WW	I	9,0	86,6	4,4	6,4	0,32	1,01	0,101
		J	11,5	84,1	4,4	6,9	0,15	1,16	0,109
6	WW	K	16,2	53,9	29,9	6,7	0,19	0,94	0,104
		L	9,4	58,5	32,1	6,9	0,58	0,66	0,095
7	WW	M	20,7	49,4	30,0	7,4	6,99	1,76	0,184
		N	32,1	57,0	10,9	7,4	2,40	1,81	0,171
8	WW	O	8,8	59,7	31,5	7,5	0,28	1,09	0,094
		P	7,7	57,8	34,6	7,0	0,60	0,91	0,093

a) als Gründüngung, anschließend Mais

Die Bodenproben wurden bei -18 °C gefrostet und dann bis zur weiteren Verwendung im Gefrierschrank aufbewahrt. Einen Tag vor dem Ansetzen der

Bebrütung wurden die Böden aus dem Gefrierschrank genommen und im Labor bei Zimmertemperatur über Nacht aufgetaut. Die Bodenproben wurden am nächsten Morgen zunächst durch ein Sieb mit 8 mm Maschenweite passiert, um ausreichend kleine Aggregate für das Mischen und Portionieren des Bodens zu erhalten. Nach dem Mischen wurden neun Portionen á 400 g in Kunststoffdosen eingewogen und die Gefäße mit einer dünnen PE-Folie, die als Dampfbremse fungierte, abgedeckt. Weitere Aliquote eines jeden Bodens wurden für die Bestimmung des H₂O-Gehalts und des N_{min}-Gehalts (Nitrat und austauschbares Ammonium, CaCl₂-Extrakt) verwendet. Etwa 400 g Boden wurde auf Aluminiumschälchen platziert (Schichtdicke ca. 4 cm) und bei 40 °C in einem Trockenschrank mit Zwangsventilation 24 h getrocknet („lufttrockener Boden“). Diese getrockneten Proben wurden später analysiert.

Die Böden in den Kunststoffdosen wurden auf ca. 80 % ihrer Wasserhaltekapazität mit entionisiertem Wasser befeuchtet. Die erforderliche Wassermenge wurde zuvor an jeweils einem Aliquot des Bodens ermittelt. Nach der Befeuchtung wurden die Böden wieder mit einer dünnen PE-Folie zum Schutz vor Verdunstung verschlossen und in einen Wärmeschrank 35 °C platziert. Einmal wöchentlich wurden die Gefäße gewogen und das verdunstete Wasser durch Zugabe von entionisiertem Wasser kompensiert.

Die zur Analyse vorgesehenen getrockneten Aliquote der Bodenproben wurden mit einer Schlagkreuzmühle (Retsch SK100) pulverisiert und analysiert:

1. Elementaranalyse mit Variomax, Fa. Elementar, zur Bestimmung von Gesamtkohlenstoff (Ct) und Gesamtstickstoff (Nt)
2. Karbonat nach Scheibler (CaCO₃-äq.) mittels Calcimeter, Fa. Eijkelkamp. Der organische Kohlenstoff (Corg) wurde aus der Differenz Ct minus Karbonatkohlenstoff berechnet.
3. Heißwasserlöslicher N (HWL-N) nach Körschens et al. (1990). Nitrat, Ammonium und Gesamt-N im Extrakt wurden colorimetrisch mit einem Continuous-Flow-Analyser, Fa. Skalar, gemessen. Organischer N im HWL-Extrakt (HWL-Norg) wurde aus der Differenz Gesamt-N im Extrakt minus N_{min} im Extrakt errechnet.
4. CaCl₂-extrahierbarer organischer N (CaCl₂-Norg) nach Houba et al. (1986). Die N-Formen im CaCl₂-Extrakt wurden wie die im HWL-Extrakt bestimmt.

Nach 7, 21 und 77 Tagen wurden jeweils drei Gefäße eines jeden Bodens aus dem Wärmeschrank genommen. Der enthaltene Boden wurde durch ein 8 mm

Sieb passiert, der Siebdurchgang wurde gemischt und dann Aliquote für die Extraktion mit 0,01 M CaCl₂ eingewogen. Nitrat und Ammonium wurden in den CaCl₂-Extrakten mittels Continuous-Flow-Analyzer gemessen.

Die N_{min}-Gehalte in den Böden wurden dazu verwendet, die Mengen an potenziell mineralisierbarem Stickstoff im Boden abzuschätzen. Dazu wurde dem Statistikprogramm Sigmaplot eine Doppelsexponentialfunktion vorgegeben, deren kinetische Reaktionskonstanten (k-Werte) auf $k_{\text{fast}} = -0,072 \text{ d}^{-1}$ und $k_{\text{slow}} = -0,0057 \text{ d}^{-1}$ gesetzt wurden:

$$N_{\text{min}}(t) = N_{\text{min}}(t=0) + N_{\text{pot}_{\text{fast}}} \cdot (1 - e^{k_{\text{fast}}t}) + N_{\text{pot}_{\text{slow}}} \cdot (1 - e^{k_{\text{slow}}t})$$

Diese Funktionsgleichung entspricht einem Modell, bei dem angenommen wird, dass der Vorrat an leicht mineralisierbarem N im Boden ($N_{\text{pot}_{\text{fast}}}$) mit einer Rate von 7,2 % je Tag abgebaut wird und es darüber hinaus einen zweiten N-Pool im Boden ($N_{\text{pot}_{\text{slow}}}$) gibt, der unabhängig von dem Abbau des leicht mineralisierbaren organischen Stickstoffs mit einer Rate von nur 0,57 % je Tag mineralisiert. $N_{\text{min}}(t=0)$ steht für den N_{min}-Gehalt zu Beginn der Bebrütung, also dem Tag 0. Für die Anpassung mit Sigmaplot wurde $N_{\text{min}}(t=0)$ auf den Mittelwert der am Tag 0 gemessenen N_{min}-Gehalte des jeweiligen Bodens gesetzt. In der Funktionsgleichung verbleiben dann nur noch die beiden Parameter $N_{\text{pot}_{\text{fast}}}$ und $N_{\text{pot}_{\text{slow}}}$, die mit der Prozedur „Nonlinear Regression“ iterativ nach und nach so angepasst wurden, dass die Summe der Abweichungsquadrate der tatsächlich an den Tagen 7, 21 und 77 gemessenen N_{min}-Werten von den durch die Doppelsexponentialfunktion berechneten Werten minimal wurde (fitten der Funktion an die gemessenen Werte).

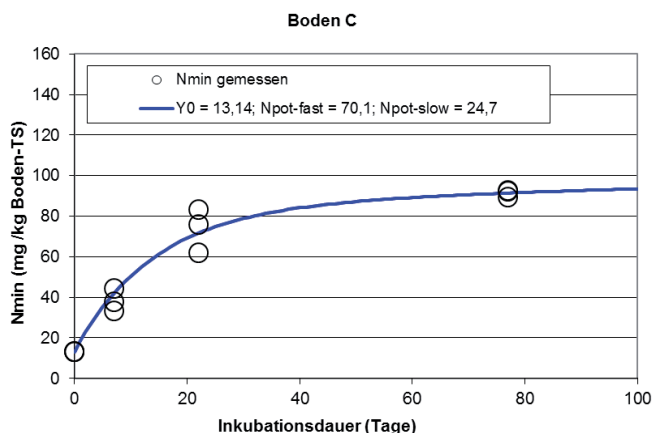


Abb. 1: N_{min} im Boden im Verlauf der Inkubation, Messwerte und mit Sigmaplot angepasste Doppelsexponentialfunktion

Abbildung 1 zeigt das Ergebnis einer solchen Anpassung am Beispiel des Bodens C. Die gewählten Werte für die kinetischen Reaktionskonstanten (k-Werte) entsprechen den Ergebnissen, die Nordmeyer und Richter (1985) im Mittel von zehn Ackerböden feststellten, indem sie die Böden 100 Tage lang bei 35 °C bebrüteten und dann jeweils eine Doppelsexponentialfunktion an die während der Inkubation an 5 Terminen gemessene N_{min}-Akkumulation anpassten.

3. Ergebnisse und Diskussion

Tab.2: Mineralisierter (Δ N_{min}) und potenziell mineralisierbarer N (N_{pot}) in mg N/kg Boden

Boden- probe	Δ_{0-7}	Δ_{7-21}	Δ_{21-77}	Δ_{0-21}	Δ_{0-77}	N _{pot}	N _{pot}	N _{pot}
	N _{min}	N _{min}	N _{min}	N _{min}	N _{min}	fast	slow	f&s
A	13	25	34	37	71	26	130	155
B	20	25	22	45	67	48	56	104
C	25	35	18	61	78	70	25	95
D	5	11	45	17	61	0	169	169
E	11	10	26	21	47	14	92	106
F	7	17	27	24	51	12	111	123
G	13	43	0	56	55	58	0	58
H	10	27	29	37	66	26	114	140
I	16	24	31	41	72	34	106	140
J	-2	8	29	7	36	0	136	136
K	22	50	38	44	111	39	121	161
L	9	20	41	28	70	9	171	181
M	9	54	88	63	151	11	396	407
N	19	37	68	56	124	29	270	299
O	10	37	32	46	79	32	133	165
P	11	25	21	36	57	30	77	107
Mittel	12	28	34	39	75	27	132	159

Der potenziell mineralisierbare Stickstoff in den Böden ($N_{pot_{f\&s}} = N_{pot_{fast}} + N_{pot_{slow}}$) betrug im Mittel 159 mg N/kg Boden (Tab. 2). Der niedrigste N_{pot}-Wert wurde für den Boden G ermittelt (58 mg N/kg Boden), der höchste für Boden M (407 mg N/kg Boden). Die Unterschiede zwischen den Böden waren ausreichend groß, um (falls vorhanden) einen Zusammenhang zwischen N_{pot} und den chemischen Kenngrößen der Böden erkennen zu können. Im Durchschnitt waren 13,3 % des Gesamtstickstoffs (N_t) im Boden potenziell mineralisierbar,

wobei der langsam mineralisierbare Vorrat etwa 4mal größer war als der schnell mineralisierbare. Im Durchschnitt wurde 51,3 % des potenziell mineralisierbaren Stickstoffs im Verlauf der 77tägigen Bebrütung tatsächlich als Nmin im Boden freigesetzt.

Zwischen den chemischen Kenngrößen und dem leicht mineralisierbaren Stickstoff im Boden gab es keinen Zusammenhang (Tab. 3). Das drückt sich darin aus, dass es keine signifikante Korrelation zwischen dem Corg, dem Nt, dem HWL-Norg oder dem CaCl₂-Norg und dem Npot_{fast} gab. Bestätigt wird dieser Befund auch dadurch, dass diese Kenngrößen nicht mit dem tatsächlich in der ersten Woche ($\Delta N_{min_{0-7}}$) bzw. in den ersten drei Wochen ($\Delta N_{min_{0-21}}$) der Bebrütung akkumulierten Nmin korrelierten.

Tab. 3: Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zwischen chemischen Kenngrößen der Böden und der N-Mineralisation (ΔN_{min}) bzw. dem potenziell mineralisierbaren N (Npot) im Boden

	Npot _{fast}	Npot _{slow}	Npot _{f+s}	Corg	Nt	HWL-Norg	CaCl ₂ -Norg
$\Delta_{0-7} N_{min}$	0,81	-0,25	-0,09	0,03	0,03	-0,02	0,39
$\Delta_{7-21} N_{min}$	0,52	0,29	0,45	0,33	0,54	0,16	0,18
$\Delta_{21-77} N_{min}$	-0,48	0,98	0,98	0,12	0,57	0,66	0,14
$\Delta_{0-21} N_{min}$	0,72	0,15	0,34	0,40	0,53	0,23	0,41
$\Delta_{0-77} N_{min}$	0,10	0,74	0,85	0,24	0,64	0,51	0,27
Npot _{fast}		-0,56	-0,39	0,18	0,00	-0,27	0,23
Npot _{slow}	-0,56		0,98	0,17	0,61	0,63	0,08
Npot _{f+s}	-0,39	0,98		0,23	0,67	0,64	0,14

Werte $r \geq 0,62$ sind statistisch signifikant ($p = 1\%$)

Der Gesamt-N im Boden ebenso wie der heißwasserlösliche organische N kennzeichnen offenbar den langsam mineralisierbaren organischen N im Boden, was an den signifikanten Zusammenhang dieser Kenngrößen zum Npot_{slow} und der tatsächlichen Mineralisation während der Bebrütung von der 3. bis zur 11. Woche ($\Delta_{21-77} N_{min}$) deutlich wurde.

CaCl₂-Norg korrelierte weder mit Npot_{slow} noch mit Npot_{fast} signifikant. Allerdings war eher ein Zusammenhang, wenngleich auch kein signifikanter, des CaCl₂-Norg zum $\Delta_{0-7} N_{min}$ und zum $\Delta_{0-21} N_{min}$ zu sehen als zum $\Delta_{21-77} N_{min}$.

ie Ergebnisse werfen zweierlei Fragen auf. Erstens, ist der lösliche organische N im HWL- oder im CaCl_2 -Extrakt möglicherweise nur ein Artefakt der Probenaufbereitung (Trocknung) und der Extraktion mit dem kochenden Wasser oder der Salzlösung und ansonsten ohne weitere Aussagekraft für den im Boden dem mikrobiellen Abbau leicht zugänglichen Stickstoff? Wenn dem so wäre, könnte das den fehlenden Zusammenhang zum $\text{Npot}_{\text{fast}}$ erklären. Diese Sicht ist zwar ernüchternd, stimmt aber mit den Befunden von Ros et al. (2012) überein.

Zweitens, spiegelt das Zweikomponentenmodell, das näherungsweise eine schnell und einen langsam mineralisierbare N-Fraktion im Boden differenziert, möglicherweise die für die N-Mineralisation relevanten Vorgänge im Boden gar nicht hinreichend adäquat wider? Die Unterscheidung zwischen $\text{Npot}_{\text{fast}}$ und $\text{Npot}_{\text{slow}}$ wäre dann lediglich ein Artefakt der Funktionsanpassung, die keine Entsprechung in der Wirklichkeit besäße. Wir definierten die beiden N-Pools, $\text{Npot}_{\text{fast}}$ und $\text{Npot}_{\text{slow}}$, über zwei fixe kinetische Reaktionskonstanten. Theoretisch besteht auch die Möglichkeit, je nach Boden unterschiedliche Reaktionskonstanten zuzulassen. Praktisch hat das allerdings einige Nachteile. In der Doppelpotentialfunktion müssten dann nicht nur zwei, sondern vier Parameter durch Anpassung der Funktionsgleichung bestimmt werden. Da sie alle vier miteinander korrelieren, würde die Parametrisierung mehr vom Zufall als von wirklichen Unterschieden geprägt sein. Außerdem wären die so ermittelten Mineralisationspotenziale von geringem prognostischem Wert, wenn nicht gleichzeitig auch die passenden kinetischen Reaktionskonstanten des jeweiligen Bodens bekannt wären oder geschätzt werden könnten. Chemische Kenngrößen, wie z.B. CaCl_2 -Norg oder HWL-Norg, mögen vielleicht die Menge an leicht abbaubarer organischer Substanz charakterisieren, zur Einschätzung der jeweils adäquaten kinetischen Reaktionskonstanten müssten aber wohl noch andere Größen (Tongehalt? C:N?) herangezogen werden. Auf die Möglichkeit, die kinetischen Reaktionskonstanten beim Anpassen der Doppelpotentialfunktion freizugeben, haben wir deshalb verzichtet.

4. Schlussfolgerung

Gleichgültig, welche der Erklärungen zutrifft, eine schnell mineralisierbare N-Fraktion im Boden ließ sich mit den verwendeten Kenngrößen nicht sinnvoll schätzen.

5. Literaturangaben

- Appel, T. und Mengel, K. (1998): Prediction of mineralizable nitrogen in soils on the basis of an analysis of extractable organic nitrogen. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 161, 433-452
- Houba, V.J.G, Novozamsky, I.; Huybregts, W.M. van der Lee, J.J. (1986): Comparison of soil extractions by 0.01 M CaCl₂, by EUF and by some conventional extraction procedures. Plant and Soil 96, 433-437.
- Körschens, M.; Schulz, E. und Behm, R. (1990): Heißwasserlöslicher C und N im Boden als Kriterium für das N-Nachlieferungsvermögen. Zentralblatt Mikrobiologie 145, 305-311.
- Nemeth, K. (1985): Recent Advances in EUF research (1980-1983). Plant and Soil 1983, 1-19.
- Nordmeyer, H. und Richter, J. (1985): Incubation experiments on nitrogen mineralization in loess and sandy soils. Plant and Soil 83, 433-445.
- Ros, G.H., Hanegraaf, M.C., Hoffland, E., Riemsdijk, van W.H. (2012): Predicting soil N mineralization: Relevance of organic matter fractions and soil properties. Soil Biol. Biochem. 43, 1714-1722.

Konservierung von Nach-Ernte N_{\min} durch Untersaaten in maisreichen Fruchtfolgen

T. Makary¹, E. Ehrhart², C. Essich¹, W. Moll³, T. Müller¹

¹Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenstoffhaushalt, Universität Hohenheim, Stuttgart, ²Regierungspräsidium Tübingen, Referat 33, Wasserschutz Koordinatorin des Regierungsbezirks Tübingen, ³Landratsamt Alb-Donau Kreis, Fachdienst Landwirtschaft, Ulm

1. Einleitung und Problemstellung

Anbausysteme mit einer Mais-Selbstfolge stehen hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen oft in Diskussion. Grund hierfür sind intensiv geführte Bestände, die mit hohen Mengen insbesondere an organogenen Düngern versorgt werden.

Zwar zeigen Maisbestände hohe N-Abfuhr. Trotz dessen sind aber nicht selten hohe Nach-Ernte N_{\min} Mengen zu finden. Der späte Erntezeitpunkt von Mais hat weiter zur Folge, dass die Etablierung einer geeigneten Zwischenfrucht oder Nachfrucht, mit dem Ziel der Aufnahme von Nach-Ernte N_{\min} , schwierig ist. Misslingt oder unterbleibt eine solche Etablierung von Zwischen- oder Nachfrüchten, unterliegen die freien Nitratmengen der Böden in den Wintermonaten dem Risiko einer Tiefenverlagerung. Diese Tatsache sowie zwingende Vorgaben der Schutzgebiets- und Ausgleichs- Verordnung (SchALVO) gaben den Anlass, zu der Thematik einen Feldversuch anzulegen. Konkret schreibt die SchALVO vor, dass in Mais auf Mais Fruchtfolgen eine bis spätestens Ende Juni gesäte winterharte Untersaat erfolgen muss.

Der angelegte Feldversuch hatte zum Ziel die Etablierung verschiedener Untersaaten- Mischungen mit verschiedenen Ausbringungstechniken sowie deren Auswirkungen auf die Nach-Ernte N_{\min} Mengen zu untersuchen.

2. Material und Methoden

In Zusammenarbeit mit dem Regierungspräsidium Tübingen sowie dem Landratsamt Alb-Donau Kreis wurde der Versuch auf einer Praxisfläche angelegt. Es wurden 2 Untersaaten Mischungen und zwei Ausbringungsvarianten geprüft.

Bei dem Versuchsbetrieb handelt es sich um einen viehhaltenden Betrieb mit Biogasproduktion. Alle Flächen wurden langjährig mit organischen Düngern versorgt was auch ein hohes N-Nachlieferungspotential vermuten lässt.

Um den Versuch mit Praxistechnik durchzuführen, wurde eine randomisierte Streifenanlage auf Basis der Fahrgassenbreite mit vier Wiederholungen angelegt. Gemäß Düngeverordnung erfolgte eine Düngebedarfsermittlung. Nach Abzug aller für die Düngebedarfsermittlung relevanten Größen (z. B. Nachlieferung der Vorfrucht, des Bodens, N_{\min} usw.) sowie der durchgeführten Unterfußdüngung mit 200 kg Diammonphosphat (36 kg N, 40 kg P) und der Ausbringung von 15 m³ Schweinegülle (66 kg N ha⁻¹, davon 46 kg angerechnet) verblieb ein restlicher Düngebedarf von 71 kg N ha⁻¹. Dieser wurde je nach Variante organisch oder mineralisch zum 6 oder 8 Blatt Stadium durchgeführt. Zum gleichen Zeitpunkt wurden die Untersaaten mit der aufgeführten Technik ausgebracht (Tab. 1).

Tab. 1: Übersicht über alle getesteten Varianten (V1-V4) sowie der durchgeführten Maßnahmen

	V1	V2	V3	V4
	Humus-Plus spät, Gärrest	Humus- Plus spät	Landsberger Gemenge	Keine Untersaat
1. Düngung	45kg N über Schweinegülle sowie 36kg über Diammonphosphat			
Saatgut komponenten	50% Deutsches Weidelgras		50% Welsches Weidelgras	
	50% Welsches Weidelgras		30% Inkarnatklie 20% Winterwicke	
Saatmenge	15 kg ha ⁻¹		20kg ha ⁻¹	
Saattermin	16.06.2014		18.06.2014	
Ausbring- technik	Samen in Gülle Schleppschlauch		Pneumatikstreuer	
2. Düngung	organisch. Gärrest mit Schleppschlauch	mineralisch über Kalkkam- monsalpeter		

Um die Entwicklung der N_{\min} Gehalte zu erfassen wurden Bodenproben (0-90 cm) entnommen. Der erste Entnahmeterrin war der 25.09.2014 nach der Ernte des

Silomaises. Eine zweite Beprobung fand am 28.11.2014 statt. An beiden Zeitpunkten wurden die Proben zwischen den Maisreihen und in der Maisreihe entnommen und gemäß VDLUFA auf N_{\min} untersucht. Weiter wurden zur Maisernte die Frischmasseerträge erfasst. An einem Aliquot der Frischmasse wurde der Trockensubstanzgehalt bestimmt sowie deren N-Gehalt. Dadurch konnte der Trockenmasseertrag sowie N im Erntegut zum Zeitpunkt der Silomaisernte errechnet werden. Mit der Statistiksoftware SAS wurde eine Varianzanalyse mit nachfolgenden t-Test durchgeführt. Das Signifikanzniveau betrug 5%.

3. Ergebnisse

3.1 Trockenmasseerträge Silomais sowie N-Aufnahmen zum Zeitpunkt der Ernte

Die Silomaiserträge zeigen ein einheitliches Ertragsniveau aller Varianten. Die erzielten Erträge lagen im langjährigen Mittel des Standorts. Die Untersaaten in den Varianten 1-3 führten zu keinen Ertragsunterschieden im Vergleich zu der Variante ohne Untersaat (Abb. 1)

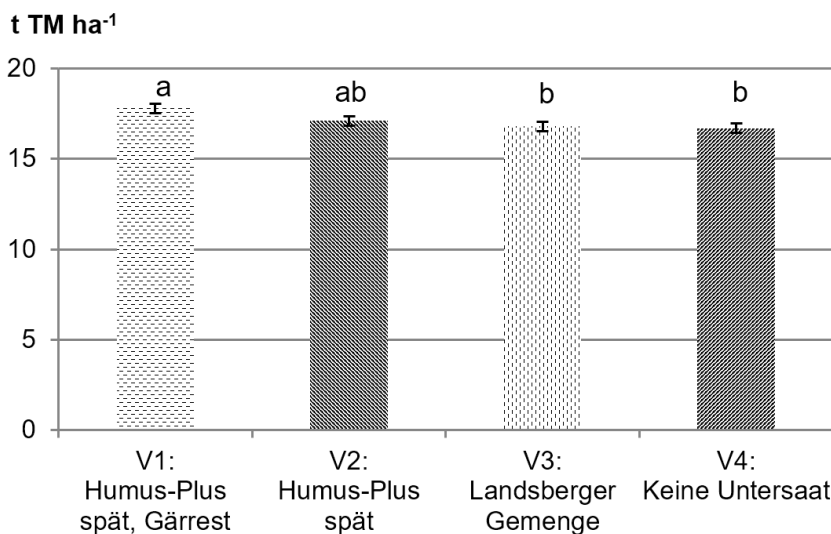


Abb. 1: Silomaiserträge (t/TM ha⁻¹) aller Varianten, Fehlerbalken = Standardfehler des Mittelwerts, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-test $p < 0,05$

Ein ähnliches Bild zeigten die N-Gehalte der oberirdischen Biomasse. Diese lagen zum Zeitpunkt der Ernte alle bei ca. 225 kg ha⁻¹ (± 5 kg ha⁻¹).

3.1 N_{\min} -Gehalte nach der Ernte des Silomaises

N_{\min} - Gehalte Zwischen den Maisreihen

Direkt in Folge nach der Ernte zeigte die Variante „Ohne Untersaat“ signifikant höhere Nitrat-N Gehalte zwischen den Maisreihen im Vergleich zu den Varianten mit Untersaaten. Dies zeigte sich sowohl in beiden Tiefen als auch am Folgetermin, dem 28.11.2015 (Abb. 2). Zum 25.09.2015 zeigte die Bodenschicht 60-90 cm über alle Varianten ähnliche Werte. Am 28.11.2015 konnten jedoch in der Variante ohne Untersaat auch in einer Tiefe 60-90 cm erhöhte N_{\min} Gehalte gemessen werden (Daten nicht gezeigt).

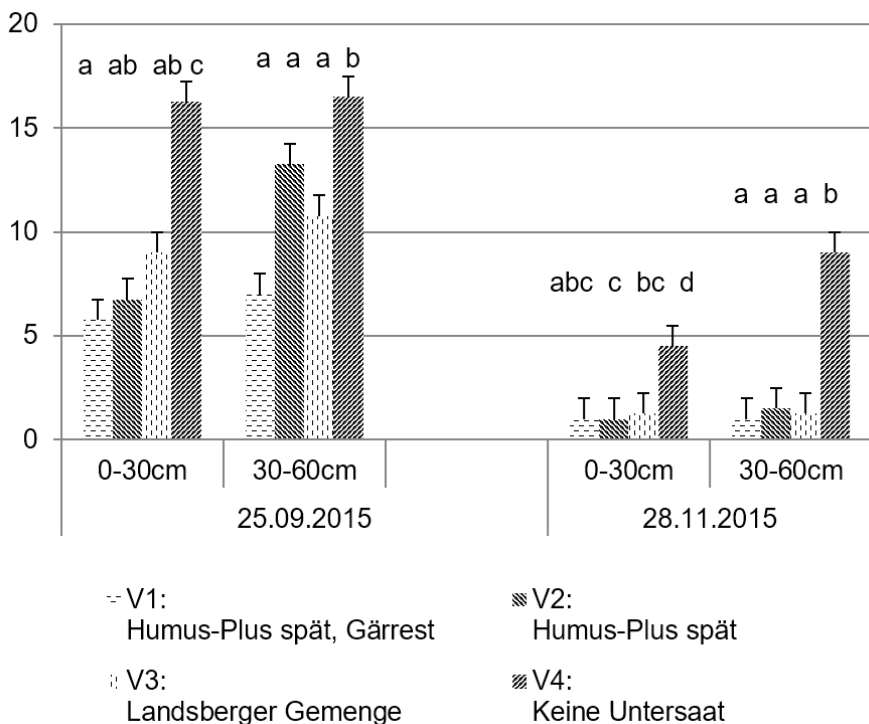


Abb. 2: N_{\min} -Gehalte (kg NO_3 -N) nach der Ernte des Silomaises zwischen den Maisreihen Fehlerbalken = Standardfehler des Mittelwerts, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-test $p < 0,05$

N_{min}- Gehalte in den Maisreihen

Die Messungen in den Maisreihen ergab zum Zeitpunkt 25.09.2015 ein einheitliches Bild. In allen Varianten lagen die Werte bei ca. 5-10 kg ha⁻¹ (0-30 cm) und bei 4-7 kg (30-60 cm). Zum zweiten Zeitpunkt konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 3).

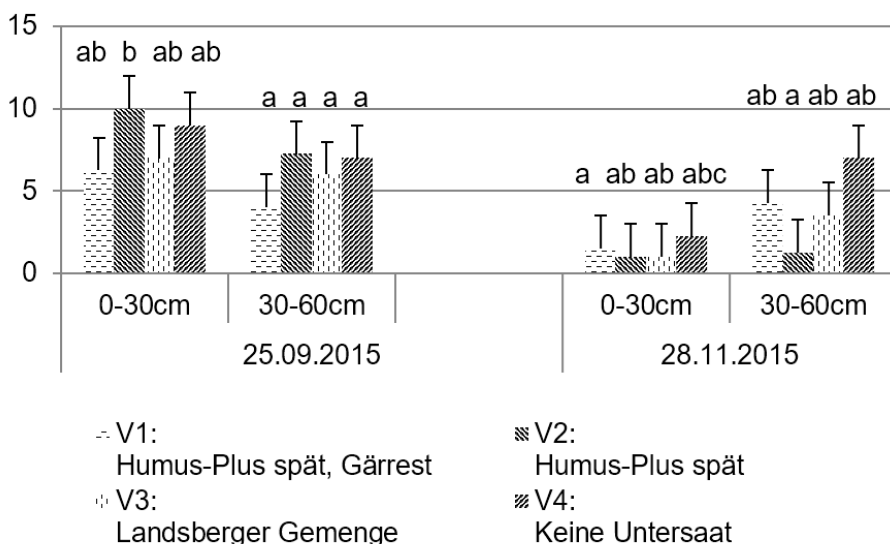


Abb. 3: N_{min}-Gehalte (kg NO₃-N) nach der Ernte des Silomaises in den Maisreihen, Fehlerbalken = Standardfehler des Mittelwerts, unterschiedliche Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede, t-test p < 0,05

4. Diskussion und Fazit

Im Versuchsjahr konnten keine signifikanten Ertragseffekte von Untersaaten auf den Silomaisertrag festgestellt werden. Eine Konkurrenz um Wachstumsfaktoren wie z. B. Wasser konnte aufgrund des niederschlagsreichen Jahres 2014 ausgeschlossen werden. Gerade diese hohen Niederschläge bedingen jedoch weitere Versuche um auch Ergebnisse für eher trockenere Jahre zu gewinnen. Ähnliche Ergebnisse bezüglich der Konkurrenz um Wasser zeigen auch die Arbeiten von Kurtz et al. (1952), Aufhammer und Kübler (1997) sowie Iragavarapu und Randall (2013).

Wie auch in den Untersuchungen von Moraux et al. (1992) konnte das Reduktionspotential von Untersaaten für die Nach Ernte N_{\min} Mengen belegt werden. In den Varianten ohne Untersaaten zeigten sich an beiden Beprobungsterminen signifikant höhere N_{\min} Werte. Zudem konnten diese erhöhten Werte gerade zwischen den Maisreihen gemessen. Dies bekräftigt nochmals die Notwendigkeit von Maßnahmen wie Untersaaten, denn gerade mit dem eher schwach ausgebildeten Wurzelwerk ist Mais nur bedingt in der Lage das Bodenvolumen völlig zu erschließen um auch N-Mengen zwischen den Reihen aufzunehmen (Aufhammer et al., 1997; Peyker, 1996). Alternativen um die N- Nutzungseffizienz zu erhöhen wären auch Maßnahmen wie eine Reihendüngung oder z. B. Strip Drill Verfahren. Jedoch weisen Zwischenfrüchte zusätzliche positive Begleiteffekte wie eine intensive Durchwurzelung oder eine Bodenbeschattung auf. Im Versuchsjahr konnte dazu z. B. bei den Varianten mit Untersaaten eine deutlich bessere Befahrbarkeit beobachtet werden. Bezüglich Ausbringungstechnik kann festgehalten, dass sich beide Verfahren gleichermaßen für die Etablierung von Zwischenfrüchten eignen.

5. Literaturangaben

- Aufhammer, W., Kübler, E., 1997: Einfluß von Reihenweite und Untersaat auf den Silomaisertrag und den N_{\min} -Gehalt im Boden nach der Ernte. Die Bodenkultur; Band 48, Heft 3; facultas.wuv Universitätsverlag.
- Kurtz, T., Melsted, S.W., Bray R.H., 1992: The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops and corn. *Agronomy Journal*.
- Kläy, R., 1984: Untersaaten zu Mais – Gegenseitige Beeinflussung von Unterkultur und Mais, sowie Auswirkungen auf Bodenstruktur, Nitratauswaschung, Stickstoff-Fixierung und die Entwicklung der Folgekulturen. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Mouraux, D., Capellen, O., Foucart, G., Trapp, G., Ledent, J.F., 1992: Vers une meilleure gestion de l'azote en culture de maïs: sous-semis, semis sous-couvert et localisation de l'azote. *Revue de l'Agriculture*.
- Pendleton, J.W., Jackops, J.A., Slife, F.W., Bateman H.P., 1956: Establishing legumes in corn. *Agronomy Journal*.
- Peyker, W., 1996: Enge Reihen, mehr Ertrag. *DLG-Mitteilungen* 4, 80-81.
- Iragavarapu, T.K., Randall, G.W., 2013: Border Effects on yields in a strip intercropped soybean, corn and wheat production system. *Journal of production agriculture*, 9(1), 101-107.

Überprüfung der Bewertung von Grün- und Strohdüngung in der VDLUFA-Humusbilanzmethode

T. Dannehl, G. Leithold, C. Brock

Justus-Liebig-Universität, Gießen

1. Hintergrund und Fragestellung

Stroh und Gründüngung stellen im viehlosen Marktfruchtanbau die wesentlichen Substrate für die Versorgung der Böden mit organischer Substanz dar. Weitere organische Dünger sind zumeist nicht oder nur in geringem Umfang vorhanden. In der Humusbilanzierung nach VDLUFA (Ebertseder et al. 2014) wird davon ausgegangen, dass Stroh aufgrund der höheren chemischen Abbaustabilität des Substrates eine höhere Humusreproduktionsleistung aufweist als Gründüngung. In Feldversuchen bestätigt sich diese Annahme jedoch nicht grundsätzlich (Dannehl et al., 2015). Möglicherweise wirkt sich hier eine unterschiedliche Verfügbarkeit von N für den Aufbau von Mikrobenbiomasse aus (Schimel und Weintraub, 2003). Vor diesem Hintergrund ist zu prüfen, ob bzw. unter welchen Bedingungen eine Modifikation der bei Ebertseder et al. (2014) für die VDLUFA-Humusbilanz angegebenen Humusreproduktionskoeffizienten für Grün- und Strohdüngung notwendig ist. Mit dem vorliegenden Beitrag sollen Ergebnisse hierzu aus dem BÖLN-Projekte „Sicherung der Humusvorräte mit Grün- und Strohdüngung“ (FKZ 2811NA061) vorgestellt werden. Geprüft wurde die Abhängigkeit der Retention von C aus Grün- und Strohdüngung im Boden bei unterschiedlicher N-Verfügbarkeit im Substrat-Boden-Gemisch. Implikationen für die Humusbilanzierung werden auf dieser Grundlage diskutiert.

2. Material und Methoden

Im Rahmen eines kombinierten Ansatzes aus Feld- und Inkubationsversuchen wurden der Umsatz der Substrate und die Retention von Substrat-C im Boden bei insgesamt 16 verschiedenen Stroh- und Gründüngungsvarianten an drei Standorten (Sandboden / Tonboden / Lehmboden) und in zwei Landbausystemen (konventioneller / ökologischer Landbau) untersucht (Tab. 1). Dabei wurde ein verbundenes Design verwendet, d. h. nur definierte Vergleichsvarianten

kamen in beiden Versuchsansätzen und an allen Standorten bzw. in beiden Produktionssystemen vor.

Für den vorliegenden Beitrag wurden die Ergebnisse des Inkubationsversuches sowie eines Monitorings des Substratabbaus mittels Streubeutel im Feldversuch verwendet.

Inkubationsversuch

Der Inkubationsversuch wurde nach DIN ISO 16072 durchgeführt, dabei betrug die Versuchsdauer 300 Tage. Es wurden 9 Varianten auf 2 Böden sowie Kontrollen in vierfacher Wiederholung angesetzt mit jeweils 100 g Boden und 1 g Düngersubstrat (auf 1 mm vermahlen) je Düngersubstrat. Im Versuch wurden die C- und N-Mengen in Düngesubstraten und Böden zu Versuchsbeginn sowie zu Versuchsende erfasst. Anschließend wurde die C-Retention im Boden-Substrat-Gemisch relativ zum Input an Substrat-C ermittelt:

$$\text{C-RET} = \text{C_ENDEVariante} - \text{C_ENDEKontrolle} / (\text{C_STARTVariante} - \text{C_STARTKontrolle})$$

C-RET wurde auf Grundlage von Ausgangsmengen und C-Respiration nach ISO 16072 sowie auf Grundlage von C-Ausgangs- und Endmengen in den Boden-Substrat-Gemischen nach DIN ISO 10694 und DIN ISO 13878 berechnet.

Komplementär zur Ermittlung der C-Retention wurde der Masseabbau der Substrate im Streubeutelversuch analysiert. Die im Streubeutelversuch geprüften Varianten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Für die Überprüfung der Bewertung von Stroh und Gründüngung in der VDLUFA-Humusbilanzmethode wurden die im Inkubationsversuch ermittelten Werte zur Retention von Substrat-C den Koeffizienten aus der Methodenbeschreibung bei Ebertseder et al. (2014) gegenübergestellt. Als Grundlage für die weitere Interpretation der Ergebnisse wurde die Hypothese einer N-Limitierung der Retention von C aus organischen Substraten im Boden im Inkubationsversuch mittels Regressionsanalyse untersucht (unabh. (x): CN-Verhältnis des Substrates bzw. des Substratgemisches, abh. (y): C-RET). Die Ergebnisse des Streubeutelversuches wurden ergänzend herangezogen, zunächst ohne Analyse quantitativer Zusammenhänge.

Tab. 1: Varianten der Feld- und des Inkubationsversuches

Variante	Versuchsansatz			Standort S/T/L ¹	Landbausystem konv./ökolog. ²
	Feld	Labor	Streu- beutel		
Kontrolle	x	x	x	S/T/L	konv./öko.
Getreidestroh (GS)	x	x	x	S/T/L	konv./öko.
GS +Mineraldünger (MD)	x	x	x	S/T	konv.
GS +Biogasgülle (BG)	x	x	x	S/T	konv.
Erbsenstroh (ES)	x	x	x	S/T/L	konv./öko.
Sommer- Zwischenfrucht Senf (S)	x	x	x	S/T	konv.
S +MD	x	x	x	S/T	konv.
S nach Strohdüngung	x	x	x	S/T	konv.
S +BG	x	x	x	S/T	konv.
Winter-Zwischenfrucht Landsberger Gemenge	x		x	S/T	konv.
Untersaat Weidelgras (USG)	x		x	S/T	konv.
USG +MD	x		x	S/T	konv.
USG +GS	x		x	S/T	konv.
Untersaat Klee gras (USL)	x		x	L	öko.
USL +GS	x		x	L	öko.
Grünbrache Klee gras	x			L	öko.
Klee gras (Futter)	x			L	öko.

¹⁾ S: Sandboden, Groß Gerau; T: Tonboden, Weilburger Grenze, Giessen; L: Lehmboden, Gladbacherhof, Aumenu. ²⁾ konv.: konventionell; öko.: ökologisch.

3. Zwischenergebnisse

Im Inkubationsversuch konnte eine negative Korrelation zwischen dem CN-Verhältnis des Substrates bzw. der Substratmischung und der C-Retention

im Substrat-Boden-Gemisch (Abb. 1) beobachtet werden. Dadurch ergibt sich unter anderem, eine höhere Retention bei Senf-C als bei Getreidestroh-C (Abb. 2). Wird jedoch eine N- Ausgleichsdüngung zum Stroh gegeben, liegt im Vergleich zu Senf eine höhere Retention bei Stroh-C vor (Abb. 2).

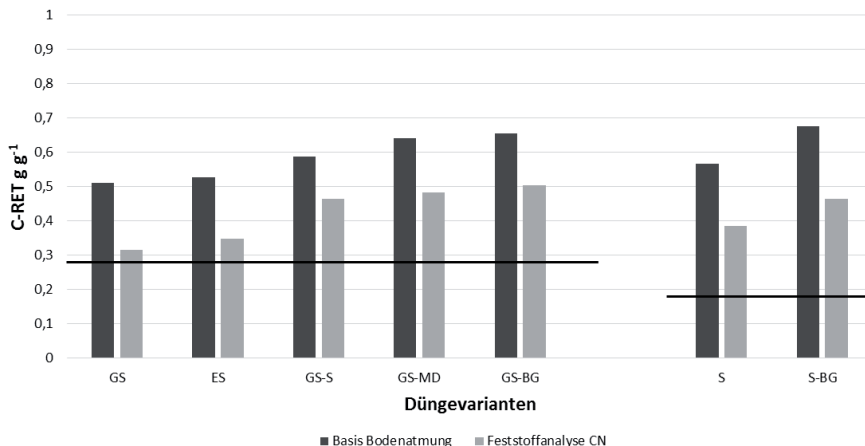


Abb. 1: C-Retention (C-RET) im Boden in Boden-Substrat-Gemisch im Inkubationsversuch nach 300 Tagen in Abhängigkeit vom CN-Verhältnis im Substrat bzw. Substratgemisch.

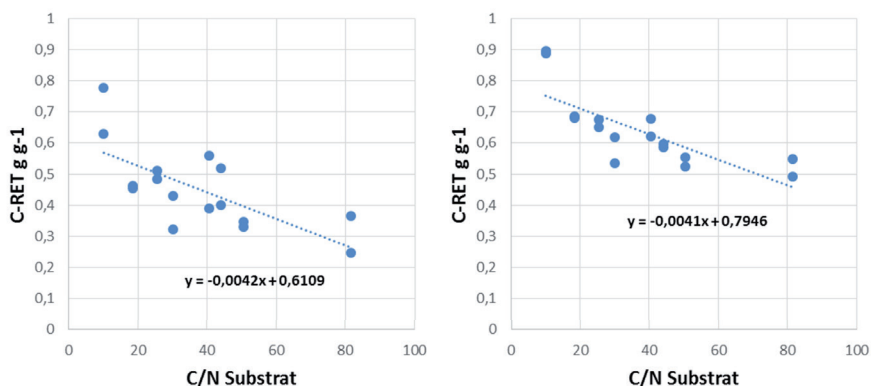


Abb. 2: C-Retention der Stroh- und Gründungsvarianten im Inkubationsversuch nach 300 Tagen im Verhältnis zu den Annahmen zur Humusreproduktionsleistung von Stroh und Gründungsvarianten nach VDLUFA (Ebertseder et al. 2014). C-RET = C-Retention im Boden-Substrat-Gemisch relativ zum C-Input. VDLUFA-Kennziffern stellen eine Umrechnung der Humusreproduktionskoeffizienten von Häq in C dar.

In den Kurzzeitfeldversuchen konnte eine positive Korrelation zwischen dem CN-Verhältnis des Substrates und der Abbaustabilität im Boden beobachtet werden.

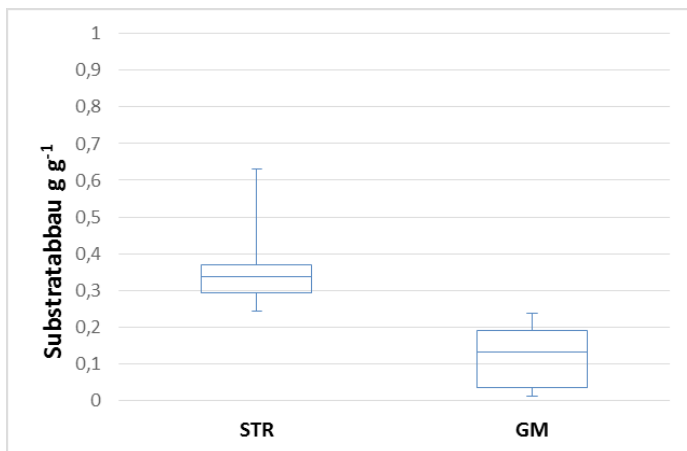


Abb. 3: Substratabbau von Stroh (STR) und Gründüngung (GM) im Streubeutel-Feldversuch nach 112 Tagen relativ zum Input (Bezug TM).

4. Schlussfolgerung

Ein engeres CN-Verhältnis der Substrate bzw. Substratgemische bei Stroh- und Gründüngung bewirkt einen schnelleren Umsatz der Substrate im Boden, ermöglicht aber gleichzeitig eine höhere Retention von Substrat-C durch Einbau in die organische Bodensubstanz einschließlich mikrobieller Biomasse. Für die Humusbilanzierung bedeutet dies, dass eine differenzierte Bewertung von Stroh- und Gründüngung unter Berücksichtigung des CN-Verhältnisses im Substrat bzw. Substratgemisch zu empfehlen ist.

Die Relation zwischen den Humusreproduktionskoeffizienten für Stroh- und Gründüngung im aktuellen VDLUFA-Standpunkt (Ebertseder et al., 2014) erscheint plausibel unter der Annahme, dass eine N-Ausgleichsdüngung zum Stroh vorgenommen wurde. Ist dies nicht der Fall, muss von einer geringeren Humusreproduktionsleistung des Strohs ausgegangen werden.

5. Literaturangaben

- DIN ISO 10694, 1996: Soil quality – Determination of organic and total carbon after dry combustion (elementary analysis). Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 13878, 1998: Soil quality – Determination of organic and total nitrogen content by dry combustion (elementary analysis). Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 16072, 2005: Bodenbeschaffenheit – Laborverfahren zur Bestimmung der mikrobiellen Bodenatmung. Beuth Verlag, Berlin.
- Dannehl, T., Leithold, G., Brock, C., 2015: Influence of straw and green manure treatments on soil organic matter – Results of a Meta-analysis (unveröffentlicht).
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2014: Humusbilanzierung - Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt des VDLUFA 2014, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Schimel, J.P., Weintraub, M.N., 2003: The implications of exoenzyme activity on microbial carbon and nitrogen limitation in soil: a theoretical model. *Soil Biology Biochemistry* 35, 549-563.

Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

T. Dreysse^{1,2}

¹Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, ²Hochschule Anhalt, Braunschweig

1. Einleitung

Die Geschichte der Humusbilanzierung ist eine Geschichte der Langzeitversuche. Die sehr geringen jährlichen Änderungen des Humusgehaltes im Bereich von maximal 0,01 %/Jahr und der durch räumliche und zeitliche Variabilität verursachte Fehler im Bereich $>0,1\%$ (Körschens, 2010), als auch die Unsicherheiten bei der Bestimmung der Eingangsgrößen (Weiser, 2015), erforderten exakte Versuche über einen langen Zeitraum, um Grundlagenwissen über die Humusdynamik und Sicherheit bei Humusbilanzierungsmodellen zu erlangen. Die gesammelten Daten aller Dauerversuche sind ein rares und kostbares Gut und Grundlage der Validierung aller Humusbilanzmodelle. Im Zuge der kontinuierlichen Auswertung der Dauerversuche wurden im Laufe der Jahre verschiedene Humusbilanzierungsmethoden entwickelt. Die VDLUFA-Methode (VDLUFA, 2004) sowie deren Überarbeitung (VDLUFA, 2014) beruhen auf einigen dieser Methoden. Der Vorteil der VDLUFA-Methode ist die Einfachheit, durch die jeder Landwirt in der Lage ist, mit den Informationen aus seiner Schlagkartei eine Schlag- oder eine Betriebsbilanz zu erstellen, die ihm Antwort darauf gibt, ob der ausgebrachte Dünger und die Erntereste den Humusbedarf der angebauten Kulturen ausgleichen. Der Nachteil ist, dass sich mit diesen Methoden keinerlei Aussagen über die absoluten Humusvorräte und nur tendenzielle Aussagen über die Veränderung der Humusvorräte treffen lassen (Brock, 2011).

Die wesentlichen Einflüsse auf den Humusgehalt und -vorrat sind das Klima, der Standort und die Bewirtschaftung. Die VDLUFA-Methode nutzt lediglich Bewirtschaftungsdaten, während das Klima und der Standort nicht oder nur in geringem Umfang berücksichtigt werden. Um genauere Ergebnisse zu erzielen und eine Beziehung zwischen Humusbilanz und Humusgehalt herstellen

zu können, wurden weitere Methoden und Modelle entwickelt. Die komplexe Einbeziehung von Standort- und Klimadaten sprengt jedoch den Rahmen einer „Bleistiftmethode“, daher kommen hier nur noch EDV-basierte Prozessmodelle in Frage. Das in dieser Untersuchung verwendete CCB (CANDY Carbon Balance) (Franko et al., 2011) ist ein Open-Source Programm, basierend auf dem CANDY-Modell (Franko et al., 1995). Mit Daten zur Bodenart nach Reichsbodenschätzung, Bewirtschaftungsdaten, einem gemessenen -Startwert und langjährigem Temperatur- und Niederschlagsmittel ist das Programm in der Lage Humusbilanzen, N-Bilanzen und Kohlenstoffdynamik zu modellieren.

Auch wenn die VDLUFA-Methode als auch CCB Humusumsätze bilanzieren, unterscheiden sie sich stark in ihrer methodischen Herangehensweise. CCB und die VDLUFA-Methode sind demnach ein gutes Beispiel für verschiedene Modellansätze und lohnen daher einen Vergleich.

2. Zielstellung

Ziel der Untersuchung war es, an ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE LW) mittlere Humussalden der ca. 10 letzten Jahre mit zwei verschiedenen Methoden zu berechnen und die Ergebnisse im Hinblick auf die Robustheit der Aussagen zu vergleichen. Dabei wird die VDLUFA-Methode mit dem CCB-Modell verglichen.

3. Material und Methoden

Die zur Verfügung stehenden Daten sind drei Bereichen zuzuordnen. Diese sind: Klimadaten, Standortdaten und Bewirtschaftungsdaten. Die Klimadaten umfassen Jahresmittel für Temperatur und Niederschlag an der zum Beprobungspunkt jeweils nächstliegenden Messstation des Deutschen Wetterdienstes. Standort- und Bewirtschaftungsdaten entstammen der Datenbank der BZE LW des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz. Die BZE LW erhebt an circa 3100 Punkten in Deutschland Daten zur Landbewirtschaftung und zum Boden. Es werden ausschließlich landwirtschaftliche Nutzflächen untersucht. Die Bewirtschaftung wird mit einem Betriebsfragebogen erfasst. Dieser erfragt Angaben zur Betriebsstruktur, zum Anbau der Ackerkulturen, zur Düngung und zur Bodenbearbeitung. Die Bodenuntersuchung beinhaltet eine Profilbeschreibung

nach der Kartieranleitung 5 (AG Boden, 2005), sowie Probenahmen zur Labo-
ranalyse nach dem Handbuch der forstlichen Analytik (Gutachterausschuss,
2009). Es werden Körnung, Skelettanteil, Gesamtstickstoff, organischer Koh-
lenstoff und weitere Parameter gemessen (Freibauer et al., 2015).

Insgesamt umfasst der untersuchte Datensatz 180 Beprobungspunkte. Der
Schwerpunkt liegt in Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern, sowie
einigen Punkten in Rheinland-Pfalz, Bayern und Sachsen-Anhalt.

In der nachfolgenden Tabelle 1 sind wichtige Merkmale der VDLUFA-Bilanzme-
thode und des CCB-Prozessmodells dargestellt.

Tab. 1: Gegenüberstellung der VDLUFA-Bilanzmethode und des CCB-Pro-
zessmodell

	VDLUFA-Methode	CCB
Autoren, Jahr der Veröffentlichung	VDLUFA, 2004, 2014	Franko, et al., 2011
Zielgruppe	Landwirte, Berater, Wis- senschaftliche Anwender	Landwirte, Berater, Wis- senschaftliche Anwen- der
Validiert	ja	ja
Standortanpassung	nein	ja
Zeiteinheit	Jahr, Fruchtfolge	Jahr
Ausgabe/Ergebnisse	Humusbilanz	-Gehalte, Humusbilanz, Humusvorrat (Auswahl)
Ergebnisbewertung	VDLUFA-Versorgungs- klassen	keine spezifische Ergebnisbewertung

Der Vergleich der Humussalden nach VDLUFA (2014) und CCB erfolgt durch
eine statistische Beschreibung, eine Korrelationsanalyse, eine grafische Dar-
stellung der Regression sowie eine geografische Gegenüberstellung der CCB-
und VDLUFA-Salden anhand der VDLUFA-Versorgungsklassen. Es wird
(zunächst) angenommen, dass die Versorgungsklassen auch für CCB-Humus-
salden anwendbar sind, da auch in anderen Veröffentlichungen die VDLUFA-
Versorgungsklassen für andere Humusbilanzmodelle verwendet werden
(Brock, et al., 2008; Seibt, 2007).

4. Ergebnisse

Im Mittel der 180 Standorte sind die Humusbilanzen ausgeglichen. Abbildung 1a zeigt die CCB-Salden (Kreis) und VDLUFA-Salden (Dreieck) der norddeutschen Standorte auf einer topografischen Karte. Die farbige Einteilung stellt die Versorgungsklassen dar. Rot steht für die Versorgungsklasse A, Grüntöne für die Klassen B, C und D und Blau für die Klasse E.

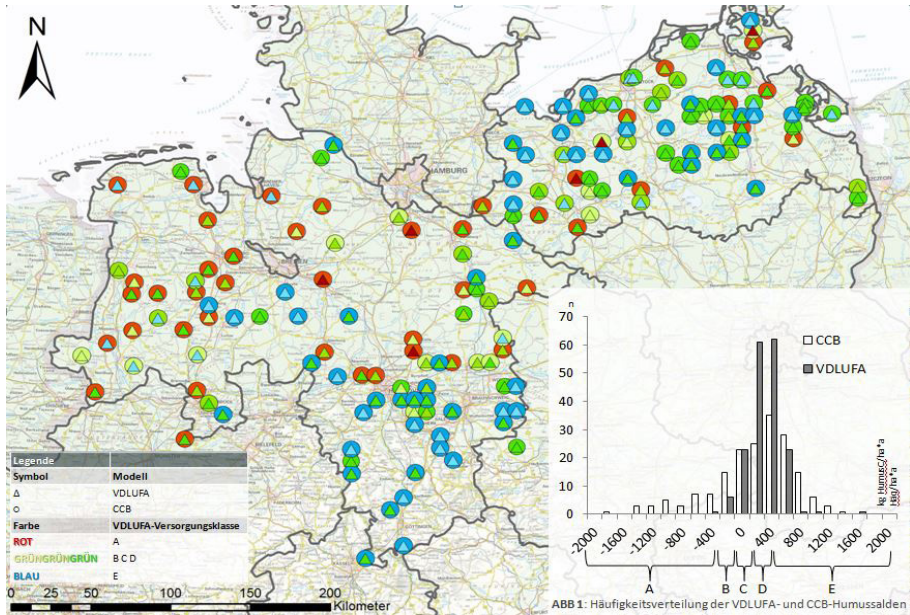


Abb. 1a: Geografische Darstellung der CCB- und VDLUFA-Salden

Abb. 1b: Häufigkeitsverteilung der CCB- und VDLUFA-Salden

An 68 Standorten sind die Salden nach VDLUFA und CCB in derselben Versorgungsklasse. 40 Standorte mit stark negativen CCB-Salden weichen erheblich von den VDLUFA-Salden ab. Darüber hinaus zeigt Abbildung 1a, dass es eine Konzentration dieser Standorte (etwa 50 %) im Westen Niedersachsens (Tierhaltungsregion) gibt. Auch die Standorte mit den stärksten derartigen Differenzen (Roter Kreis, Blaues Dreieck) liegen dort. Es ist daher von einer systematischen Abweichung auszugehen. Stark positive CCB- und VDLUFA-Salden (Blauer Kreis, Blaues Dreieck) konzentrieren sich im Süden Niedersachsens (Hildesheimer Börde), als auch im Nordwesten Mecklenburg-Vorpommerns. In beiden Regionen herrschen gute standörtliche und klimatische Bedingungen für

Marktfrochtbetriebe. Insgesamt haben 33 Standorte sehr hohe VDLUFA- und CCB-Salden.

Abbildung 1b zeigt, dass die Mehrzahl der Standorte, nach beiden Methoden, ausgeglichene bis positive Humussalden aufweisen. Die größere Varianz der CCB-Salden im Vergleich zu den VDLUFA-Salden wird zudem sichtbar.

Die Korrelation zwischen CCB-Salden und VDLUFA-Salden ist positiv ($r = 0,558$, Spearman-Rangkorrelationskoeffizient) und hoch signifikant ($P \leq 0,01$)(keine Abbildung).

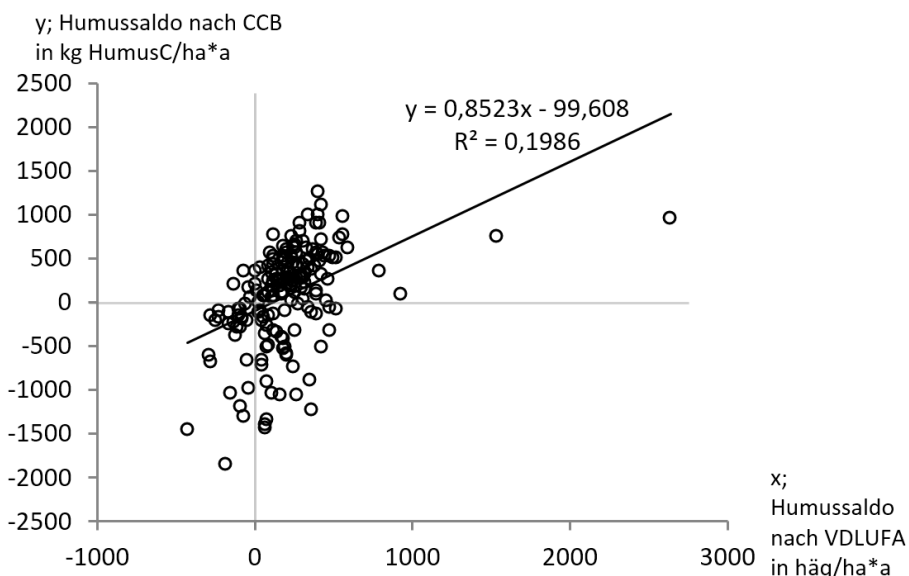


Abb. 2: Regression zwischen CCB- und VDLUFA-Salden

Stellt man die Beziehung zwischen CCB-Salden und VDLUFA-Salden als lineare Regression dar (siehe Abb. 2), werden etwa 20 % der Varianz der CCB-Salden durch die VDLUFA-Salden erklärt. Die Regressionsgleichung in Abbildung 2 zeigt, dass die CCB-Salden tendenziell niedriger sind als die VDLUFA-Salden. Besonders im vierten Quadranten des Diagramms wird dieser Zusammenhang zwischen CCB und der VDLUFA-Methode deutlich. Teilweise stehen stark negative CCB-Salden positiven VDLUFA-Salden gegenüber. In der Praxis würden in diesem Bereich entgegengesetzte Bewirtschaftungsempfehlungen gegeben werden.

5. Diskussion

Die Standorte mit großen Unterschieden zwischen CCB- und VDLUFA-Saldo im Westen Niedersachsens zeichnen sich durch zwei Bodeneigenschaften aus: vergleichsweise hohe -Gehalte und geringe Tongehalte. Außerdem sind es vorwiegend Podsole, Gleye oder anthropogen überprägte Böden. Für alle dieser Standorte simuliert CCB starke Abnahmen des -Gehaltes und sehr negative Humussalden. In verschiedenen Bereichen der Simulation benutzt CCB dazu Pedotransferfunktionen, die den Tongehalt als Standortparameter verwenden. Dadurch wird der Tongehalt zur entscheidenden Einflussgröße der Stabilität des Humus. Gerade bei niedrigen Tongehalten streut der -Gehalt der untersuchten Standorte jedoch stark. Weiterhin ist bekannt, dass Humus nicht nur durch Ton sondern zum Beispiel auch durch Eisenoxide stabilisiert wird (Pronk et al., 2011). Insbesondere bei den Podsolen scheint dieser Stabilisierungsprozess eine große Rolle zu spielen (Adams et al., 1984). Es ist daher möglich, dass bei den Standorten mit hohen -Gehalten und niedrigen Tongehalten der Pool des langzeitstabilen Bodenkohlenstoffs größer ist als CCB annimmt.

Die Auswertung der CCB-simulierten N-Dynamik zeigt, dass sich Bewirtschaftungsstrukturen im Mineralisierungspotenzial des Stickstoffs aus organischen Düngern unterscheiden. Marktfruchtstandorte mineralisieren im Durchschnitt des genutzten Datensatzes circa 70 kg N/ha*a, wobei in 28 % der untersuchten Standortjahre Stickstoff immobilisiert wird (negative Mineralisierung). Dahingegen mineralisieren Tierhaltungsstandorte im Durchschnitt etwa 150 kg N/ha*a und in nur 10 % der Standortjahre wird Stickstoff immobilisiert. Im Fall negativer Mineralisierungsmengen nimmt CCB an, dass der fehlende Stickstoff aus anderen Quellen gewonnen werden kann (Kolbe et al. 2013). Unter der Annahme, dass es sich bei negativer Mineralisierung um strohgedüngte Standorte handelt, wird davon ausgegangen, dass der fehlende Stickstoff nach der Ernte verfügbar sein muss. Übliche -Gehalte nach der Ernte bewegen sich im Bereich um 60 kg N/ha (Getreide) (LfL-Bayern, 2001). In 10 % der strohgedüngten Standortjahre würde diese Menge, anders als CCB annimmt, nicht ausreichen um den Bedarf für die Umsetzung des Strohs zu decken. In diesen Jahren würde an diesen Standorten die Umsetzung des Strohs gehemmt sein und könnte nicht zur Auffüllung des aktiven SOM-Pools dienen. Demnach wäre es auch möglich, dass CCB eine größere -Zunahme simuliert als tatsächlich vorhanden. Da CCB für die strohgedüngten Standorte teilweise extreme Zunahmen simuliert, könnte diese Nichtbeachtung des -Pools für die Interpretation dieser Standorte bedeutsam sein.

6. Literaturangaben

- Adams, W., Kassim, J.K., 1984: Iron oxyhydroxides in soils developed from Lower Palaeozoic sedimentary rocks in mid-Wales and implications for some pedogenetic processes. *Journal of Soil Science* 35, 117-126.
- AG Boden, 2005: *Bodenkundliche Kartieranleitung 5. Verbesserte und erweiterte Auflage*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- BMEL- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2009: *Handbuch forstliche Analytik*. Gutachterausschuss, Bonn.
- Brock, C., 2011: *Humusbilanz-Berechnung und Interpretation*. Graz: Brock.
- Brock, C., Hoyer, U., Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., 2008: *Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau*. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau, Gießen.
- Franko, U., Oelschlägel, B., 1995: Einfluss von Klima und Textur auf die biologische Aktivität beim Umsatz der organischen Bodensubstanz. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 39, 155-163.
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E., 2011: Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma* 166, 119-134.
- Freibauer, A., Heidkamp, A., Prietz, R., Vos, C., 2015: Humuszustand der landwirtschaftlichen Böden in Deutschland - Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. In VDLUFA Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Kolbe, H., Franko, U., Thiel, E., Ließ, E., 2013: Humusreproduktion und N-Umsatz. *Schriftenreihe des LfULG 1*.
- Körschens, M., 2010: Der organische Kohlenstoff im Boden(Corg) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56(4), 375-392.
- LfL-Bayern, 2001: www.lfl.bayern.de. Abgerufen am 18. März 2015 von www.lfl.bayern.de/iab/duengung/032228/.
- Pronk, G.J., Heister, K., Kögel-Knabner, I., 2011: Iron Oxides as Major Available Interface Component in Loamy Arable Topsoils. *Soil Chemistry*, 75(6).
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2004: *Humusbilanzierung – Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland*. Standpunkt des VDLUFA (Hrsg.), Fachgruppen I, II, X, , VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2014: Humusbilanzierung – Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt des VDLUFA (Hrsg.), Fachgruppe I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Seibt, P., 2007: Anwendung einer neuen standortabhängigen Methode zur Humusbilanzierung an sächsischen Dauertestflächen und Vergleich mit anderen üblichen Methoden zur Feststellung des Versorgungsgrades. Diplomarbeit. Technische Universität Dresden.
- Weiser, C., 2015: Die Bestimmung der Kohlenstoffeinträge und deren Unsicherheiten auf die landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. VDLUFA Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Bestimmung der Kohlenstoffeinträge und deren Unsicherheiten auf die landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland im Rahmen der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft

C. Weiser¹, BZE-Team¹

¹Thünen Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig

1. Einleitung

Die Bodenzustandserhebung Landwirtschaft (BZE) erfasst die Vorräte an organischem Kohlenstoff in landwirtschaftlich genutzten Böden in Deutschland (Freibauer et al., 2015). Um den aktuellen Bodenkohlenstoffvorrat zu bewerten, besitzt jeder Probenpunkt einen umfangreichen Datensatz, welcher sämtliche humuswirksamen Maßnahmen der letzten 10-15 Jahre vor der Probenahme beschreibt. Auf Basis dieser zusätzlichen Informationen kann u. a. die Bodenkohlenstoffdynamik an den BZE-Standorten mittels Modellen untersucht werden (Dreysee, 2015).

Wesentliche Eingangsparameter zur Modellierung des Kohlenstoffs (C) im Boden sind die C-Importe- und C-Exporte auf landwirtschaftlich genutzten Böden. Trotz eines umfangreichen Qualitätsmanagements im Rahmen der BZE-Betriebsbefragung bleiben Unsicherheiten bestehen. Die Unsicherheiten sind zum einen darin begründet, weil in der landwirtschaftlichen Praxis höchstens der Haupternteertrag (HEP) als Frischmasse (FM) erfasst wird. Damit basieren die Bestimmung der Nebenernteerträge (NEP), sowie der Ernte- und Wurzelrückstände (EWR) auf Masse- bzw. C-Allokationsfaktoren und dem HEP-Ertrag. Zum anderen fehlen bei FM-Angaben zu organischen Düngern (OD) Informationen zum Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt), Rottezustand und Ausgangssubstrat (v. a. bei Gärresten und Kompost).

Ziel des Beitrags ist es, 1. die C-Importe- und C-Exporte durch das landwirtschaftliche Management zu bestimmen, 2. die wesentlichen Unsicherheiten aufzuzeigen und 3. die C-Flüsse und ihre Unsicherheiten betriebsspezifisch zu untersuchen.

2. Material und Methoden

Die Berechnung der Menge an NEP basiert auf dem NEP:HEP-Verhältnis und den Ertragsangaben zum HEP. Verschiedene Fruchtarten, Sorten, Pflanzenschutzintensitäten sowie bodenkundliche und klimatische Bedingungen beeinflussen dieses Verhältnis. Daher zeigen die vorhandenen Daten aus der Literatur eine große Streuung (Tab. 1). Diese Standardabweichungen (SD) haben wiederum einen erheblichen Einfluss auf die Mengen an NEP und damit auf die C-Modellierung (Unkovich et al., 2010).

Tab. 1: Auswahl der NEP:HEP-Verhältnissen inkl. SD von verschiedenen Fruchtarten (Anonym 2007, DLG 1987, Finck 1989, Anonym 1998).

	NEP :HEP (-)	SD (%)
Winterweizen	0,97	49
Wintergerste	0,87	55
Winterroggen	1,17	40
Winterraps	2,12	58

Den C, welcher in Form der Stoppel bei Abfuhr des NEP auf dem Acker verbleibt, schätzen Bolinder et al. (2007) für alle kleinkörnigen Getreide auf 15 % und für Körnermais und Soja auf 10 % des Gesamt-C des NEP. Für Weizen werden abhängig von der Erntetechnik bis 45 % am Gesamt-NEP angegeben (Allen, 1988), welche bei Strohabfuhr auf dem Acker verbleiben. Untersuchungen zum Einfluss der Stoppelhöhe finden sich bei Zajac et al. (2013) und Weiser (2014). In der vorliegenden Arbeit wird dieser Anteil nicht extra berücksichtigt, da angenommen wird, dass er in den verschiedenen NEP:HEP Verhältnissen bereits berücksichtigt ist.

Der Eintrag der EWR wird in Wurzelmasse und Wurzelexudate unterschieden. Die Arbeit von Klimanek (1997) bildet zwar deutsche Bewirtschaftungsbedingungen und Ertragsniveaus ab, vernachlässigt aber den Eintrag von Kohlenstoff durch Wurzelexudate. Damit werden je nach Fruchtart 3-30 % des Gesamtbiomasse-C vernachlässigt (Bolinder et al., 2007, Li et al., 1997). Die Tabelle 2 zeigt den fruchtartenspezifischen Kohlenstoffanteil inkl. Wurzelexudate an der Gesamtbiomasse.

Tab. 2: Auswahl von C-Allokationsfaktoren für EWR-C inkl. SD verschiedener Fruchtarten (Bolinder et al., 2007, Li et al., 1997, Johnson et al., 2006, Gan et al., 2009).

Fruchtarten	Anteil des Wurzel-C am Gesamt-C (%)	SD (%)
Winterweizen	29	29
Wintergerste	35,1	42
Winterroggen	25,3	32
Silomais	32,8	26
Winterraps	32	9

Zur Vermeidung von zusätzlichen Kosten für Trocknung bzw. als Voraussetzung zur Silage- oder Heuproduktion, sind die TS-Gehalte der HEP fruchtartenspezifisch weitestgehend konstant. NEP zeigen durch den Einsatz von Wachstumsreglern und Fungiziden größere Schwankungen ihrer TS-Gehalte. Der C-Gehalt der HEP (mit Ausnahme der Ölfrüchte) liegt in der Regel zwischen 42% und 50% der Trockenmasse (TM) (Oberberger et al., 2006).

Tab. 3: Auswahl aus dem C- und TS-Gehalten inkl. SD von OD (Morvan 2009, Amon et al., 2006, Zorn et al., 2007, Franko et al., 2011, KTBL, 2009, Rynk, 1992).

	C-Gehalt (% der TM)	SD (%)	TS-Gehalt (%) der TM)	SD (%)
Rindergülle	37,1	15,3	10,3	22
Schweinegülle	41,1	-	6,7	47
Rindermist	41,5	13	14,3	11
Hühnertrockenkot	37,4	-	50	8
Gärrest	34,3	9,6	5,8	35
Kompost	37,3	46,4	56,3	16

Die TS- und Kohlenstoffgehalte in OD können erheblich schwanken (Tab. 3). Für Gülle ist der Eintrag von Wasser durch Regen-, Schmutz- und Melkhausabwasser in die Güllelager entscheidend. Der C-Gehalt der OD schwankt mit dem Rotegrad, sowie der Haltungsform und Ernährung der Tiere. Die Charakteristika von Kompost, Gärresten und anderen OD (wie Pilzsubstrat, Kartoffelfruchtwasser und Klärschlämmen) variieren je nach unterschiedlichen Ausgangssubstra-

ten und den verschiedenen Vorbehandlungen.

Die Datenbasis zur Bestimmung der Kohlenstoffflüsse (CF) bilden 1 500 BZE-Ackerstandorte mit 15 000 Anbaujahren und dazugehörigen Bewirtschaftungsinformationen (HEP-Ertrag, NEP-Abfuhr, Düngerart- und -menge). Mittels der in Tabelle 1-3 als Auswahl dargestellten Literaturangaben zu den NEP:HEP-Verhältnissen, TS- und C-Gehalten von NEP, EWR und OD werden mit der Gleichung (1) die CF exemplarisch für NEP fruchtartenspezifisch berechnet:

$$(1) CF = HEP \cdot NEP:HEP \cdot TS\text{-Gehalt} \cdot C\text{-Gehalt}$$

Bei der Bestimmung der CF für HEP und OD entfällt das NEP:HEP-Verhältnis. Zur Bestimmung der Unsicherheiten werden die SD entsprechend der Gleichung (2) berechnet:

$$(2) SDCF = \sqrt{((SDHEP)^2 + (SDNEP:HEP)^2 + (SDTS\text{-Gehalt})^2 + (SDC\text{-Gehalt})^2)}$$

Die Bestimmung der Betriebstypen erfolgt durch den Standardoutput (SO). Der SO gibt den durchschnittlichen Geldwert (€) der Bruttoagrarerzeugung eines landwirtschaftlichen Betriebes an. Der SO wird je Flächeneinheit einer Fruchtart bzw. je Tiereinheit einer Viehart aus erzeugter Menge mal zugehörigem »Ab-Hof-Preis« als geldliche Bruttoleistung ermittelt. Dabei werden durchschnittliche Erträge und Preise angesetzt, die für einen Bezugszeitraum von fünf Wirtschaftsjahren berechnet werden (Destatis, 2010). Die Summe der Standardoutputs je Betrieb beschreibt die Marktleistung und die Zusammensetzung die betriebswirtschaftliche Ausrichtung (Anonym, 2008). Zur betriebsspezifischen Betrachtung der NEP und OD wurde eine Quantilregression mit dem Paket „quantreg“ (Koenker et al., 2015) in R (R Core Team, 2013) durchgeführt.

3. Ergebnisse

Der HEP-Export liegt in mehr als 7 500 Anbaujahren bei mehr als 2,9 t C/ha (Abb. 1). Die mittlere Abfuhr von C mit dem HEP ist 3,5 t C/ha. Verantwortlich für C-Exporte größer 10 t C/ha sind Maiserträge von 550 dt FM/ha mit zusätzlichem Anbau von Zwischenfrüchten zur Futtergewinnung. In vier Anbaujahren kam es außerdem zu Zuckerrübenenerträgen von über 100 t FM/ha.

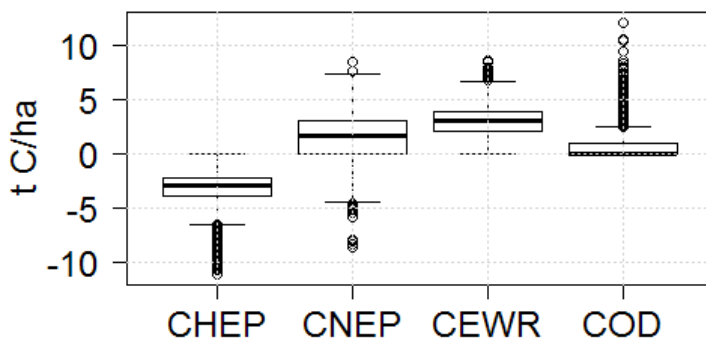


Abb. 1: CF in t C/ha, der Haupternteerzeugnisse (CHEP), Nebenernteerzeugnisse (CNEP), Ernte- und Wurzelrückstände (CEWR), und organischen Dünger (COD) von n = 15000 Jahren auf 1500 Standorten.

Die NEP verbleiben zum Großteil auf der Ackerfläche. In über der Hälfte der Anbaujahre sind es mehr als 1,7 t C/ha. Sehr hohe Strohabfuhrer von Körnermais, Winterweizen, Winterroggen und Wintertriticale erklären die hohen NEP-Exporte von mehr als 4 t C/ha (Abb. 1).

Tab. 4: Gefittete Quantile des NEP-C (t C/ha) nach der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung.

	Anbaujahre	Quantile (%)					
		0	20	40	60	80	100
Marktfrucht	5659	-8,55	0	2,13	2,85	3,35	8,5
Gemischt	3304	-4,46	-2,1	0	2,25	3,19	7,6
Futterbau	2748	-5,13	-2,1	0	0	1,13	7,6
Veredlung	1541	-7,89	-2,46	1,6	2,85	3,61	7,6
n.k.	1417	-4,23	-1,6	0	1,97	3,16	7,13
Dauerkultur	182	-1,34	0	0	0	0	5,46

Die Tabelle 4 zeigt wie unterschiedlich die Nutzung des NEP-C in verschiedenen Betriebstypen ist. Während in Dauerkultur- und Marktfruchtbetrieben in 80% der betrachteten Jahre die NEP auf dem Acker verbleiben, ist das in allen anderen Betriebstypen höchstens in 60% der Jahre der Fall.

Die EWR verbleiben immer auf der Ackerfläche und sind daher nur positiv. Der Median der EWR-CF liegt bei 3,13 t C/ha. Der mittlere C-Eintrag über EWR liegt

bei 2,89 t C/ha. Maximale EWR-Einträge über 7 t C/ha sind mit sehr ertragsreichen Körnermais- und Wintertrapsjahren verbunden.

Tab. 5: Gefittete Quantile des OD-C (t C/ha) nach der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung.

	Anbaujahre	Quantile (%)					
		0	20	40	60	80	100
Marktfrucht	5659	0	0	0	0	0,56	12,1
Gemischt	3304	0	0	0	0,5	1,1	10,41
Futterbau	2748	0	0	0,76	1,17	2,01	7,45
Veredlung	1541	0	0,33	0,55	0,83	1,38	10,4
n.k.	1417	0	0	0	0,69	1,44	7,8
Dauerkultur	182	0	0	0	0	0	1,74

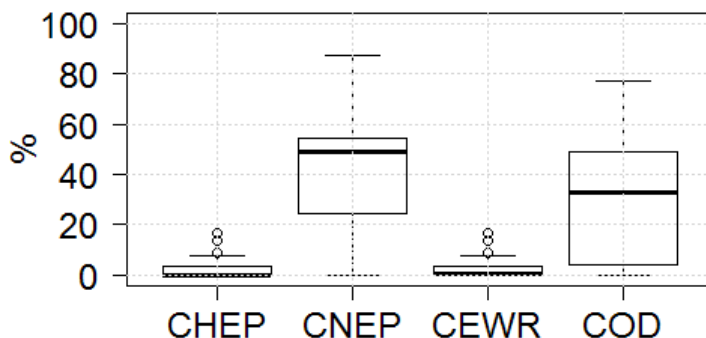


Abb. 2: Unsicherheiten der CF in %, der Haupternteerzeugnisse (CHEP), Nebenernteerzeugnisse (CNEP), Ernte- und Wurzelrückstände (CEWR) und organischen Düngers (COD) von n = 15 000 Jahren auf 1 500 Standorten.

In 523 Anbaujahren waren keine Angaben zur organischen Düngung vorhanden. Unabhängig von der betriebswirtschaftlichen Ausrichtung haben in mehr als 7 250 Anbaujahren die Ackerflächen keinen OD erhalten. Im Mittel erhalten die Ackerflächen 0,67 t C/ha. Alle Werte über 6 t C/ha wurden in der Regel mit Kompost- und Stallmistgaben erreicht. Die betriebsspezifische Betrachtung in Tabelle 5 zeigt, dass in Dauerkulturbetrieben in 20 % der untersuchten Anbaujahre, Flächen 0-1,74 t C/ha zur OD erhielten. Ähnlich gering ist die Versorgung der Flächen in Marktfruchtbetrieben. Bei einem Vergleich mit Tabelle 4 wird

deutlich, dass in Marktfruchtbetrieben der Humusersatz durch Düngung maßgeblich über das NEP erfolgt. Demgegenüber erhalten in 80 % der untersuchten Anbaujahre die Flächen in Veredlungsbetrieben OD.

4. Diskussion

Werden die 14 wichtigsten Fruchtarten, welche 92 % der Ackerfläche in Deutschland repräsentieren, mittels fünfjährigem Ertragsmittel (2009-2014) in HEP-CS umgerechnet, ergibt das einen Wert von 3,45 t C/ha. Damit liegen die BZE-Ackerflächen 50 kg C/ha über diesem Statistikwert für Gesamtdeutschland. Dementsprechend sollten bei gleicher Berechnung wie unter Kapitel 2 für die EWR-CS ähnlich geringe Abweichungen aufkommen. Bei den CF von NEP und COD kann dieser Vergleich nicht vorgenommen werden.

Die hohen Unsicherheiten für Stroh-, Gründüngung und anderen OD erfordern Minderungsstrategien. Eine pauschale Vergrößerung der abzufragenden Merkmale ist kritisch zu bewerten. Durch die Überforderung der Befragten kann es in Folge zu einem Informationsverlust kommen. Vielmehr könnten Informationen gezielter in Abhängigkeit vom Betriebstyp erfragt werden. In Marktfruchtbetrieben lohnt die Abfrage zur Stoppelhöhe, Mährescher- und Bergetechnik sowie zur Pflanzenschutzintensität. In Veredlungs- und Futterbaubetrieben ist vor allem die Kenntnis zum Melkhausabwasser- und Regenwassermanagement wichtig zur Verringerung von Unsicherheiten.

In jedem Fall sind bei der Berechnung und Verwendung der CF für weitere Anwendungen, wie in Dreysee (2015), die Grundlagendaten zur CF-Berechnung sorgfältig zu dokumentieren. Zusätzlich ist eine Abschätzung der Wirkung der Unsicherheiten auf das Endergebnis der Anwendung zu erstellen.

5. Zusammenfassung

Die Bestimmung von Kohlenstoffeinträgen in Ackerböden ist auf Basis von Betriebsfragebögen mit Unsicherheiten behaftet. Das gilt vor allem für Kohlenstoffeinträge durch Grün- und Strohdüngung und anderen organischen Düngern. Im Hinblick auf die Interpretation der Ergebnisse der möglichen Anwendungen wie der Humusbilanzierung, sind diese Unsicherheiten vor allem auf Schlägen in Marktfruchtbetrieben und Veredlungs- bzw. Futterbaubetrieben zu berücksichtigen.

6. Literaturangaben

- Allen, R.R., 1988: Straw Recovery as Affected by Wheat Harvest Method. Trans ASAE 31, 1656-1659.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T., Zechmeister-Boltenstern, S., 2006: Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. In: . Agric Ecosyst Environ, 112, 153-162.
- Anonym, 2008: Verordnung (EG) Nr. 1242/2008 Der Kommission vom 8. Dezember 2008 zur Errichtung eines gemeinschaftlichen Klassifizierungssystems der landwirtschaftlichen Betriebe. Amtsblatt der Europäischen Union, 335, 3-24.
- Anonym, 2007: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). BGBl, 7, 221-240.
- Anonym, 1998: Die Landwirtschaft. Lehrbuch der Landwirtschaftsschulen. Bd. I Pflanzliche Erzeugung, 11. Aufl., Landwirtschaftsverlag, München und Münster-Hiltrup.
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., Van Den Bygaart, A.J., 2007: An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agric Ecosyst Environ, 118, 29-42.
- Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (Hrsg.), 1987: Pflichtheft der Datenverarbeitung in der Pflanzenproduktion. Expertenwissen für Landwirte, Berater und Programmierer. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Dreysee, T., 2015: Vergleich des Bodenkohlenstoffmodells CANDY-Carbon-Balance (CCB) mit der Humusbilanzmethode nach VDLUFA am Beispiel von ausgewählten Ackerstandorten der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 378-385
- Finck, A., 1989: Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. Weinheim:VCH Verlagsgesellschaft mbH. 442 Seiten.
- Franko, U., Kolbe, H., Thiel, E., Ließ, E., 2011: Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. Geoderma, 166, 119-134.

- Freibauer, A., 2015: Der Humuszustand der landwirtschaftlichen Böden in Deutschland – Erste Ergebnisse der Bodenzustandserhebung Landwirtschaft. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Gan, Y.T., Campbell, C.A., Janzen, H.H., Lemke, R.L., Basnyat, P., McDonald, C.L. 2009: Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. *Agric Ecosyst Environ.*, 132, 290-297.
- Johnson, J.M.-F., Allmaras, R.R., Reicosky, D.C., 2006: Estimating Source Carbon from Crop Residues, Roots and Rhizodeposits. *Agron. J.* 98, 622-636.
- Klimanek, E.M., 1997: Bedeutung der Ernte- und Wurzelrückstände landwirtschaftlich genutzter Pflanzenarten für die organische Substanz des Bodens. *Arch. Acker- Pfl. Boden* 41, 485-511.
- Koenker, R., Stephen, P., Tian, P., Zeileis, A., Grosjean, P., Ripley, B.D., 2015: Package 'quantreg'. Quantile Regression.
- Kuratorium für Technik und Bau in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.), 2009: Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Aufl., Darmstadt.
- Li, C., Frolking, S., Crocker, G.J., Grace P.R., Klír, J., Körchens, M., Poulton, P.R., 1997: Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using the DNDC model. *Geoderma*, 81, 45-60.
- Morvan, T., Nicolardot, B., 2009: Role of organic fractions on C decomposition and N mineralization of animal wastes in soil. *Biol Fertil Soils*, 45, 477-486.
- Obernberger, I., Brunner, T., Bärnthaler, G., 2006: Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass Bioenergy* 30, 973-982.
- R Development Core Team, 2013: R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria : the R Foundation for Statistical Computing. ISBN: 3-900051-07-0. Available online at <http://www.R-project.org/>.
- Rynk, R., (Hrsg.) 1992: On-Farm Composting Handbook, Northeast Regional Agricultural Engineering Service, Ithaca.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hrsg.) 2010: Betriebswirtschaftliche Ausrichtung und Standardoutput - Fachserie 3 Reihe 2.1.4, Wiesbaden.
- Unkovich, M., Baldock, J., Forbes, M., 2010: Variability in Harvest Index of Grain Crops and Potential Significance for Carbon Accounting: Examples from Australian Agriculture. *Adv Agron* 105, 173-219.
- Weiser, C., 2014: Einflüsse auf den Getreidestrohertrag als Voraussetzung der Bestimmung des nachhaltigen Strohpotenzials. *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 23, 66-70.

- Zajač, T., Oleksy, A., Stokłosa, A., Klimek-Kopyra, A., Macuda, J., 2013: Vertical distribution of dry mass in cereals straw and its loss during harvesting. *Int. Agrophys.* 27, 89-95.
- Zorn, W., Heß, H., Albert, E., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G., 2007: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.

Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion in Nordostdeutschland

G. Ebel¹, G. Barthelmes²

¹Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam, ²Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Teltow/OT Ruhlsdorf

1. Einleitung

Ganzpflanzengetreide kann als mögliches Biogassubstrat maisbetonte Energiepflanzenfruchtfolgen auflockern. Ziel ist es, den Anbau von Ganzpflanzengetreide aus pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Sicht für die Erzeugung von Biogassubstrat (z. B. Ertrag, sparsamer Düngereinsatz, Verminderung Nitratverlagerung) auf einem sandigen und zur Vorsommertrockenheit neigenden Standort Nordost-Deutschlands zu optimieren. Aus den Ergebnissen werden Anbauempfehlungen für diese Standorte abgeleitet.

2. Material und Methoden

Am Standort Güterfelde (Kreis: Potsdam-Mittelmark, Ackerzahl: 29-33, Bodentyp: IS; durchschnittlicher Jahresniederschlag: 545 mm, Jahresmitteltemperatur: 9,1 °C), der den Boden-Klima-Raum „trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes“ und das Brandenburger Landbaugesamt III repräsentiert, liegen seit 2005 Erfahrungen aus verschiedenen Versuchen zum Ganzpflanzengetreideanbau für den Kosubstrateinsatz in Biogasanlagen vor (vgl. Ebel, Barthelmes und Adam, 2009; www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/22012908.pdf; www.eva-verbund.de). Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektes „Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion“ inklusive der Untersuchungsschwerpunkte Saatzeit/Saatstärke (Tab. 1), N-Düngung (Tab. 2) und Untersaaten (Tab. 3) der Versuchsjahre 2011/12, 2012/13, 2013/14 mitgeteilt und mit den Vorjahren zusammenfassend gewertet (Förderung BMEL über die FNR, FKZ: 22016811).

Tab. 1: Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion – Teilversuch Saatzeit/Saatstärke, Güterfelde, 2011/12 bis 2014 (BB – Brandenburg, kf Kö. – keimfähige Körner)

Faktor	Stufen
A: Saattermin	a1: früh (15.09. bis 20.09.) a2: spät (12.10. bis 15.10.)
B: Getreidearten	b1: Winterroggen b2: Wintertriticale b3: Winterroggen/Wintertriticale
C: Saatstärken	c1: niedrig (80 % - für BB kf Kö./m ² : WR 175; WT 240) c2: optimal (100% - für BB kf Kö./m ² : WR 220; WT 300) c3: hoch (120 % - für BB kf Kö./m ² : WR 265; WT 360)

Tab. 2: Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion – Teilversuch N-Düngung, Güterfelde, 2011/12 bis 2014 (SBA – Sollbedarfswertanalyse)

Faktor	Stufen
A: Getreidearten	a1: Winterroggen a2: Wintertriticale a3: Winterroggen/Wintertriticale
B: N-Düngung	b1: ohne N-Düngung b2: 70 % der SBA (Ziel 70-80 kg N/ha als KAS) in 2 Gaben b3: 100 % der SBA (Ziel 100-110 kg N/ha als KAS) in 2 Gaben b4: Alzon 46: 110 kg N/ha (eine Gabe)

Tab. 3: Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion – Teilversuch Untersaaten, Güterfelde, 2011/12 bis 2014

Faktor	Stufen
A: Getreidearten	a1: Winterroggen a2: Wintertriticale
B: Untersaaten	b1: ohne Untersaat b2: Weidelgras im Frühjahr (15 kg/ha) b3: Knaulgras im Frühjahr (10 kg/ha) b4: Serradella im Frühjahr (15 kg/ha) b5: Knaulgras Herbst (ab 2012/13) 10 kg/ha

Die statistische Verrechnung erfolgte mit dem Programm „STATGRAPHICS Plus“ und dem Verfahren: Multiple Sample Comparison mit einer Grenzdifferenz (GD) bei $\alpha = 5\%$. Signifikante Unterschiede des LSD Test sind mit unterschieden Buchstaben gekennzeichnet.

3. Ergebnisse

Ganzpflanzengetreide wies mit 83 dt TM/ha einen Relativertrag von 52 % zu Mais (= 158 dt TM/ha) innerhalb der EVA-Fruchtfolgeversuche 2005-2014 auf. Somit ist der Ganzpflanzenertrag noch nach den Energiehirsen einzuordnen (Sorghum bicolor: 92 %, Sudangrashybride: 83 % zu Mais). Stark abweichende Jahreswitterungen mit Extremereignissen führten auf dem zur Vorsommertrockenheit neigenden Diluvialstandort bei allen Pflanzen zu erheblichen Ertragsschwankungen (z. B. Mais 85-192; Sorghum b. x s. 99-154; Wintergetreide 49-108 dt TM/ha). Diese extremen Schwankungen sind für die Rohstoffbereitstellung zu berücksichtigen und erfordern eine mehrjährige Bewertung der Fruchtarten und Fruchtfolgen (Risikoabschätzung EVA3).

Innerhalb der Ganzpflanzengetreideversuche variierten die Erträge witterungsbedingt im Jahresvergleich von 74 dt TM/ha (2012) bis 124 dt TM/ha (2014) und im Artenvergleich mit Winterroggen (88-126 dt TM/ha) \geq Artenmischung (77-126 dt TM/ha) $>$ Wintertriticale (56-118 dt TM/ha). Die Ertragsrelation aller Ganzpflanzengetreideversuche am Standort seit 2005 wurde somit bestätigt – Winterroggen mit 91 dt TM/ha $>$ -triticale (83) $>$ -gerste (76) deutlich vor Sommergetreide mit 55 dt TM/ha. Die Ganzpflanzenernte 2013 erfolgte wie 2010 witterungsbedingt ca. 14 Tage später (19. Juni) als in den Vorjahren bzw. 2014. Durch die günstige Niederschlagsverteilung im Mai/Juni 2013 bzw. Mai 2014 wurde der optimale TM-Gehaltsbereich (28-35 %) zur Ernte eher eingehalten als 2012 (lange Trockenheit im Mai).

Im Vergleich der **Saatzeit** lag das dreijährige Ertragsmittel der Arten für die frühe Aussaat (14.09. bis 21.09.) bei 117 dt TM/ha (Abb. 1). Bei einem späteren Saattermin (08.10. bis 12.10.) traten innerhalb von 20 Tagen signifikante Mindererträge von 16 % (= 98 dt TM/ha) gegenüber der frühen Aussaat auf. Diese Ertragseinbußen variierten aber in den Jahren witterungsbedingt von 2 % (2014 – nicht signifikant), 12 % (2013 – signifikant) bis zu 40 % (2012 – signifikant). Für die reduzierte **Saatstärke** (Winterroggen 175 statt 220/265 bzw. Wintertriticale 240 statt 300/360 keimfähige Körner/m²) wurden bei der frühen Saatzeit keine Effekte und bei der späten Saatzeit signifikant geringere Erträge ausgewiesen. Eine Steigerung der Saatstärke auf 120 % erbrachte im Mittel der drei Jahre keinen Ertragsvorteil.

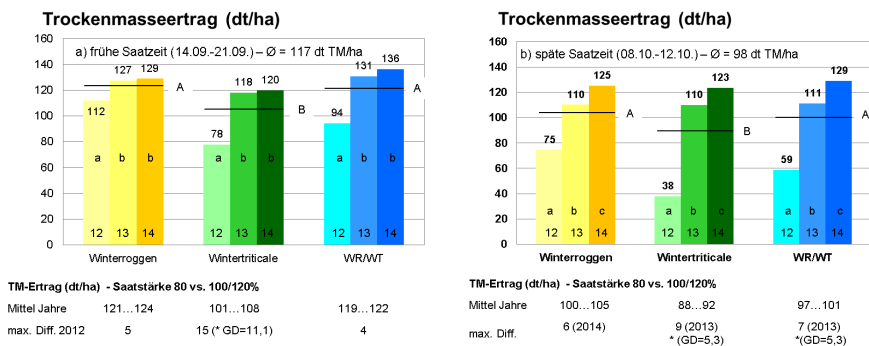


Abb. 1: Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion Teilversuch Saatzeit/ Saatstärke, TM-Erträge (dt/ha), Güterfelde, 2012-2014

N-Düngung: Ohne mineralische N-Düngung waren Ertragseinbußen im dreijährigen Mittel von 34 bis 39 % (Abb. 2) und variantenbezogen bis zu 50 % (Wintertriticale 2012) zu verzeichnen. Diese Größenordnung wird allgemein in der Literatur für andere Produktionsrichtungen ebenfalls angegeben. Bei reduziertem N-Aufwand (70 % Düngungsmenge = 70-75 kg N/ha in 2 Gaben mit Kalkammonsalpeter = KAS) traten geringere Erträge von 5 % (Winterroggen – nicht signifikant) bis zu 9 % (Wintertriticale, Artenmischung – signifikant) gegenüber der ortsüblichen Variante auf. Der Erfolg der Alzondüngung hängt maßgeblich von einem zeitigeren Ausbringungstermin im Vergleich zu KAS ab. Allerdings ist das sehr stark von der Befahrbarkeit und demzufolge von der Witterung im Zeitraum Mitte Februar/Anfang März abhängig.

Der frühe Erntetermin beim Ganzpflanzengetreide (Ende Mai bis Mitte Juni) erfordert zum einen ein intensiveres Nachdenken in der Fruchtfolgegestaltung als bei Fruchtfolgen mit Körnergetreide. Zum anderen bietet es neue Chancen zur Auflockerung von Fruchtfolgen. Dabei ist die Einordnung von Ganzpflanzengetreide in die Fruchtfolge gesondert zu betrachten (vgl. Abb. 3). Ziel ist es, nach der Ernte in der Hauptwachstumsperiode Juni bis August einen Pflanzenbestand zur Gründung oder Futter-/Biomassennutzung zu etablieren.

Untersaaten gelten als eine Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen. Die geteseten Varianten (Einjähriges Weidelgras, Serradella und Knautgras jeweils mit Frühjahrseinsaat in die Getreidebestände – vgl. Tab. 3) konnten sich witterungsbedingt nur sehr zögernd oder gar nicht etablieren. Die lückigen Untersaatbestände bzw. die optimale Niederschlagsverteilung Mai/Juni 2013 bzw. 2014

beeinflussten kaum den Ertrag des Ganzpflanzengetreides. Die Erntewürdigkeit der Untersaaten war eingeschränkt.

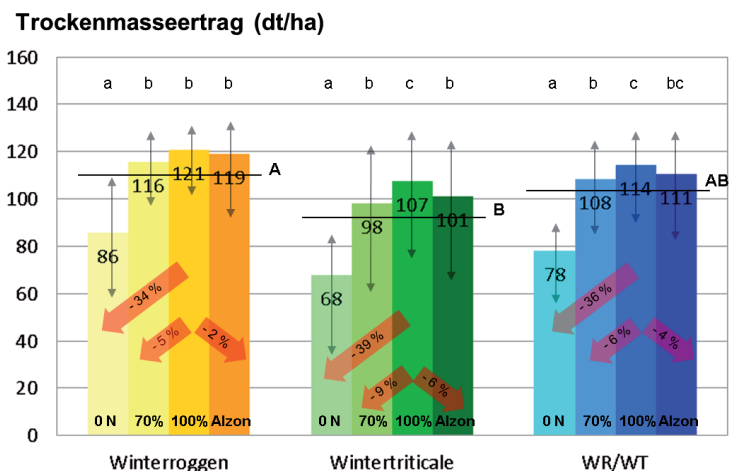


Abb.2: Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion Teilversuch N-Düngung, TM-Erträge (dt/ha), Güterfelde, 2012-2014, Pfeile kennzeichnen Jahresunterschiede

Die Variante Knautgras in der Herbstsaat konkurriert durch die langsame Jugendentwicklung im Frühjahr nicht mit dem Ganzpflanzengetreide, entwickelt sich nach der Ernte der Deckfrucht flächendeckend und kann bei entsprechender Bestandsführung (für Gärrestnutzung geeignet) im Folgejahr erntewürdig sein. Für die trocken-warmen diluvialen Böden des ostdeutschen Tieflandes ist mit der Knautgras-Herbstsaat noch am ehesten eine erfolgreiche Einordnung in kombinierten Marktfrucht-Energiepflanzenfruchtfolgen vergleichend zu den anderen getesteten Untersaaten zu erwarten. Nach einem ersten Knautgrasschnitt ist auch der Anbau von Mais bzw. früh reifenden Sudangras-Hybriden als Zweitfrucht möglich (Abb. 3).

Der Anbau von Wintergetreide für die Ganzpflanzennutzung eignet sich als Vorfrucht für eine zeitige Bodenbearbeitung und Aussaat von Winterraps (Abb. 3). In der beschriebenen Region kann aber durch eine witterungsbedingte sehr frühe Ernte des Ganzpflanzengetreides (z. T. Ende Mai) der Boden fast drei Monate zur Hauptwachstumsperiode brach liegen, was aus ökologischer Sicht als Nachteil zu werten ist. Mit dem Ziel, die Brachzeiten zu minimieren wurden

Fruchtfolgeglieder mit Phacelia bzw. Senf als Stoppelsaaten (jeweils Nutzungsziel Gründüngung) angebaut (Abb. 3). Während Phacelia direkt nach der Ganzpflanzengetreideernte ausgesät wurde, ist für Senf erst ab Anfang August die Aussaat zu empfehlen (Samenpotenzial bei zu früher Aussaat – Folgeverunkrautung in Nachfrucht Mais/Sorghum). Das bedeutet bei letzterem eine Brachezeit von ca. 6 Wochen. Aus ökologischer Sicht (Fauna; Einsparung N-Dünger) wird häufig das Wickroggengemenge Plus (mit Wiesenschwingel) als Anbauoption benannt, um wie beim oben erwähnten Knautgras direkt nach der Ganzpflanzengetreideernte einen flächendeckenden Grasbestand zur Ernte im Herbst zu gewährleisten. Im Versuch wie in der Praxis besteht das Risiko der Lageranfälligkeit mit erschwerten Erntebedingungen des Wickroggens. Als ein weiterer Nachteil des Wickroggens wurde die höhere Gefahr von „Wildtötungen“ bei der Ernte gegenüber Ganzpflanzengetreide diskutiert. Der in der Mischung vorhandene Wiesenschwingel war bis zum Herbst 2014 nicht erntewürdig. Der flächendeckende Bewuchs (Gründüngung) trägt allerdings zur Nährstoffakkumulation in der Sickerperiode bei und kann bei entsprechender Bestandsführung im Frühjahr geerntet werden.

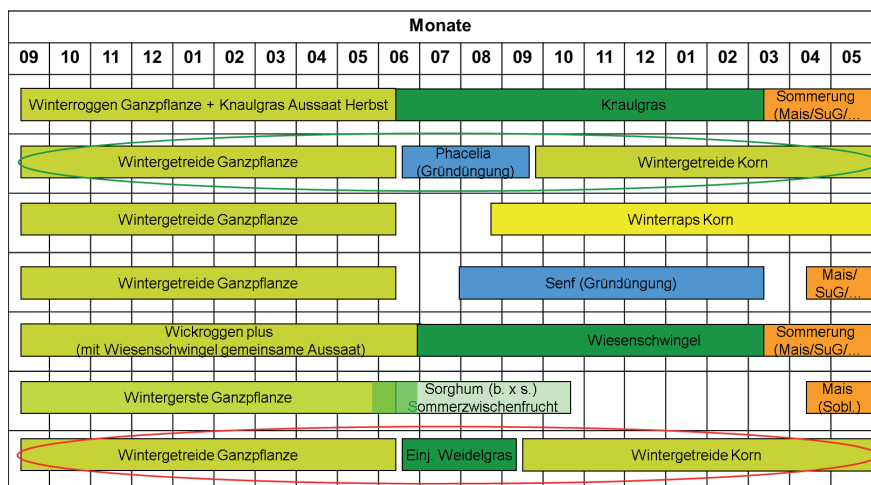


Abb.3: Ganzpflanzengetreide – Einordnung in Fruchtfolgen, Fokus Nachfrucht aus Sicht der trocken-warmen diluvialen Böden des ostdeutschen Tieflandes

Der Sommerzwischenfruchtanbau von Sudangras-Hybriden nach Ganzpflanzengetreide ist nur bedingt zu empfehlen (hohes Risiko einer ausreichenden

Etablierung bei Trockenheit, ertragsunsicher, unzureichende TM-Gehalte zur Ernte z. B. 2010). Bei optimaler Jahreswitterung 2014 konnten hingegen auch mit dieser Anbauoption mit ca. 130 dt TM/ha sehr hohe TM-Erträge bei 32 % TM erreicht werden (vgl. Hauptfrucht Sudangrashybride 2014: 154 dt TM/ha). Aus ökonomischer (Ertrag) und ökologischer Sicht (schlechte Energieeffizienz, ungünstigere Treibhausgasbilanz) ist das Einjährige Weidelgras als Stoppelsaat in der dargestellten Region nicht zu empfehlen – vgl. Kornatz, Aurbacher und Dunkel (2013), Peter (2013). Zusammenfassend sind für die trocken-warmen diluvialen Böden des ostdeutschen Tieflandes nach der Ganzpflanzenernte die Nachfrüchte: Phacelia Gründüngung / Marktfruchtgetreide sowie bei nicht zu früher Getreideganzpflanzenernte Winterraps zu empfehlen.

4. Zusammenfassung

Im Mittel der Jahre konnte Winterroggen mit den höchsten Ganzpflanzenerträgen, insbesondere in trockenen Frühjahren auf diluvialen Böden des ostdeutschen Tieflandes überzeugen. Geringere Methanausbeuten für Winterroggen als bei Wintertriticale (Plogsties et al., 2015) werden durch die Ertragsicherheit kompensiert. Für die beschriebene Region wird ökonomisch bisher Winterroggen nach Mais noch vor anderen getesteten Arten zur Ganzpflanzennutzung eingeordnet (Kornatz et al., 2013).

Für die Ganzpflanzennutzung sind ebenso wie für die Körnernutzung die optimalen Getreideaussaattermine einzuhalten (Grünschnittroggen und Wintergerste: 15. bis 25.09., Winterroggen und -triticale: 15.09.-05.10. bzw. für bessere Böden, d. h. Ackerzahl > 40 Winterweizen 20.09.-10.10.). In Abhängigkeit von der Fruchtfolge, Arbeitskapazität und Bodenbearbeitung ist die Aussaat bis Ende September anzustreben, um saatzeitbedingte Ertragsverluste zu vermeiden. Derzeitig werden noch folgende Aussaatmengen für die diluvialen Standorte Nordostdeutschlands empfohlen: Winterroggen = ca. 220, Grünschnittroggen und -triticale = ca. 300, Wintergerste = ca. 320, Winterweizen = ca. 350 Körner/m². Bei frühen Aussaatterminen Mitte September kann mit einer reduzierten Saatstärke von 80 % das gleiche Ertragsniveau der ortsüblichen Variante erreicht werden. Das entspricht für Winterroggen = ca. 175 bzw. Wintertriticale = ca. 240 Körner/m².

5. Literaturangaben

- Ebel, G., Barthelmes, G., Adam L., 2009: Energie aus Getreide – Ganzpflanzen-
nutzung zur Biogaserzeugung. Neue Landwirtschaft, Berlin 7/2009, S.
50-51.
- Kornatz, P., Aurbacher, J., Dunkel, J., 2013: Entwicklung und Vergleich von
optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion
von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen
Deutschlands. Verbundprojekt EVA 2. Teilprojekt 3: Ökonomische
Begleitforschung (FKZ: 22013208).
- Peter, C., 2013: Treibhausgas- und Energiebilanzen. Persönliche Mitteilung
zum EVA-Teilprojekt 2.
- Plogsties, V., Herrmann, C., Idler, C., Heiermann, M., 2015: 2. Zwischenbericht
des Teilprojektes 4 (FKZ: 22006312) „Ermittlung des Einflusses der Sub-
stratqualität auf die Biogasausbeute“ im Rahmen des Verbundvorhabens
„Standortangepasste Anbausysteme für die Produktion von Energie-
pflanzen – EVA3“.

Danksagung

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Verbundvorhaben: „Entwicklung und
Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Pro-
duktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen
Deutschlands“ (EVA) und „Nachhaltige Ganzpflanzengetreideproduktion“
– Koordinator: TLL Jena - wurden mit Mitteln des BMEL gefördert. Der Projekt-
träger ist die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FKZ: 22002305,
22013008, 22006012 bzw. 22012908, 22016811). Internetseite: [http://www.
eva-verbund.de](http://www.eva-verbund.de); www.fnr-server.de/ftp/pdf/berichte/220116811.pdf . Die Ver-
antwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Spurenelementgehalte in Fleckviehkühen: Ergebnisse aus Ganzkörperanalysen

M. Steyer¹, T. Etle¹, H. Spiekers¹, M. Schuster², S. Mikolajewski², M. Rodehutscord³

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Grub/Freising, ³Universität Hohenheim, Institut für Nutztierwissenschaften

1. Einleitung

Für die faktorielle Ableitung des Bedarfes und die Bilanzierung zur Abschätzung der Nährstoffausscheidungen sind Angaben zum Gehalt an Spurenelementen im Ansatz der Nutztiere erforderlich. Es ist anzunehmen, dass sich die Körperzusammensetzung von Milchkühen als Folge des züchterischen Fortschrittes und als Folge des Anstieges der Lebendmasse über die Jahre verändert hat. Dies könnte auch den Gehalt an Mineralstoffen betreffen. Zur Absicherung der Versorgungsempfehlungen und zur Kalkulation der zu erwartenden Nährstoffausscheidungen sind jedoch aktuelle Daten erforderlich. Da solche insbesondere für Fleckviehkühe nicht existieren, wurden vorliegend entsprechende Ganzkörperanalysen vorgenommen.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchungen standen 30 nicht trächtige Fleckviehkühe zur Verfügung. Da der Fokus der Studie auf dem Zusammenhang zwischen Body Condition Score (BCS) und Fettgehalt der Tiere lag, wurden gezielt Tiere ausgewählt, die einen weiten Bereich an Körpergewicht (416-869 kg) und Körperkondition (BCS 1,75-5,00) abdeckten (Steyer et al., 2012, 2013). Um etwaige Einflüsse des Wachstums zu minimieren, wurden ausschließlich mehrkalbige Kühe (2. bis 8. Laktation) für die Untersuchung ausgewählt. Von den 30 Kühen waren 8 bereits trocken gestellt, 22 Kühe befanden sich im Mittel am 196. Laktationstag (52. bis 524. Laktationstag). Die mittlere Lebensjahresleistung aller Kühe lag bei 8014 kg Milch.

Am Tag der Schlachtung wurden die Kühe nach der morgendlichen Melkung zum Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Grub verbracht und bis zur Schlachtung für etwa 4 Stunden in Einzelboxen untergebracht. Die Kühe wurden mit einem Bolzenschussapparat betäubt und anschließend ausgeblutet. Während der Schlachtung wurden die Tierkörper in verschiedene Fraktionen zerlegt, die verwogen und in separaten Chargen weiterbearbeitet wurden. Am Schlachttag umfassten die Chargen das Euter, den Gastrointestinaltrakt (GIT), die Leber inklusive Gallenblase, das Nierenfett und die übrigen Innereien zusammen mit dem Blut. Der GIT wurde verwogen, anschließend geleert, gespült und abermals verwogen. Die Haut wurde mit einer praxisüblichen Häutungsmaschine vom Schlachtkörper getrennt, so dass sich Teile des Unterhautfettes sowohl am Schlachtkörper als auch an der Haut befanden. Nach dem Verwiegen wurden die Haut und der Schlachtkörper mittig entlang des Aalstriches in zwei Hälften geteilt. Die rechte Hälfte der Haut wurde abermals verwogen und bis zur weiteren Verarbeitung bei -18 °C gelagert. Die rechten Hälften des Schlachtkörpers und des Kopfes, die unterhalb des Karpalgelenkes abgeschnittenen rechten Füße sowie der Schwanz wurden nach dem Verwiegen bis zur weiteren Bearbeitung bei 4 °C gelagert. Die verbleibenden Körperteile wurden in drei Teile aufgeteilt: Fleisch mit anhängendem Gewebe, Weichgewebe des Schwanzes und Knochen. Die Knochen wurden zu faustgroßen Stücken zersägt und bis zur weiteren Aufarbeitung bei -18 °C aufbewahrt. Alle weichen Gewebeteile wurden zweimalig durch einen Fleischwolf (EW 114, K+G Wetter, Biedenkopf-Breidenstein) gedreht. Die Haut wurde mit Hilfe eines Kutters (LAD 35a, Sachsenwerk Niedersiedlitz-Dresden) zerkleinert und die Knochen mit einer Knochenmühle (P 46, Siepman GmbH, Herdecke) vermahlen. Nach der Zerkleinerung wurden die Einzelfraktionen sorgfältig gemischt und beprobt.

Nach weiterer Vermahlung und Homogenisierung der Proben in einer Messermühle (Retsch Grindomix GM 200) bzw. in einer Zentrifugalmühle (Retsch ZM 200) erfolgte die Spurenelementanalytik an Proben der Teilfraktionen GIT (entleert, gespült), Organe + Blut, Fleischpartien, Euter, Haut, Knochen, Leber, Nierentalg und Schwanz. Die Analysenproben wurden nach Zusatz einer Mischung aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid unter Druck im Mikrowellenofen aufgeschlossen und die Elemente Kupfer, Zink und Eisen mittels Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-OES) analysiert. Dabei ergeben sich die Gehalte im Leerkörper aus den aufsummierten Massen der jeweiligen Teilfraktionen, multipliziert mit den an den Teilfraktionen analysierten Gehalten. Da in der Literatur

der Bezug der Mineralstoffgehalte zur Trockenmasse (TM) überwiegt (andere: je kg Asche, Frischmasse), werden zur besseren Vergleichbarkeit vorliegend ebenfalls die Gehalte in der TM dargestellt. In den Tabellen sind jeweils der Mittelwert (MW), die Standardabweichung (SD) sowie die Minimal- (Min) und Maximalwerte (Max) ausgewiesen.

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die Spurenelementgehalte je kg TM sowie die gesamte Masse an Spurenelementen in den untersuchten Körperfraktionen dargestellt. Die Cu-Konzentration in den Muskeln liegt mit 9,8 mg/kg TM auf einem hohen Niveau, verglichen mit Literaturangaben, welche sich für Rinder in einem Bereich von 2,5 bis 5,5 mg/kg TM (Ammermann et al., 1974, Chang et al., 1992, Kirchgessner et al., 1994) befinden. Vergleichbar hohe Konzentrationen im Muskel wurden bei ganz jungen Kälbern (Kirchgeßner und Neeße, 1976) bzw. bei Fe-supplementierten Kälbern (Standish et al., 1971) beobachtet. Die im vorliegenden Versuch ermittelten Fe-Konzentrationen im Muskelgewebe entsprechen denen von Ammermann et al. (1974), liegen aber insgesamt auf einem eher hohem Niveau (61 bis 91 mg/kg TM, Chang et al., 1992, Doyle und Spaulding, 1978, Kirchgessner et al., 1994). Im Gegensatz dazu sind die Zn-Gehalte als vergleichsweise niedrig einzustufen (Alonso et al., 2000, Ammermann et al., 1974, Chang et al., 1992, Kirchgessner et al., 1994, Standish et al., 1971). Eine Ursache für die Unterschiede zwischen den Konzentrationen in der vorliegenden Arbeit und den Literaturangaben dürfte sein, dass in vorliegender Arbeit nicht das reine Muskelgewebe, sondern (bedingt durch die Vorgehensweise bei der Schlachtung) das Muskelgewebe samt anhaftendem Gewebe (Unterhautfett, Sehnen etc.) analysiert wurde. Dagegen spricht bei den Elementen Cu und Fe, dass die Konzentrationen der betreffenden Spurenelemente sowohl im Fettgewebe (Kirchgeßner und Neeße, 1976) als auch in den Sehnen (Kirchgessner et al., 1994) geringer sind und daher ein Verdünnungseffekt zu erwarten gewesen wäre.

Für die Beurteilung der Spurenelementkonzentrationen der Knochen (Tab. 1) liegen keine entsprechenden Vergleichswerte für Kühe vor. Insgesamt sind die Ergebnisse für Cu und Zn aber mit Konzentrationen in Fleckviehbullen (Kirchgessner et al., 1994) und Mastkälbern (Kirchgeßner und Neeße, 1976) vergleichbar.

Tab. 1: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Spurenelementen in den untersuchten Körperfraktionen

	Mineralstoffkonzentrationen (mg/kg)				Masse an Mineralstoffen (mg/Fraktion und Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Muskeln und anhaftendes Gewebe								
Cu	9,8	2,1	6,3	14,7	1.234	333	419	1.853
Fe	127,9	30,1	84,5	206,4	15.778	3.154	6.453	21.255
Zn	115,9	22,6	81,6	170,6	14.579	3.731	5.893	22.777
Knochen								
Cu	3,6	1,1	1,0	6,3	184	48	70	298
Fe	93,9	44,1	40,7	211,5	4.892	2.397	2.202	11.130
Zn	77,5	10,2	60,0	104,0	4.038	780	2.464	5.877
Magen-Darmtrakt								
Cu	6,6	4,2	2,2	22,5	148	72	39	287
Fe	399,2	291,1	85,7	1.586,0	8.426	4.344	2.453	19.721
Zn	49,0	21,5	15,7	121,1	1.089	407	512	2.218
Organe + Blut								
Cu	15,4	5,0	4,7	24,5	206	70	71	344
Fe	1.158,8	318,7	79,6	1.565,7	15.710	5.268	1.220	23.643
Zn	42,8	14,8	27,2	94,2	579	257	283	1.626
Haut								
Cu	9,4	2,2	4,3	14,6	214	65	94	359
Fe	117,0	47,1	60,8	250,6	2.689	1.220	1.254	5.304
Zn	44,8	10,9	22,8	67,3	1.032	347	453	2.010
Leber								
Cu	438,8	152,6	113,3	875,6	1.258	415	134	2.191
Fe	351,3	106,2	234,6	727,3	967	172	714	1.342
Zn	150,1	55,2	111,7	389,3	422	126	148	719

Dementgegen stehen die vergleichsweise hohen Fe-Konzentrationen im Knochengewebe (94 mg/kg TM) der vorliegenden Untersuchung, die zusätzlich durch eine hohe Streuung (41-211 mg/kg TM) gekennzeichnet sind. Kirchgessner et al. (1994) fanden in den Knochen von 575-650 kg schweren Fleckviehbulen etwa 48 mg Fe/kg TM, wobei die Konzentration im Verlauf der Mast abnahm. Auch Schafe weisen im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Unter-

suchung ca. 50 % niedrigere Fe-Konzentrationen in den Knochen auf (Doyle und Spaulding, 1978). Ein methodisch bedingter Fe-Eintrag in das Gewebe in Form von Abrieb, kann als Ursache für die erhöhten Fe-Gehalte nicht ausgeschlossen werden, da das Knochenmaterial sehr widerstandsfähig war.

Die Fraktionen Magen-Darmtrakt und Organe + Blut (Tab. 1) verfügen im Vergleich zu den übrigen Körperteilen über geringe Zn-Konzentrationen (49 bzw. 43 mg/kg TM) und hohe Fe-Gehalte (399 bzw. 1159 mg/kg TM). Auffällig ist die unerklärt hohe Streuung der Fe-Konzentrationen sowohl im Magen-Darmtrakt der Kühe (86-1586 mg/kg TM), als auch in der Fraktion Organe + Blut (80-1566 mg/kg TM). Die hohe Fe-Konzentration in der Fraktion Organe + Blut ist durch den Fe-Eintrag aus dem Hämoglobin zu begründen. Kirchgessner et al. (1994) ermittelten Fe-Gehalte in Organen und Magen-Darmtrakt von Mastbulen je nach Energieversorgung von 178 bis 264 mg/kg TM. Da das Blut in der vorliegenden Untersuchung methodisch bedingt zusammen mit den Organen analysiert wurde, ist die entsprechende Fe-Konzentration auf einem deutlich höheren Niveau. Dagegen sind die Cu-Gehalte der entsprechenden Fraktionen im Vergleich zu der genannten Studie (30 mg/kg TM) eher gering, da die Leber als Cu-Speicherorgan in der vorliegenden Untersuchung getrennt verarbeitet wurde.

Die Konzentrationen in der Haut (Tab. 1) der Kühe der vorliegenden Studie sind für das Element Zn mit den Angaben von Kirchgessner et al. (1994) für Mastbulen vergleichbar, während die Gehalte von Cu und Fe 92 % bzw. 62 % höher liegen. Die Gehalte aller drei Elemente sind in der Haut von Schafen (ohne Wolle, Grace, 1983) geringer.

Im Vergleich der untersuchten Chargen zeigt die Leber mit 439 und 150 mg/kg TM die höchsten Konzentrationen für Cu und Zn und bestätigt damit ihre Funktion als Speicherorgan für die betreffenden Elemente (Tab. 1). Dabei liegt die mittlere Cu-Konzentration der vorliegenden Studie deutlich über den von Ammermann et al. (1974), Standish et al. (1971), Chang et al. (1992) und Litledike et al. (1995) berichteten Mittelwerten für Rinder, die zwischen 21 und 248 mg/kg TM liegen. In ihrem Review kommen Doyle und Spaulding (1978) zu dem Schluss, dass normale Cu-Konzentrationen in der Leber von Rindern bei ca. 270 (200-300) mg/kg TM liegen. Dies lässt auf eine hohe Cu-Versorgung der Kühe im vorliegenden Versuch schließen, da die hepatische Kupferkonzentration als Indikator für den Versorgungsstatus von Tieren gilt (Bidewell et al.,

2012). Da die Spurenelementversorgung der Tiere vor der Schlachtung nicht untersucht wurde, kann hier nur spekuliert werden. Insgesamt sind die Konzentrationen noch nicht als toxisch zu bezeichnen, allerdings wiesen vereinzelte Tiere Cu-Gehalte über dem entsprechenden Referenzwert auf ($n = 6$, > 508 mg/kg TM, Bidewell et al., 2012). Die Zn-Gehalte der Leber reihen sich im oberen Bereich der Literaturbefunde für Kühe ein, während die Fe-Konzentrationen um 45 bis 60 % erhöht sind (Ammermann et al, 1974, Erdogan et al., 2004, Littledike et al., 1995, Doyle und Spaulding, 1978).

Tab. 2: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Spurenelementen in der Leerkörpermasse

	Mineralstoffkonzentrationen (mg/kg)				Masse an Mineralstoffen (mg/Tier)			
	MW	SD	Min	Max	MW	SD	Min	Max
Cu	13,1	3,1	8,3	23,7	3.334	710	988	4.627
Fe	195,7	42,2	127,8	320,7	49.197	8.364	24.626	67.086
Zn	87,0	13,0	63,7	115,2	22.353	4.989	9.997	33.606

Tabelle 2 zeigt die Konzentration (in der TM) sowie die gesamte Masse an Spurenelementen in der Leerkörpermasse. In Übereinstimmung mit Literaturergebnissen ist Fe mit 49,2 g das häufigste der drei untersuchten Spurenelemente im Körper, gefolgt von Zn (22,4 g) und Cu (3,3 g). Die Konzentrationen (in der Frischmasse) von Cu, Fe und Zn lagen im Mittel bei 5,2; 77,1 bzw. 34,6 mg/kg. Demnach entspricht das Element Fe nicht der Definition von Spurenelementen, die eine festgelegte Konzentration von weniger als 50 mg/kg Körpermasse aufweisen. Die ermittelte Gesamtmenge an Zn ist mit der von 575 bzw. 650 kg schweren Jungbullen der Rasse Fleckvieh vergleichbar, die Massen an Cu und Fe hingegen übertreffen die Gehalte um mehr als das doppelte (Kirchgessner et al., 1994). Die hohe Cu-Mengen der vorliegenden Studie sind dabei auf den Eintrag aus der Leber bzw. die vergleichsweise hohe Konzentration im Muskelgewebe zurückzuführen. Die hohen Fe-Mengen ergeben sich ebenfalls hauptsächlich durch die erhöhten Konzentrationen im Muskelgewebe, welches auf Grund seines hohen Anteils am Gesamtkörper einen erheblichen Einfluss auf dessen Zusammensetzung hat. Der Cu-Gehalt/kg Zuwachs liegt bei wachsenden Rindern je nach Cu-Zufuhr zwischen 0,5 und 2,2 mg (GfE, 2001, Kirchgessner et al., 1994). Bei der Regression der Spurenelementmengen auf die Lebendmasse der Kühe ergibt sich ein Cu-Gehalt von 5,1 mg/kg Zuwachs ($R^2 = 0,52$), bedingt durch die hohen Cu-Konzentrationen in der Leber. Die in der vorliegenden Studie errechneten Gehalte im Zuwachs von Fe (61,1 mg/kg, $R^2 = 0,54$)

und Zn (41,3 mg/kg, $R^2 = 0,70$) passen besser zu den Angaben für wachsende Rinder (48 mg/kg für Fe und 40 mg/kg für Zn, Kirchgessner et al., 1994). Dieser Vergleich der Spurenelementgehalte im Ansatz von ausgewachsenen Milchkühen und wachsenden Rindern ist allerdings auf Grund von Verschiebungen der einzelnen Gewebefractionen im Wachstumsverlauf nur bedingt zulässig. Die erhöhten Konzentrationen der analysierten Spurenelemente könnten auch durch den Einsatz moderner Aufschlussverfahren und sensitiver Messtechnik (ICP-OES) bedingt sein. Insgesamt wurden in den einzelnen Fraktionen hohe Gehalte an Spurenelementen (z. B. Cu in der Leber) gefunden, die auch für die Humanernährung Relevanz haben könnten. Zur näheren Einschätzung und als Grundlage für die Einschätzung des Bedarfs, sind weitere gezielte Untersuchungen in Abhängigkeit der Versorgungssituation zu empfehlen.

4. Literaturangaben

- Alonso, M.L., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F., 2000: Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *Sci Total Environ* 246, 237-248.
- Ammerman, C.B., Loaiza, J.M., Blue, W.G., Gamble, J.F., Martin, F.G., 1974: Mineral composition of tissues from beef cattle under grazing conditions in Panama. *J. Dairy Sci.* 38(1), 158-162.
- Bidewell, C.A., Drew, J.R., Payne, J.H., Sayers, A.R., Higgins, R.J., Livesey, C.T., 2012: Case study of copper poisoning in a British dairy herd. *Vet. Rec.* 170, 464-468.
- Chang, X., Mowat, D.N., Spiers, G.A., 1992: Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. *Can. J. Anim. Sci.* 72, 663-669.
- Doyle, J.J., Spaulding, J.E., 1978: Toxic and essential trace elements in meat - a review. *J. Anim. Sci.* 47(2), 398-419.
- Erdogan, S., Celik, S., Erdogan, Z., 2004: Seasonal and locational effects on serum, milk, liver and kidney chromium, manganese, copper, zinc, and iron concentrations of dairy cows. *Biol. Trace Elem. Res.* 98, 51-61.
- GfE, 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Grace, N.D., 1983: Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in the grazing sheep. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 26(1), 59-70.

- Littlelike, E.T., Wittum, T.E., Jenkins, T.G., 1995: Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 2113-2119.
- Kirchgeßner, M., Neeße, K.R., 1976: Kupfer-, Mangan- und Zinkgehalte im Ganzkörper und einzelnen Teilstücken unterschiedlich schwerer Mastkälber. *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.* 161, 1-6.
- Kirchgessner, M., Heindl, U., Schwarz, F.J., 1994: Gehalte und Ansatz von Spurenelementen in Geweben und Ganzkörper von wachsenden Jungbullen der Rasse Fleckvieh. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 72, 260-271.
- Standish, J.F., Ammerman, C.B. Palmer, A.Z., Simpson, C.F., 1971: Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. *J. Anim. Sci.* 33(1), 171-178.
- Steyer, M., Ettle, T., Spiekers, H., Rodehütschord, M., 2012: Body composition of Simmental cows and the relation of fat content to body condition parameters. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*, 21, 83.
- Steyer, M., Ettle, T., Spiekers, H., Rodehütschord, M., 2013: Prüfung der Aussagekraft von BCS und Rückenfettdicke bei Fleckviehkühen mittels Ganzkörperanalyse. *Tierärztl. Umschau* 68, 322-328.

Keimbelastung von Hafer aus den Landessortenversuchen

W. Wagner¹

¹LTZ Augustenberg, Karlsruhe

1. Hintergrund der Studie

Die vorliegende Studie beschreibt die mikrobiologische Belastung von Hafer aus den Landessortenversuchen (LSV) in Baden-Württemberg. Hierbei wurden Proben aus den Jahren 2012-2014 mikrobiologisch untersucht und die Ergebnisse in Hinblick auf den Einsatz als Futtermittel statistisch ausgewertet und mit den mikrobiologischen Orientierungswerten des VDLUFA verglichen.

Die definierten Bedingungen der LSV lassen es im Gegensatz zu üblichen Untersuchungsproben zu, viele relevante Einzelheiten der Proben zurückzufolgen und mögliche Unterschiede einzelner Gruppen zu erkennen. Auf diese Weise wurden 24 Hafersorten an sieben Standorten mit insgesamt 315 Proben untersucht und ausgewertet. Verglichen wurden klimatische Regionen, Sorten, Lagerungsdauer, der Unterschied zwischen konventionellen und ökologischen Anbauverfahren, sowie Veränderungen von Jahr zu Jahr.

2. Material und Methoden

In den Jahren 2012-2014 wurde Sommerhafer (*Avena sativa*) von repräsentativen Standorten in Baden-Württemberg im Rahmen der Landessortenversuche untersucht, die in folgende Boden-Klima-Räume eingeteilt wurden: a) Wärmelagen (Rheinebene und Nebentäler: >9,1 °C,; Grötzingen); b) Mittellagen (Hochrhein-Bodensee, Oberes Gäu: 8-9,1 °C, Hohenheim, Tailfingen); c) Höhenlagen (Schwäbische Alb, Baar: <8 °C, Döggingen, Maßhalderbuch, Eiselau); d) Tertiärhügelland/bayerisches Gäu (7,2 °C, Krauchenwies).

Unterschiedliche Sorten wurden konventionell oder ökologisch angebaut, d. h. unter Verzicht synthetischer Düngemittel oder Pflanzenschutzmittel. Nach der Ernte wurden repräsentative Proben unmittelbar ans LTZ Augustenberg geschickt und dort bis zur Untersuchung unterschiedlich lange eingelagert.

Die Bestimmung der Keimgehalte erfolgte mit der VDLUFA-Methode MB III 28.1.2; ebenso die morphologische Differenzierung der in MB III 28.1.3 definierten 7 Keimgruppen (KG). Für statistische Ableitungen eigneten sich nur die häufig auftretenden KG, nämlich KG1 (produkttypische Bakterien), KG4 (produkttypische Pilze) und KG7 (Hefen). Daneben gibt es KG2 (Verderb anzeigende Bakterien), KG3 (Verderb anzeigende Streptomyceten), KG5 (Verderb anzeigende Pilze) und KG6 (Verderb anzeigende Mucorales). Die statistischen Ableitungen erfolgten in Excel und in SigmaPlot.

3. Keimbelastung

Die Keimbelastung von Hafer aus den Landessortenversuchen zeigt ein für Futtermittel typisches Muster: Produkttypische Bakterien (KG1), produkttypische Schimmel- und Schwärzepilze (KG4) sowie Hefen (KG7) sind die vorherrschenden Keimgruppen, die in über 96 % der Proben vertreten sind (Abb. 1). Die Höhe der Keimzahlen ist dabei über alle Proben annähernd logarithmisch normalverteilt.

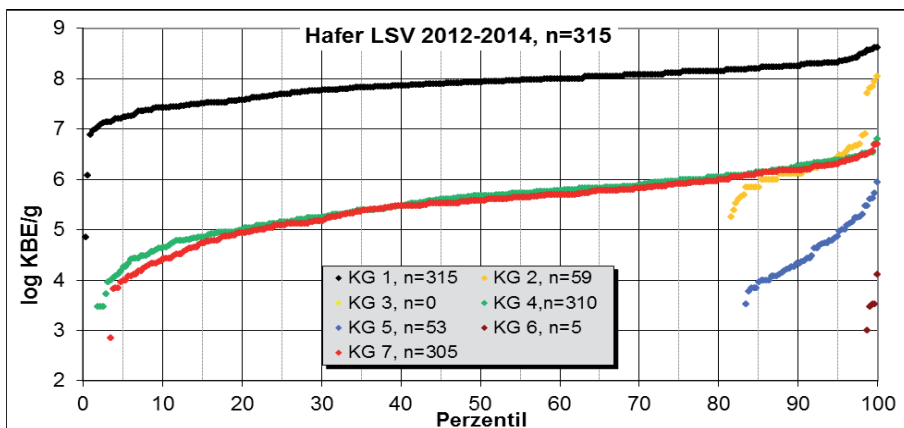


Abb. 1: Darstellung der Keimzahlen aller Proben und Keimgruppen, aufsteigend sortiert in Form von Perzentilen. Beispiel zum Verständnis: 53 von 315 Proben wiesen bei KG5 Keimgehalte auf. Die restlichen 262 Werte liegen unterhalb der gewählten Nachweisgrenze (fallweise 1×10^3 oder 1×10^4 KBE/g)

Demgegenüber kommen die restlichen vier Verderb anzeigenden Keimgruppen nur in relativ wenigen Proben vor, und zwar Bacillen/Kokken bzw. Aspergillen/Penicillien in jeweils ca. jeder sechsten Probe, Mucorales zu 2 %, während Streptomyceten gar nicht gefunden wurden. Siehe auch Tabelle 2.

Nennenswerte Unterschiede von Sorte zu Sorte wurden nicht festgestellt.

4. Ökologischer Anbau und Pflanzenschutzmittel

Zunächst wurde untersucht, wie sich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im konventionellen Anbau auf das spätere Erntegut mikrobiologisch auswirkt. Hierbei zeigte sich, dass der Einsatz von Behandlungsmitteln (optimierte Variante) im Vergleich zu dessen weitgehendem Verzicht (reduzierte Variante) keine Auswirkung auf die Keimzahlen der untersuchten drei Keimgruppen hat (n = 131 Doppelproben, ohne Abb.).

Proben aus dem ökologischen Anbau sind im Unterschied dazu jedoch signifikant höher mit Bakterien und Pilzen belastet (Abb. 2). Während beide Anbauvarianten ähnliche mikrobiologische Höchstgehalte aufweisen, erreichen manche Proben aus dem konventionellen Anbau Keimzahlen, die sich um eine Zehnerpotenz unterhalb der ökologischen Variante bewegen.

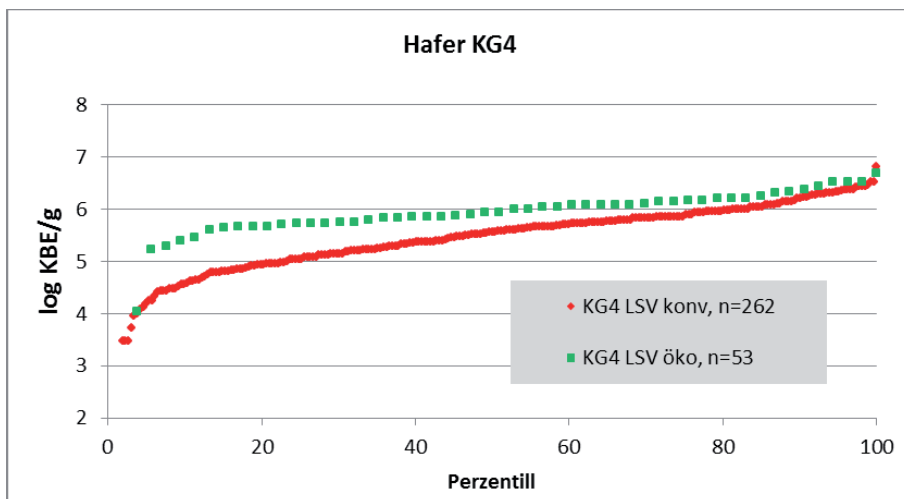


Abb.2: Keimzahlen produkttypischer Schimmel- und Schwärzepilze (KG4) von Proben aus konventionellem und ökologischem Anbau im Vergleich. Ein vergleichbares Verteilungsmuster ergibt sich bei KG1 (produkttypische Bakterien) und KG7 (Hefen).

5. Einfluss von Klima und Standort

Die Keimzahlen unterschieden sich von Jahr zu Jahr nur sehr geringfügig. Eine Ausnahme bildeten die Pilze (KG4+7) im Jahr 2014 mit etwas niedrigeren Keimgehalten. Dies könnte an dem Sonderfall liegen, dass in diesem Jahr keine Proben aus dem ökologischen Anbau untersucht wurden, die wie in Kapitel 4 gezeigt tendenziell mehr belastet sind.

Im Vergleich der einzelnen Standorte ergaben sich beim Median teilweise Unterschiede im Bereich einer Zehnerpotenz innerhalb einer Keimgruppe (Tab. 1). Die Bündelung der Standorte nach Boden-Klima-Räumen zeigt hingegen vergleichbare Keimzahlverteilungen bei Wärme-, Mittel- und Höhenlagen (Abb. 3). Proben aus dem Tertiärhügelland sind dagegen deutlich keimärmer.

Tab. 1: Mediane (sowie obere und untere Quartile) der Keimgehalte der häufigsten Keimgruppen in log KBE/g (koloniebildende Einheiten pro g).

Standort	Keimgruppe 1	Keimgruppe 4	Keimgruppe 7
Grötzingen	7,83 (7,76-7,97)	6,08 (5,88-6,42)	6,00 (5,59-6,15)
Tailfingen	8,02 (7,89-8,02)	5,77 (5,36-6,05)	5,64 (5,25-5,94)
Hohenheim	8,00 (7,87-8,13)	5,74 (5,67-5,92)	6,04 (5,77-6,32)
Döggingen	7,85 (7,52-8,08)	5,06 (4,58-5,53)	5,48 (5,08-5,72)
Eiselau	7,98 (7,89-8,18)	5,97 (5,80-6,15)	5,83 (5,61-6,08)
Maßhalderbuch	8,15 (8,02-8,39)	6,08 (5,86-6,20)	5,95 (5,73-6,20)
Krauchenwies	7,61 (7,42-7,81)	5,24 (5,01-5,57)	4,98 (4,52-5,37)

6. Lagerungsdauer

Einen bedeutenden Einfluss auf den Keimgehalt hat die Zeitspanne zwischen Ernte und dem Beginn der Laboruntersuchung. Verglichen wurden hierfür kurze (0-30 Tage, 31-40 Tage), mittlere (41-70 Tage) und lange Zeiträume (71-120 Tage, 121-215 Tage), siehe Abbildung 4. Von einem zunächst hohen Niveau nehmen die Keimzahlen in allen drei untersuchten Keimgruppen mit der Zeit deutlich ab. Der Rückgang fällt bei den produkttypischen Schimmelpilzen (KG4) und den Hefen (KG7) mit einer Zehnerpotenz am deutlichsten aus. Dieser Effekt ist nicht auf die ersten 6-8 Wochen beschränkt, wie man es von der Reifung von Heu oder Silage kennt, sondern ist auch noch zwischen der 17. und 31. Woche klar erkennbar. Die Einhaltung einer Wartezeit vor der Verfütterung ist daher dringend erforderlich.

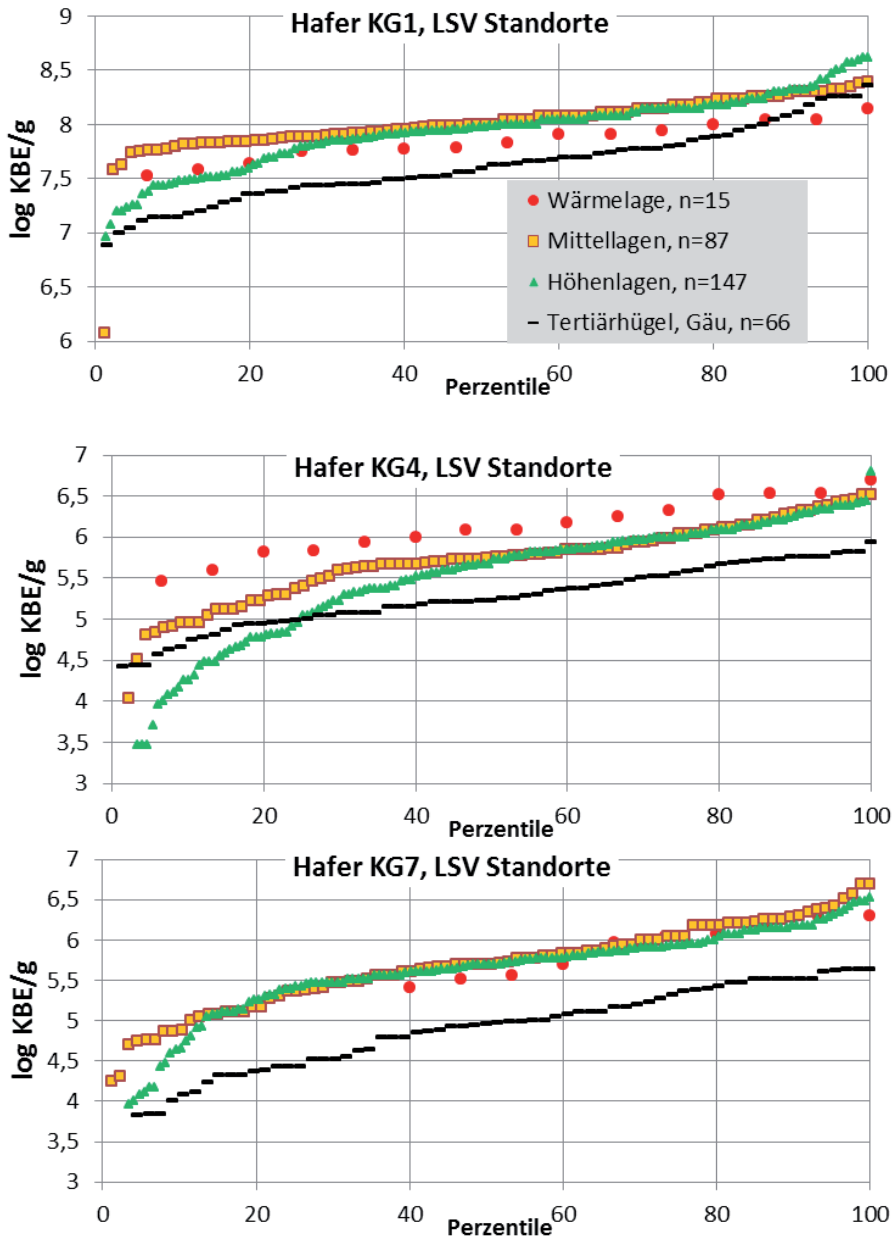


Abb. 3: Einfluss des Standorts auf die Keimzahlen (Standorte gebündelt nach Boden-Klima-Räumen).

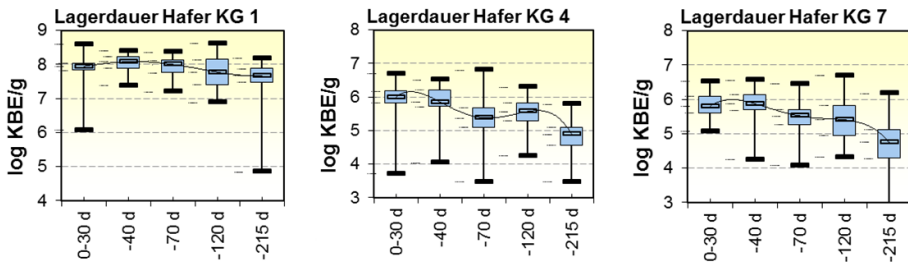


Abb. 4: Keimzahlen repräsentativer Gruppen von Proben, die in Abhängigkeit von der Lagerungsdauer gebildet wurden. Dargestellt sind Boxplots der wichtigsten Keimgruppen mit Medianwerten, oberen und unteren Quartilen, Minimal- und Maximalwerten, sowie Trendlinien. Probenverteilung je Gruppe: n=61, 78, 60, 60, 56; d= Tage

7. Vergleich mit Daten des VDLUFA

Im Jahre 2011 hat der Arbeitskreis Mikrobiologie des VDLUFA seine Orientierungswerte für Hafer aktualisiert. Zugrunde lag hierfür ein Datenkollektiv aus repräsentativen Planproben von 9 Laboren aus den Jahren 2002-2010. Zu den LSV-Proben ergeben sich nun folgende Unterschiede:

Tab. 2: Relativer Anteil an verschiedenen Keimgruppen

Keimgruppe	LSV, n=315	VDLUFA, n=329
KG1	100%	99,7%
KG2	18,7%	46,8%
KG3	0%	6,7%
KG4	98,4%	94,2%
KG5	16,8%	74,8%
KG6	1,6%	21,3%
KG7	96,8%	91,2%

Der Anteil an Proben mit Verderb anzeigenden Keimgruppen liegt beim VDLUFA-Kollektiv deutlich höher (Tab. 2). Dies ist auf unterschiedliche Faktoren wie der Lagerung zurückzuführen.

Legt man die Orientierungswerte als Maßstab zur Beurteilung der mikrobiologischen Qualität an, fallen 13,3 % der LSV-Proben in Qualitätsstufe IV (nicht

mehr verkehrsfähig), wobei dies vor allem die KG4 und KG7 verursachen. Beim VDLUFA-Kollektiv sind dagegen 18,8 % zu beanstanden, was durch die genannten Keimgruppen, aber auch zusätzliche durch KG2 und KG5 hervorgerufen wird.

8. Literaturangaben

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.2, Bestimmung der Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Futtermittel, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.3, Verfahrensanweisung zur Identifizierung von Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen als produkttypische oder verderbanzeigende Indikatorkeime. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Futtermittel, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.4, Verfahrensanweisung zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Futtermittel, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Methodische Aspekte zur Bestimmung der Fettsäurezusammensetzung des equinen Hufhornes als möglicher Parameter zur Beurteilung der Hufhornqualität

A. Sünder¹, N. Gerndt², S. Neumann², F. Liebert¹

¹Department für Nutztierwissenschaften, Tierernährungsphysiologie Georg-August-Universität, Göttingen ²Tierärztliches Institut Georg-August-Universität, Göttingen

1. Einleitung

Die wirtschaftliche Stellung des Pferdes ist in der heutigen Zeit schwerpunktmäßig in den Bereichen des Freizeit- und Hochleistungssportes einzustufen. Für Käufer eines Sportpferdes liegt das besondere Interesse vor allem an einem belastungsfähigen Bewegungsapparat, bei dem auch der Huf eine sehr wichtige Rolle spielt. Nach Zietschmann (1913) schützt ein gesunder Huf mit hartem Horn den distalen Bewegungsapparat vor Verletzungen durch äußere Einflüsse, ist zugleich aber auch elastisch, so dass gleichzeitig eine stoßdämpfende Wirkung entfaltet und so eine Entlastung der mechanisch stark beanspruchten Strukturen der gesamten Gliedmaße garantiert werden kann (Naumann et al., 1987). Die Qualität des jeweiligen Hufhornes wird von verschiedenen exogenen und endogenen Faktoren beeinflusst (Budras und Huskamp, 1995, Reilly, 1995).

Die Hufhornqualität (HQ) ist also ein bedeutsamer Faktor hinsichtlich Beurteilung von sportlicher Eignung und Marktwert eines Sportpferdes, der aktuell nur subjektiv eingeschätzt werden kann. Daten über Zusammenhänge zwischen Zusammensetzung und Qualität des equinen Hufhornes sind kaum verfügbar. Nach Humanstudien spielen Lipide, insbesondere die Fettsäuren (FS), in der Barrierefunktion der Haut eine zentrale Rolle. Der beim Säuger analoge Aufbau der Hornschicht der Haut und distaler Gliedmaßen (Huf, Klaue, Fingernagel, Krallen) projiziert diese Annahme auch auf das Wand- und Sohlenhorn des Pferdes. Vor allem das *Stratum corneum* dient dem Schutz vor Mikroorganismen (Fluhr et al., 2001). Dabei spielen die FS C_{14:0} (Myristinsäure), C_{16:0} (Palmitinsäure), C_{16:1} (Palmitoleinsäure), C_{18:0} (Stearinsäure), C_{18:1} (Ölsäure) und C_{18:2} (Linolsäure) eine bedeutende Rolle (Schneider et al., 1997). Im Gegensatz zur Epidermis von Säugetieren ist das *Stratum corneum* nicht zur Eigensynthese

von freien FS fähig (Schneider et al., 1997). Für das bovine Klauenhorn wurde bereits ein Zusammenhang zwischen Fettsäuremuster (FSM) und Auftreten von Lahmheit bei Milchkühen beschrieben (Offer und Logue, 1998).

Vorliegende Untersuchungen sollten zeigen, inwieweit sich diese Erkenntnisse auf das equine Hufhorn übertragen lassen. Dazu bestand die Notwendigkeit, die etablierte Methode der Bestimmung des FSM von Futtermitteln und Ölen als Fettsäuremethylester (FSME) an die Matrix Hufhorn (*Stratum corneum*) anzupassen.

2. Material und Methoden

Nach Wertz und Downing (1984) war mit einer Gesamtfettausbeute von 1,5-1,9 % in der Trockenmasse zu rechnen. Für die etablierte BF3-Methode (Verestern mit Bortrifluorid, BF₃) wird eine extrahierte Fettmenge von mindestens 200 mg benötigt. Ausgehend von in der Literatur (Wertz und Downing, 1984, Schäfer, 1998, Pütz, 2007) beschriebenen Mehrfachextraktionen (Kaltextraktion oder mittels Soxhlet-Apparatur) unter Verwendung verschiedener Lösungsmittelgemische wurden aus 25 g Hufhornmaterial Fettausbeuten von unter 200 mg (Soxhlet) und sogar unter 100 mg (Kaltextraktion) gefunden.

Aufgrund dieser Resultate aus den Vorversuchen wurde auf die klassische Methode der Rohfettbestimmung (Extraktion mit Petroleumbenzin ohne Salzsäureaufschluss) nach VDLUFA (1997) zurückgegriffen. Unter Anwendung dieser Methode konnte ausreichend Hufhornfett gewonnen werden.

Das so gewonnene reine Hufhornfett wurde mit 30 ml methanolischer KOH versetzt und 30 min auf kochendem Wasserbad unter Rückflusskühlung verseift. Die so entstandene Seifenlösung wurde mit 100 ml Reinstwasser verdünnt, in einen Scheidetrichter überführt und mit 100 ml Petroleumbenzin (30-50 °C) versetzt und geschüttelt. Damit erfolgt eine Reinigung der Seifenlösung. Nach Trennung der beiden Phasen wurde die Seifenlösung durch Wiederholung der vorangegangenen Schritte ein weiteres Mal gereinigt. Nach diesen Reinigungsschritten erfolgte eine Zugabe von verdünnter Salzsäure (v:v, 1:2). Durch Zugabe von 50 ml Petroleumbenzin und Schütteln gehen die Fettsäuren in die Petroleumbenzin-Phase über. Mittels Rotationsverdampfer wurden das FS-Gemisch vollständig vom Lösungsmittel befreit, mit 3 ml BF₃-Lösung versetzt

und 3 min auf einem kochenden Wasserbad unter Rückflusskühlung verestert. Die so entstandenen FSME wurden mit 30 ml Petroleumbenzin aufgenommen, mit 20 ml 1 %iger NaCl-Lösung versetzt und geschüttelt. Dabei gingen die FSME in die Petroleumbenzin-Phase über und konnten anschließend als FS-Muster (FSM; prozentualer Anteil einer einzelnen FS an der Summe aller identifizierten FS) gaschromatographisch (GC-17 A, Fa. Shimadzu) analysiert werden.

Als Referenz dienten hauptsächlich der „Supelco 37 Component FAME Mix“ (CRM47885) sowie mehrere Einzel-FSME-Standards und einige Standards mit diversen FSME-Kombinationen.

Für die Untersuchungen standen insgesamt 24 im Dressursport aktive Pferde (18 Wallache, 6 Stuten) der Rassen Hannoveraner (n = 17) und je ein Oldenburger, Hessisches Warmblut, Schwäbisches Warmblut, Westfale, Trakehner sowie Deutsches Reitpony im Alter von 3-17 Jahren zur Verfügung (das Hufhorn für die Vorversuche wurde von anderen Pferden gewonnen, da das Hufhornmaterial der „Versuchstiere“ nicht ausreichend war). Alle Pferde wurden im gleichen Pensionsstall mit ähnlicher Fütterung, Haltung, Trainingsbelastung, Hufbeslag und Hufpflege gehalten. Die Hufhornproben (*Stratum corneum*; Poolprobe von allen vier Hufen) wurden über einen Zeitraum von acht Wochen durch einen professionellen Hufschmied gewonnen. Letzterer beurteilte auch die Hufqualität und unterteilte die Pferde in fünf verschiedene Hufqualitätsklassen. Aufgrund der analytischen, methodischen Schwerpunktsetzung soll darauf hier nicht weiter eingegangen werden.

Die so gewonnenen Hufhornproben wurden noch vor Ort mechanisch von Verunreinigungen getrennt und bis zur Analyse bei -20 °C gelagert.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels einfaktorieller ANOVA (IBM SPSS Statistics, Vers. 23; Signifikanzgrenze: $p < 0,05$).

3. Ergebnisse und Diskussion

Von insgesamt 24 Pferden konnte sauberes Hufhornmaterial gewonnen werden (20-30 g) und von 23 Tieren waren >200 mg reines Hufhornfett extrahierbar. Dabei wurde mittels o. g. Rohfettbestimmungsmethode im Hufhorn

ein mittlerer Fettgehalt von $0,80 \pm 0,07$ % ($n = 24$) extrahiert (Abb. 1). Somit wurden nur etwa 50 % der auf der Basis von Wertz und Downing (1984) erwarteten Gesamtfettausbeute gefunden. Da in den Vorversuchen auch die Lösungsmittelkombinationen von Wertz und Downing (1984) getestet wurden, mit dem Resultat zu geringer Extraktmengen, lässt sich dieser um etwa 50 % geringere Fettgehalt nicht erklären. Auch Pütz (2007) untersuchte das FSM im Hufhorn, machte aber keine Angaben zum Gesamtfettgehalt.

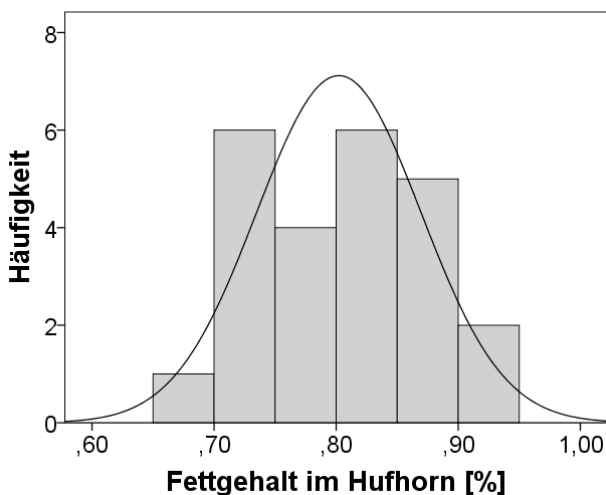


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung mittlerer Fettgehalte der Hufhornproben [%]

Abbildung 2 zeigt ein Chromatogramm eines exemplarisch ausgewählten Hufhorns. Von den registrierten Signalen konnten anhand des Referenzstandards „Supelco 37 Component FAME Mix“ nur 36 Peaks als FS identifiziert werden. Bei neun der 36 FS steht die konkrete Zuordnung noch aus.

Neben erwarteten FS wie Palmitinsäure (C16:0), Stearinsäure (C18:0), Ölsäure (C18:1), Linolsäure (C18:2) oder Linolensäure (C18:3) war das Auftreten von Pelargonsäure (C9:0) oder Margarinsäure (C17:0) im Hufhornfett eher überraschend (Abb. 3). Während Pütz (2007) die Caprinsäure (C10:0) als dominierende FS benennt, konnte diese FS nur mit einem Anteil von etwa 0,2 % gefunden werden. Die von Pütz (2007) als zweithäufigste FS gefundene Stearinsäure (C18:0) wurde in den vorliegenden Untersuchungen mit den höchsten Anteilen

von ca. 24 % am Gesamt-FSM nachgewiesen, gefolgt von der Ölsäure (C18:1) mit etwa 16%, der Palmitinsäure (C16:0) mit 15% und der Linolsäure (C18:2) mit rund 9%.

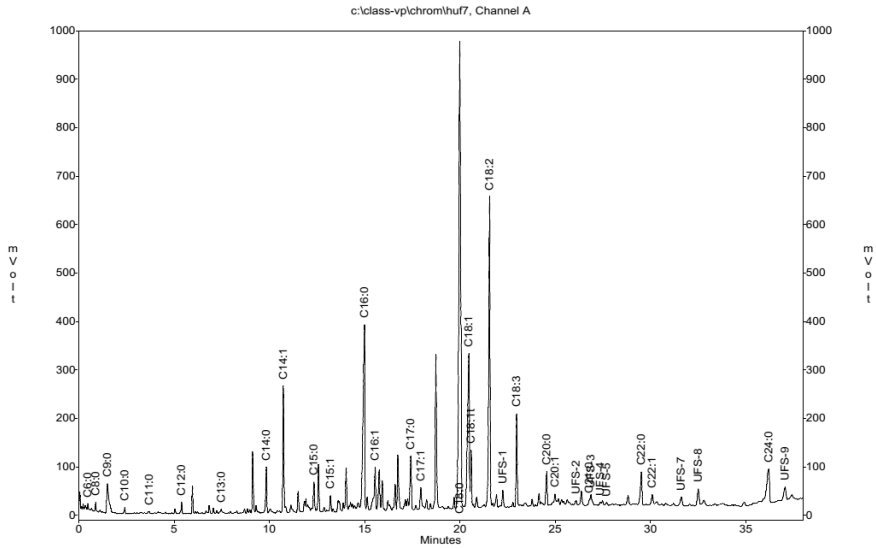


Abb. 2: Chromatogramm einer ausgewählten Hufhornprobe

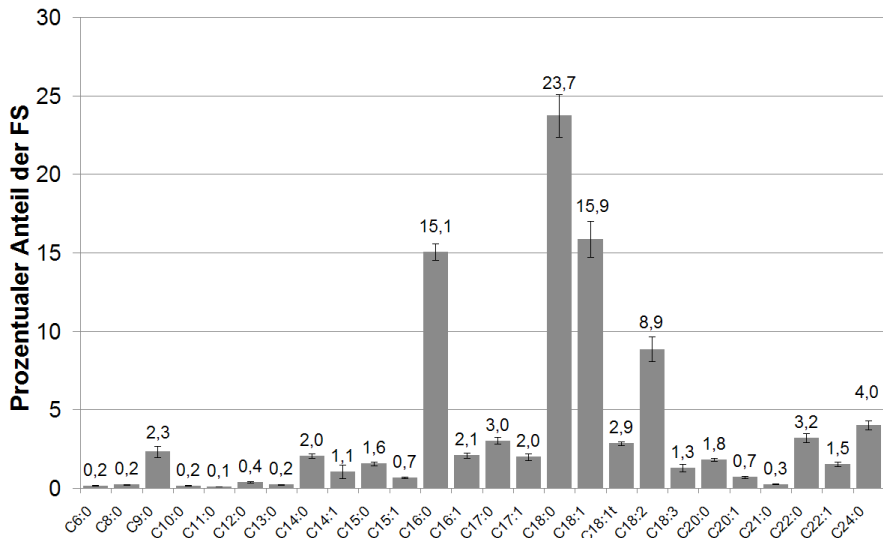


Abb. 2: Mittlere FS-Zusammensetzung [% an Gesamt-FS] aller untersuchten Hufhornproben

Während die ungesättigten FS Palmitoleinsäure (C_{16:1}) und Linolensäure (C_{18:3}) in der vorliegenden Studie mit Anteilen im Mittel von 2,1 % bzw. 1,3 % analysiert wurden, konnte Pütz (2007) diese FS zu keinem Zeitpunkt nachweisen.

Das unerwartete Auftreten von Pelargonsäure und Margarinsäure kann anhand der vorliegenden Untersuchungen nicht vollständig geklärt werden. Erstere ist hauptsächlich ein Bestandteil von pflanzlichen Ölen und aus ihnen hergestellten Kosmetika (Thornfeldt, 1992). Johnson et al. (2009) konnten zeigen, dass sie die menschliche Haut penetrieren kann, sich leicht mit den Lipiden des *Stratum corneum* mischen lässt (Traupe et al., 1998; Tanojo et al., 1999) und neben anderen FS auch einen antifungalen Effekt aufweist (Foley et al., 1947, Chadeganipour und Haims, 2001). Margarinsäure ist in geringen Mengen in Butterfett (Hansen et al., 1957) und Rindertalg zu finden. Es liegt die Vermutung nahe, dass beide FS in Hufpflegemitteln enthalten sein könnten. Dafür spricht, dass vor allem in den Hufen jüngerer und häufiger trainierter Pferde diese FS analysiert werden konnten und bei diesen nach dem Training die Hufe öfter gewaschen und mit Pflegemitteln behandelt wurden.

Insgesamt ergaben sich hinsichtlich FSM größere tierindividuelle Unterschiede. Dennoch deuten sich Zusammenhänge zwischen FSM und Hufqualität an. So zeigten Tiere mit ungenügender HQ signifikant reduzierte Myristinsäureanteile (C_{14:0}), welche eine wichtige Rolle beim Aufbau des *Stratum corneum* spielt (Schneider et al., 1997).

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Anhand der vorliegenden Daten kann die zur Huffettextraktion verwendete Methode der Rohfettbestimmung mit anschließender Verseifung gefolgt von Veresterung mit BF₃ als geeignet eingestuft werden. Als nachteilig stellte sich die hohe einzusetzende Menge an Hufhornmaterial heraus (20-30 g). Hier wäre zu prüfen, inwieweit im Veresterungsschritt Trimethylsulfoniumhydroxid (TMSH) eingesetzt werden könnte, da auf dieser Basis geringere Mengen Ausgangsmaterial notwendig sind (Pütz, 2007).

Weiterhin konnte bei neun von 36 als FS identifizierten Substanzen noch keine konkrete Zuordnung erfolgen. Ebenso sind mehrere Signale zu finden (Abb. 2), die Substanzen mit höheren Anteilen suggerieren, die bislang überhaupt nicht

identifiziert werden konnten. Die Identifikation der noch nicht zugeordneten FS kann mit Einzelstandards erfolgen, die der generell unbekanntenen Peaks übersteigt die derzeit vorhandenen methodischen Möglichkeiten.

Um die Herkunft der FS Pelargonsäure und Margarinsäure zu klären, sollten die im betreffenden Pensionsstall verwendeten Hufpflegemittel untersucht werden.

Aufgrund der hohen individuellen Variabilität der analysierten FSM empfiehlt sich eine erneute Sammlung des Hufhornmaterials der bisher an dieser Studie beteiligten Pferde. Interessant wäre dieser Aspekt vor allem bei einigen wenigen Pferden, deren HQ inzwischen von dem gleichen Hufschmied als deutlich verbessert eingeschätzt wurde. Generell ist die Datenlage zu erweitern, wenn der Parameter FSM als objektives Kriterium zur Beurteilung der HQ zum Einsatz kommen soll.

5. Literaturangaben

- Budras, K.-D., Huskamp, B., 1995: Die Hornqualität des Pferdehufes und deren Verbesserung nach einer orthopädischen Behandlung der Hufrehe. In: KNEZEVIC, P.F. (Hrsg.): Orthopädie bei Huf- und Klauentieren. Stuttgart, Schattauer Verlag, S. 252-268.
- Chadeganipour, M. Haims, A., 2001: Antifungal activities of pelargonic and capric acid on *Microsporum gypseum*. *Mycoses*. 44, 109-112.
- Fluhr, J.W., Kao, J., Jain, M., Ahn, S.K., Feingold, K.R., Elias, P.M., 2001: Generation of Free Fatty Acids from Phospholipids Regulates Stratum Corneum Acidification and Integrity. *J. Invest. Dermatol.* 117, 44-51.
- Foley, E.J., Hermann, F., Lee, S.W., 1947: The Effects of pH on the antifungal activity of fatty acids and other agents. *J. Invest. Dermatol.* 8, 1-3.
- Hansen, R.P., Shorland, F.B., June Cooke, N., 1957: Occurrence in Butterfat of n-Heptadecanoic Acid (Margaric Acid). *Nature* 179, 98.
- Johnson Jr, W., Heldreth, B., Bergfeld, W.F., Belsito, D.V., Klaassen, C.D., Hill, R., Liebler, D., Marks Jr, J.G., Shank, R.C., Slaga, T.J., Snyder, P.W., Andersen, F.A., 2009: Final Report of the Cosmetic Ingredient Review Expert Panel on the Safety Assessment of Pelargonic Acid (Nonanoic Acid) and Nonanoate Esters. *Int. J. Toxicol* 30 (Suppl. 3), 228S-269S.

- Naumann, J., Dietz, O., Prietz, G., 1987: Untersuchungen zur anorganischen Zusammensetzung und zur Stabilität von Huf- und Klauenhorn. Wien. Tierärztl. Monatsschr., 74, 117-121.
- Offer, J.E., Logue, D.N., 1998: The effect of lameness in the dairy cow on the fatty acid profile of claw horn lipids. Luzern, Schweiz, Proceedings of the 10 th International Symposium on Lameness in Ruminants, 7-10 Sept. 1998.
- Pütz, A.C., 2007: Monitoring von saisonalen, haltungs- und domestikationsbedingten Einflüssen auf die Hornqualität des Pferdehufes. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Reilly, J.D., 1995: No Hoof no horse? Equine Vet. J., 27, 166-168.
- Schäfer, K., 1998: Accelerated solvent extraction of lipids for determining the fatty acid composition of biological material. Anal. Chim. Acta 358, 69-77.
- Schneider I.-M., Wohlrab, W., Neubert, R., 1997: Fettsäuren und Epidermis. Hautarzt 48: 303-304.
- Thornfeldt, C.R., 1992: Treatment of Skin diseases and tumors with esters and amides of monocarboxylic acids. US Patent. Cellegy Pharmaceuticals, Inc.
- Traupe, B., Schonrock, U., Wolf, F., 1998: Method for treating skin afflicted with blemishes or acne with a composition comprising distilled wool wax acids and at least one monoglycerol monocarboxylic acid monoester. US Patent. Beiersdorf AG.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1997: Methode 5.1.2 In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wertz, P.W., Downing, D.T., 1984: Cholesteryl sulfate: the major polar lipid of horse hoof. J. Lipid Res. 25.
- Zietzschmann, O., 1913: Zur Gliederung und Nomenklatur der Hufhautteile. Berl. Tierärztl. Wschr., 35, 626-628.

Proteinwerte von am deutschen Markt gehandelten Ergänzungsfuttermitteln für Pferde

K.-H. Grünewald¹, K.-H. Südekum², A. Zeyner³

¹Verein Futtermitteltest (VFT), Bonn; ²Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn; ³Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Halle (Saale)

1. Einleitung

Der Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie hat die Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Pferden in den letzten Jahren überarbeitet und im Herbst 2014 veröffentlicht (GfE, 2014). Darin ist auch ein neues Proteinbewertungssystem eingebunden, welches nicht mehr auf verdaulichem Rohprotein sondern praecaecal verdaulichem Rohprotein (pcvXP) und den wichtigsten essentiellen, praecaecal verdaulichen Aminosäuren (pcvAS) basiert. Bisher liegen sowohl für die in der Fütterung eingesetzten Einzelfuttermittel als auch für industriell hergestellte Mischfuttermittel nur wenige Daten für die neuen Proteinwerte vor.

Neben der Generierung ergänzender Daten für die Einschätzung der Proteinqualität der wichtigsten in der Pferdefütterung eingesetzten Einzelfuttermittel ist auch eine Beurteilung der derzeit gehandelten Mischfuttermittel, hinsichtlich der neuen Proteinbewertung, besonders auch differenziert nach Einsatzbereich, wichtig, um Erfahrungen für die Umsetzung der neuen Empfehlungen in die Praxis zu sammeln.

2. Material und Methoden

Die im Rahmen des VFT-Warentests im Jahr 2014 beprobten und in verschiedenen Laboren untersuchten Mischfuttermittel für Pferde wurden ergänzend auf den Parameter NDLP (Neutral-Detergenzien-lösliches Rohprotein) untersucht. Die Prüfung umfasste 41 Mischfuttermittel, davon 4 für Fohlen, 6 für Stuten und 31 für sonstige Pferde (Pferde in Sport- und Freizeitnutzung). Dies erfolgte im Institut für Tierwissenschaften (ITW) der Universität Bonn nach der zu diesem Zeitpunkt in Abstimmung befindlichen VDLUFA-Methode „Bestim-

mung des Neutral-Detergenzien-löslichen Rohproteins (NDLXP)“ (VDLUFA 2015).

Zur Charakterisierung der in diese Untersuchung einbezogenen Mischfuttermittel sind in Tabelle 1 deren Energie- und Nährstoffgehalte aufgeführt.

Tab. 1: Energie- und Nährstoffgehalte der einbezogenen Mischfuttermittel für Fohlen (n = 4), Stuten (n = 6) sowie sonstige Pferde (n = 31) (Angaben je kg)

Futter für:	DE [MJ]	ME [MJ]	XP [g]	XL [g]	XF [g]	Lys [g]	M+C [g]	Thr [g]	Ca [g]	P [g]
Fohlen										
Ø	11,9	10,4	168	40	63	10,3	6,5	7,1	14,5	7,0
min	11,4	10,0	152	30	50	7,4	4,7	5,8	11,0	5,7
max	12,2	10,8	179	49	80	14,2	8,9	9,1	17,0	8,2
Stuten										
Ø	11,6	10,2	148	35	77	6,4	5,1	5,3	14,3	5,6
min	10,9	9,8	121	31	50	4,8	4,4	4,4	11,3	4,7
max	12,1	10,8	162	41	95	7,3	6,0	5,9	18,2	7,1
sonstige Pferde*										
Ø	10,7	9,6	109	31	133	4,4	3,6	3,8	12,1	4,4
min	8,5	6,8	74	21	41	2,5	2,0	2,4	6,6	2,6
max	12,6	11,4	156	62	254	7,2	5,1	5,6	21,5	6,2

* sonstige Pferde = Pferde in Sport- und Freizeitnutzung

Bei dieser ergänzenden Untersuchung wird im ersten Schritt das fasergebundene, Neutral-Detergenzien-unlösliche Rohprotein (nach GfE, 2014 als NDIXP bezeichnet) bestimmt. Aus der Differenzrechnung von Rohprotein und Neutral-Detergenzien-unlöslichem Rohprotein resultiert der Gehalt an Neutral-Detergenzien-löslichem Rohprotein (NDLXP), welches als potenziell praecaecal verdaulich angesehen wird:

$$\text{NDLXP} = \text{XP} - \text{NDIXP}$$

Nach regressiver Auswertung von Untersuchungsergebnissen am Pferd kann davon ausgegangen werden, dass NDLXP zu etwa 90 % im Dünndarm verdaulich wird. Daraus resultiert das praecaecal verdauliche Rohprotein:

$$\text{pcvXP} = 0,9 * \text{NDLXP}$$

Unter Bezug auf den Rohproteingehalt kann daraus die praecaecale Verdaulichkeit (pcV) des Rohproteins berechnet werden:

$$\text{pcV XP [\%]} = \text{pcvXP} * 100 / \text{XP}$$

Zur Ermittlung des Gehaltes an pcvAS im Futter kann gestützt durch dazu vorliegende Literaturergebnisse davon ausgegangen werden, dass das Aminosäurenmuster des Rohproteins in etwa auch für den löslichen Anteil des Rohproteins (NDLXP) gilt (GfE 2014). Somit resultiert für den Gehalt an pcvAS im Futter Folgendes:

$$\begin{aligned} \text{pcvAS} &= \text{pcvXP} * \text{AS} / 100 \\ &= 0,9 * \text{AS}_{\text{NDLXP}}, \text{ mit } \text{AS}_{\text{NDLXP}} = \text{AS-Gehalt im NDLXP} \end{aligned}$$

Im neuen Proteinbewertungssystem werden die Gehalte an praecaecal verdaulichem (pcv) Lysin, pcv schwefelhaltigen Aminosäuren Methionin und Cystein als Summe sowie pcv Threonin ausgewiesen. Dieses Vorgehen impliziert, dass im löslichen Anteil des Futterrohproteins nativ enthaltene Aminosäuren zu etwa 90 % absorbiert werden. Für zugesetzte (freie) Aminosäuren erscheint es legitim eine pcV von 100 % zu unterstellen.

3. Ergebnisse

Die gemessenen Konzentrationen an NDIXP sind in Abbildung 1 für die verschiedenen Futtertypen nach aufsteigendem Rohproteingehalt aufgetragen.

Abbildung 2 weist für die verschiedenen Futtertypen, gleichfalls nach aufsteigendem Proteingehalt sortiert, die Gehalte an NDLXP sowie die resultierenden praecaecalen Verdaulichkeiten des Rohproteins (pcV XP) aus.

Es ist erkennbar, dass die Gehalte an NDIXP unabhängig von Rohproteingehalt und Futtertyp sind, d. h. im Hinblick auf die ernährungsphysiologische Bedeutung verschiedene Sachverhalte abbilden.

Die Gehalte an NDLXP sind in den Ergänzungsfuttermitteln für Fohlen und Stuten höher als im Durchschnitt der Mischfuttermittel für Sport- und Freizeitpferde. Die praecaecale Verdaulichkeit des Proteins liegt größtenteils zwischen 60 und 80 %, wobei auch hier die Futter für die „sonstigen Pferde“ überwiegend etwas niedriger liegen und einzelne Proben diesbezüglich sogar bei 50 % bleiben.

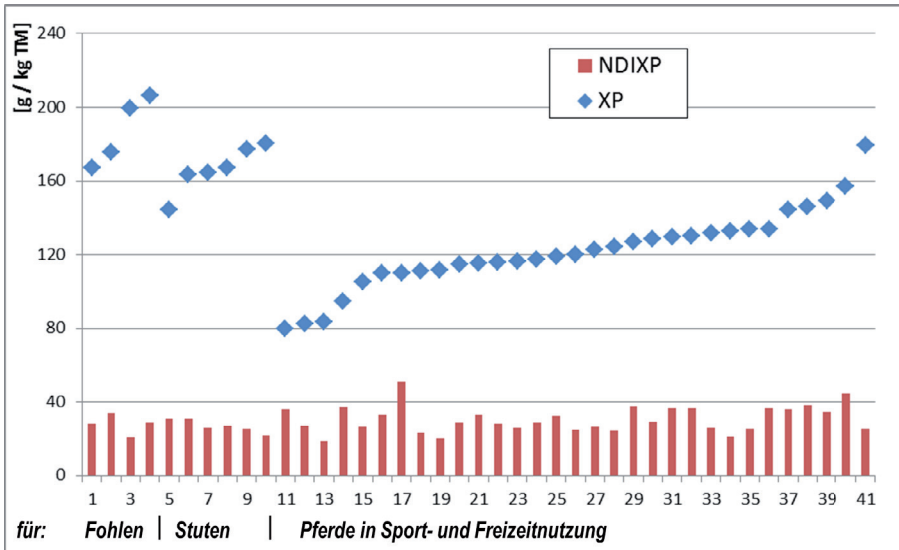


Abb. 1: Gehalte an Rohprotein und NDIXP in Mischfuttermitteln für Pferde

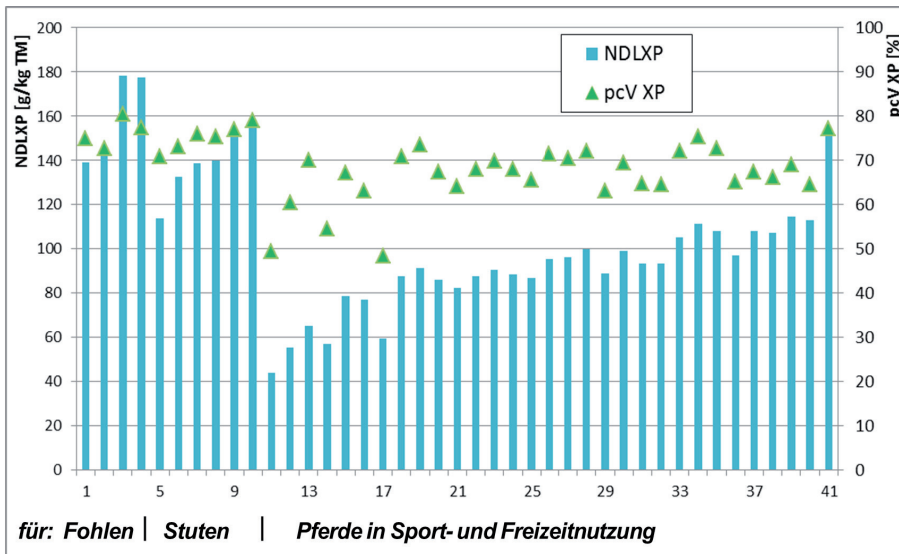


Abb. 2: Gehalt an NDLXP und resultierende Verdaulichkeit des Rohproteins in Mischfuttermitteln für Pferde

Die letztgenannten Ergänzungsfuttermittel wiesen in den hier untersuchten Variablen eine sehr breite Spanne auf. Dies ist bereits bei den Gehalten an Rohprotein erkennbar. Gründe hierfür dürften eine sehr unterschiedliche Konzeption dieser Futtermittel, welche sowohl Ergänzungsfuttermittel für wenig aktive Pferde in Hobbyhaltung als auch für stark beanspruchte Sportpferde umfasst, sowie auch die vorgesehene Ergänzung zu unterschiedlichen Mengen und Qualitäten von Grobfuttermitteln bedingt sein.

Tab.2: Proteinkenngrößen der einbezogenen Mischfuttermittel für Fohlen (n = 4), Stuten (n = 6) sowie sonstige Pferde (n = 31) (Angaben je kg TM)

	XP	NDIXP	NDLXP	pcv XP	pcV XP	pcv Lys	pcv M+C	pcv Thr
	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]	[g]	[g]	[g]
Fohlen								
Ø	187	28	159	143	76	8,7	5,5	6,0
min	167	21	139	125	73	6,1	3,9	4,8
max	206	34	178	161	81	11,2	7,0	7,2
Stuten								
Ø	166	27	139	125	75	5,4	4,3	4,5
min	145	22	114	102	71	4,1	3,7	3,7
max	180	31	158	143	79	6,2	5,3	5,2
sonstige Pferde*								
Ø	122	31	91	82	67	3,3	2,7	2,8
min	80	18	44	39	48	1,6	1,1	1,4
max	179	51	154	138	77	6,4	4,5	5,0

* sonstige Pferde = Pferde in Sport- und Freizeitnutzung

In Tabelle 2 sind für die einzelnen Futtertypen Mittelwerte sowie Minima und Maxima der vorgenannten Parameter, inklusive der pcvAS, aufgeführt.

Zwischen den Ergänzungsfuttermitteln für Fohlen und Stuten einerseits und denen für sonstige Pferde (Sport- und Freizeitnutzung) andererseits traten wie erwartet deutliche Unterschiede auf. So waren die mittleren Gehalte an NDLXP in den Mischfuttermitteln für Fohlen und Stuten mit 159 bzw. 139 g/kg TM deutlich über denen für die sonstigen Pferde mit 91 g/kg TM. Bei gleichzeitig höheren Rohproteingehalten von durchschnittlich 187 bzw. 166 g/kg TM (Fohlen und Stuten) versus 122 g/kg TM (sonstige Pferde) resultieren

höhere praecaecale Verdaulichkeiten von 76 bzw. 75 % im Vergleich zu 67 %. Dementsprechend waren die Gehalte an praecaecal verdaulichem Protein (pcvXP) im Fohlen- und Stutenfutter im insgesamt untersuchten Kollektiv am höchsten. Gleiches gilt für die pcvAS.

Die am Markt befindlichen Mischfuttertypen werden durch die neue Proteinbewertung in der „erwarteten Reihenfolge“ rangiert. Damit würde die diesbezüglich besondere Qualität von Ergänzungsfuttermitteln für Fohlen und Stuten bei Verwendung des neuen Proteinbewertungssystems in der Praxis erstmalig eine angemessene Würdigung erfahren und dem Endverbraucher auch die Kaufentscheidung erleichtern. Dies setzt jedoch voraus, dass das System mit aller Konsequenz angewendet wird, d. h. sowohl der Gehalt an pcvXP als auch an den genannten pcvAS (Lysin, Summe der schwefelhaltigen Aminosäuren und Threonin) müssen für die Beurteilung herangezogen werden. Dadurch kann für spezielle Einsatzzwecke eine gezielte Ergänzung der Ration mit hochwertigen Proteinträgern oder freien Aminosäuren erfolgen. Für eine Berechnung und Beurteilung von Rationen hat die GfE (2014) Versorgungsempfehlungen als erfolgsnotwendiges Gegenstück zu den Gehalten im Futter publiziert.

4. Zusammenfassung

Vom Verein Futtermitteltest e. V. wurden 41 Proben von Ergänzungsfuttermitteln für Pferde aus dem Warentest zusätzlich auch auf Variablen des neuen Proteinbewertungssystems untersucht.

Die Gehalte an NDIXP variieren in einem Bereich von 18-51 g/kg TM, und zwar unabhängig vom Rohproteingehalt. Eine erkennbare Gruppierung nach den Ergänzungsfuttertypen (Fohlen, Zuchtstuten, sonstige Pferde) besteht ebenfalls nicht.

Die praecaecale Verdaulichkeit des Rohproteins variiert zwischen 48 und 81 %, mit eindeutig den höheren Verdaulichkeiten in den Futtermitteln für Fohlen und Stuten.

Die unterschiedlichen Ansprüche an die Proteinqualität der verschiedenen Futtertypen sind im Mischfutter an den Gehalten an NDLXP, pcvXP und pcvAS sehr gut erkennbar.

5. Literaturangaben

GfE, 2014: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Schweinen. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 20-23, 81-101.

Verband deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), 2015: Methode 4.13.1, Bestimmung des Neutral-Detergenzien-löslichen Rohproteins (NDLXP). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch) Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, in Druck, VDLUFA Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Die Prüfung von Mischfutter durch den Verein Futtermitteltest e. V. wird dankenswerterweise insbesondere durch Zuschüsse des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert.

Influence of combined effect of temperature stimulation during the last days of incubation and of the protein-energy concentration in feed on growing performance of cockerels of different origin

I. Halle¹, M. A. Lieboldt¹, M. Henning², B. Tzschentke³

¹Institut für Tierernährung, FLI, Braunschweig, ²Institut für Nutztiergenetik, FLI, Braunschweig, ³Humboldt-Universität, Berlin,

1. Introduction

Laying-type cockerels or spring chicken cannot be reared economically (Damme and Ristic, 2003, Schäublin et al., 2005, König et al., 2010, Halle et al., 2012b). But routine culling of these day-old male chicks is more and more an ethical problem and to find alternative solutions is a great challenge. Lohmann Tierzucht bred the dual-purpose chicken (producing eggs and meat) in response to growing criticism of conventional practices in modern egg production. Recent research shows that incubation climate may have a long-lasting influence on poultry performance (Collin et al., 2007, Hulet et al., 2007, Pistun et al., 2008, Tzschentke and Halle, 2009, Halle and Tzschentke, 2011, Shinder et al., 2011, Halle et al., 2012a). The most important climatic incubation factor is the incubation temperature (Decuypere and Michels, 1992). In broiler chickens, for instance, short-term temperature training during the last 4 days of embryonic development, improved hatching results and later robustness and performance (Tzschentke and Halle, 2009).

Therefore the following study was carried out, to investigate whether short-term variation in incubation temperature during the last days of incubation have a long-lasting effect on performance, also in laying-type cockerels.

2. Material and Methods

In the trial 2880 eggs (Lohmann Brown-LB/Lohmann Dual-LD) were incubated from days 1 to 17 under common incubation temperature (37 °C). From day 18 until hatching the eggs were sorted in hatch incubators with different tempera-

ture programs: 37 °C (control) and 1 °C over standard for 2 hours daily (38 °C: short-term warm stimulation). The one-day-old chicks were sorted by sex and only the male laying-type cockerels were randomly distributed in 8 treatments (6 pens/group) resulted from the two origin of chicks (LB, LD), from two hatch incubators and twofold protein/energy (200 g crude protein /11 MJ AME_N/kg - low; 215 g /12 MJ - high) levels in the diet (Tab. 1; 2). The duration of the trial was 70 days. Data from the trial were analyzed by a three-way ANOVA (SAS) ($P \leq 0.05$).

Tab. 1: Study design

Group	Cockerels origin	Temperature stimulation	Feed level
1/5	LB/LD	Control	Low
2/6		Control	High
3/7		Short-term warm stimulation	Low
4/8		Short-term warm stimulation	High

Tab. 2: Ingredient composition and nutrients of the diets (g/kg) (Dry matter 885g/kg)

Ingredient	Feed level	
	low	high
Wheat/Corn/Bran	695	594
Soya bean meal/Oil	267	365
Vitamin and minerals	38	41
Crude protein	185	205
ME, MJ/kg	11.2	12.4
Lysine/Methionine+Cystine	10.0/8.5	11.5/9.8

3. Results

Growing performance of LD cockerels was significantly better compared to LB males (Tab. 3). Final body weight of LD birds was 1000 g higher and feed to gain ratio 10 % lower. Short-term temperature stimulation during the end of incubation resulted in a 3.5 % higher final body weight by LD cockerels. The daily feed intake and the feed to gain ratio was significantly improved through the increased protein/energy concentration of the "high" feed.

4. Conclusion

The results allow the conclusions that an incubation temperature profile, which includes short-term warm stimulation of +1 °C for 2 h daily during final incubation, had a long-lasting effect on performance in male laying-type cockerels of origin Lohmann-Dual. The most important factors on growing performance of the Lohmann-Brown laying type cockerels were the protein-energy concentration in feed.

Tab. 3: Performance of laying type cockerels (age of 70 days)

Origin	Temp. stimulation	Feed level	Feed intake g/bird/day	Final body weight, g/bird	kg feed/kg weight gain
L-Brown	no	Low	47.6	1336	2.568
	no	High	43.3	1360	2.293
	yes	Low	47.1	1336	2.544
	yes	High	44.1	1374	2.309
L-Dual	no	Low	78.6	2432	2.299
	no	High	71.4	2482	2.049
	yes	Low	81.9	2558	2.275
	yes	High	73.9	2528	2.070
ANOVA, P-value					
Cockerels origin			<0.001	<0.001	<0.001
Temperature stimulation			0.14	0.09	0.96
Feed level			<0.001	0.45	<0.001
Temperature x Feed			0.9	0.5	0.2
Temperature x Origin			0.2	0.2	0.8
Origin x Feed			0.07	0.7	0.4
Origin x Temperature x Feed			0.6	0.4	0.9

5. Literaturangaben

Collin, A., Berri, C., Tesseraud, S., Requena Rodón, F.E., Skiba-Cassy, S., Crochet, S., Duclos, M.J., Rideau, N., Tona, K., Buyse, J., Bruggeman, V., Decuyper, E., Picard, M., Yahav, S., 2007: Effects of Thermal Manipulation during Early and Late Embryogenesis on Thermal tolerance and Breast Muscle Characteristics in Broiler Chickens. Poultry Science 86, 795-800.

- Damme, K., M. Ristic, 2003: Fattening performance, meat yield and economic aspects of meat and layer type hybrid. *Poultry Science Journal* 59, 50-53.
- Decuyper, E., H. Michels, 1992: Incubation temperature as a management tool: a review. *World's Poultry Science Journal* 48, 28-38.
- Halle, I., Tzschentke, B., 2011: Influence of Temperature Manipulation during the last 4 Days of Incubation on Hatching Results, Post-Hatching Performance and Adaptability to Warm Growing Conditions in Broiler Chickens. *J. Poultry Sci.* 48, 97-105.
- Halle, I., Tzschentke, B., Henning, M., Köhler, P., 2012a: Influence of temperature stimulation during the last 6 days of incubation on hatching results and later performance in Pekin ducks. *Arch. Geflügelk.* 76(3), 176-183.
- Halle, I., Kluth, H., Dänicke, S., 2012b: Effect of a graded dietary protein-energy-concentration on the growth performance of laying-type cockerels of different strains. *Arch. Geflügelk.* 76(4) 223-229.
- Hulet, R., Gladys, D., Hill, D., Meijerhof, R., El-Shiekh, T., 2007: Influence of egg shell embryonic incubation temperature and broiler breeder flock age on posthatch growth performance and carcass characteristics. *Poultry Science* 86, 408-412.
- Koenig, M., Hahn, G., Damme, K., Schmutz, M., 2010: Nutzung männlicher Legehybriden als Stubenküken. *Fleischwirtschaft* 12, 92-94.
- Piestun, Y., Shinder, D., Ruzal, M., Halevy, O., Brake, J., Yahav, S., 2008: Thermal Manipulations during Broiler Embryogenesis: Effect on the Acquisition of Thermotolerance. *Poultry Science* 87, 1516-1525.
- Schäublin, H., Wiedmer, H., Zweifel, R., 2005: Vergleich der Mastleistungen und Fleischqualität von Hähnen ausgewählter Legelinien mit einem extensiven Masthybriden. *Schlussbericht Versuchsprojekt M405, Aviform, Schweiz.*
- Shinder, D., Ruzal, M., Giloh, M., Druyan, S., Piestun, Y., 2011: Improvement of cold resistance and performance of broilers by acute cold exposure during late embryogenesis. *Poultry Science* 90, 633-641.
- Tzschentke, B., Halle, I., 2009: Influence of temperature stimulation during the last 4 days of incubation on secondary sex ratio and later performance in male and female broiler chicks. *Brit. Poult. Sci.* 50, 634-640.

Die Wirkung des Einsatzes von druckhydrothermisch behandelten Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) auf die Leistung von Milchkühen

S. Dunkel¹, K. Aschhoff², K. Trauboth¹, M. Strube³

¹Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena, ²DEUKA, Erfurt, ³Wartburgland-Agrargenossenschaft eG, Marksuhl

1. Einleitung

In der Rinder- und Schweinefütterung wird vorwiegend importiertes Sojaextraktionsschrot zur Eiweißergänzung der Rationen eingesetzt. Ausschlaggebend dafür sind an erster Stelle der hohe Rohproteingehalt und dessen gute Verdaulichkeit.

In den letzten Jahren wird jedoch zunehmend eine Reduzierung der Importe von Sojaprodukten aus Übersee zu Fütterungszwecken im Interesse des Umweltschutzes gefordert. Die damit verbundene Diskussion über den Einsatz gentechnisch veränderter Pflanzen als Futtermittel in der Tierernährung stellt zunehmend die Frage nach heimischen Eiweißalternativen. Auch die neue Förderperiode der Gemeinsamen EU-Agrarpolitik unterstützt den Anbau von Eiweißpflanzen, zu denen auch die Körnerleguminosen zählen. In Thüringen werden 2015 Körnerleguminosen auf knapp 18 300 ha angebaut, davon hauptsächlich Erbsen und Ackerbohnen. Ihre Anbaufläche hat sich im Vergleich zu 2014 mehr als verdoppelt und beträgt bei Erbsen ca. 12 600 ha und bei Ackerbohnen 4900 ha. Bei einem unterstellten Ertrag von 3,5 t/ha ergibt sich für diese ein Aufkommen von 61 250 t/Jahr.

Regional angebaute Körnerleguminosen können aufgrund ihres Proteingehaltes einen entscheidenden Beitrag zur Eiweißversorgung leisten. Im Vergleich zu Sojaextraktionsschrot liegen die Futterwerte von unbehandelten Ackerbohnen, Futtererbsen und Lupinen deutlich niedriger, weisen allerdings eine hohe Abbaubarkeit der Nährstoffe im Pansen auf. Daraus resultieren geringere Gehalte an nutzbarem Rohprotein (nXP) und unabgebautem Rohprotein (UDP). Diese können bei höheren Milchleistungen einsatzbeschränkend wirken. Zudem weisen Ackerbohnen antinutritive Substanzen auf, die im Tier

bestimmte negative Effekte auslösen können. Dazu zählen beispielsweise die Reduzierung der Nährstoffabsorption, eine verminderte Proteinverdaulichkeit sowie eine reduzierte Futtermittelaufnahme. Durch technologische Behandlungen (thermisch, hydrothermisch, druckthermisch) können diese Effekte reduziert werden, druckhydrothermisch einen Beitrag zur Verringerung der Abbaurate im Pansen leisten und damit zu einem Anstieg des nXP-Gehaltes im Pansen beitragen.

An der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena wurde bei zahlreichen Versuchsanstellungen mit Milchkühen der Frage nach alternativen Eiweißfuttermitteln nachgegangen. Seit einiger Zeit steht vor allem der Einsatz von großkörnigen Leguminosen in Rationen im Focus der praxisbezogenen Versuchsanstellungen. In einem der vorangegangenen Fütterungsversuche konnte unter Praxisbedingungen gezeigt werden, dass im mittleren Laktationsdrittel ca. 85 % der eingesetzten Sojameenge bei gleicher Milchleistung durch druckhydrothermisch behandelte Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) ersetzbar waren (Dunkel, 2010). Ausgehend von diesem Ergebnis bestand das Ziel der nachfolgenden Untersuchung darin, zu prüfen, welche Wirkung der vollständige Ersatz von SES durch druckthermisch behandelte Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) auf Milchleistung, Futtermittelaufnahme, Tiergesundheit sowie Fruchtbarkeit, speziell im ersten Laktationsabschnitt hat.

2. Material und Methoden

Der Versuch fand unter Produktionsbedingungen von Oktober 2013 bis September 2014 statt. Die Milchkühe für die Versuchs- und Kontrollgruppe im Fütterungsversuch wurden aus der Milchviehherde (Rasse Deutsche Holsteins) zusammengestellt. Die mittlere Laktationsleistung aller Kühe des Betriebes lag im Jahr 2014 bei 10 134 kg mit 3,86 % Fett und 3,6 % Eiweiß. Angelehnt an die Gruppeneinteilung der Milchkühe in dem Produktionsbetrieb entsprachen die Versuchsgruppe der Gruppe 2 und die Kontrollgruppe der Gruppe 3. Die Milchkühe wurden aus der Transitgruppe zwischen dem 20. und 35. Laktationstag der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe zugeordnet. Kriterien der Gruppenzuordnung war die Milchleistung und die Laktationsnummer. Der Eintritt des Tieres in die jeweilige Gruppe galt als Versuchsbeginn. Zur Auswertung wurden nur Tiere herangezogen, welche mindestens 50 Versuchstage in der Versuchs- bzw. Kontrollgruppe standen. Es konnten insgesamt 242 Milchkühe der Rasse

Deutsche Holsteins in den Versuch einbezogen werden (Versuchsgruppe 132 Kühe; Kontrollgruppe 110 Kühe). Die Haltung der Milchkühe während der Untersuchung erfolgte in Liegeboxenlaufställen mit Gummimatten im Liegebereich, Vollspaltenboden und Fressgittern. Wasser stand den Tieren ad libitum zur Verfügung.

Tab. 1: Zusammensetzung und Nährstoffgehalte der Totalen Mischrationen (kg FM/Tier und Tag). Für eine Milchkuh mit 650 kg Lebendmasse, 42 kg Milch mit 3,4 % Eiweiß und 4,3 % Fett

	Versuchsration	Kontrollration
Rationskomponenten		
Maissilage	25	25
Grassilage	11	11
Heu	0,6	0,6
Biertreber, siliert	5,0	5,0
Getreide (Gerste)	2,5	2,5
Deukalac 234 (50 % Maiskörnerschrot, 25 % pansengeschütztes RES und 25 % pansengeschütztes Sojaextraktionschrot)	-	3,0
Rapsextraktionsschrot (RES)	2,4	2,4
MLF 20/4 (ohne SES)	2,0	2,0
Melasse	1,0	1,0
Opticon® Ackerbohne	1,9	-
Maiskörnerschrot	1,1	-
Glycerin	0,2	0,2
Mineralstoff und sonstiges ¹⁾	0,74	0,74
Energie- und Nährstoffgehalt		
Trockenmasse, kg/Tier und Tag	24,7	24,7
NEL, MJ/kg TM	6,9	6,9
Rohfaser, g/Tier und Tag	159	159
nXP, g/kg TM	157	157
RNB, gN/Tag	+16	+35
Stärke/Zucker, g/kg TM	276	255

¹⁾Ca-Seife pansengeschützt; Vihsalz; kohlenaurer Futterkalk; Natriumbikarbonat; Proteinmix (Hefe/Harnstoff)

Während der Versuchsdurchführung wurde die Futteraufnahme gruppenweise und täglich erfasst. Die Vorlage über den Futtermischwagen wurde elektronisch und die Restfuttermenge manuell durch den Versuchstechniker dokumentiert. Die Erfassung der Fruchtbarkeitsparameter und die Erkrankungen erfolgten durch den Betrieb im HERDE-Managementprogramm. Außerdem fand monatlich eine Stoffwechselkontrolle in den Gruppen statt.

Die Totalen Mischrationen (TMR), die in beiden Gruppen auf gleichen Anteilen aus Gras-, Maissilage, Heu, Kraftfutter und einer Mineralstoffmischung basierte (Tab. 1), wurden zweimal täglich zur freien Aufnahme über den Futtermischwagen vorgelegt. Die basalen Mischrationen (TMR) der Versuchs- und Kontrollgruppe waren auf eine Milchleistung von 42 kg/Tier und Tag ausgelegt, nach den Vorgaben der DLG (2001) bzw. GfE (2001) erstellt sowie isokalorisch und isonitrogen zusammengesetzt. Sie unterschieden sich jedoch in der Fütterung von SES 0,75 kg/Kuh und Tag in der Kontrollgruppe bzw. druckhydrothermisch behandelten Ackerbohnen mit 1,9 kg Opticon®-Ackerbohne/Kuh und Tag (Versuchsgruppe).

3. Ergebnisse

Die mittlere Trockenmasseaufnahme betrug im Versuchsverlauf in der Kontrollgruppe 26,0 kg und in der Versuchsgruppe 25,6 kg /Kuh und Tag. Die Milchkühe nahmen im Mittel beider Gruppen 4 % mehr Futter auf als geplant. In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Trockenmasseaufnahme im Versuchszeitraum grafisch dargestellt. Insgesamt ist von einem fast gleichen Verlauf der Trockenmasseaufnahme auf hohem Niveau in beiden Gruppen auszugehen. In der 25. Versuchswoche fiel die Futteraufnahme in der Kontrollgruppe um 12,3 % und in der Versuchsgruppe um 18,3 % ab. Die mikrobiologische Untersuchung in diesem Zeitraum ergab in der TMR beider Gruppen einen erhöhten Gehalt an verderbanzeigenden Bakterien und einen deutlich erhöhten Keimgehalt an Hefen. Ursache hierfür könnten die verderbanzeigenden Schimmelpilze, Hefen und Bakterien in der Maissilage und Anwelksilage sein. In der 41. Versuchswoche lagen für die Anwelksilage und das Getreide leicht erhöhte Gehalte an verderbanzeigenden Bakterien, Hefen und Schimmelpilze vor. Diese geringgradige Qualitätsminderung könnte auch hier der Grund für den Rückgang der Trockenmasseaufnahme sein.

Die Analysenwerte der Totalen-Mischration (TMR) in beiden Gruppen ergab in den Parametern Trockenmasse, Rohasche, Rohfaser und Rohfett keine statistischen Unterschiede. Die Energiekonzentration lag sowohl in der Kontroll- als auch in der Versuchsgruppe bei 7,0 MJ/kg T. Diese Nährstoff- und Energiekonzentrationen entsprachen den Bedarfsempfehlungen der GfE (2001). Unterschiede ergaben sich beim Gehalt an unabgebauter Stärke und Zucker in der TMR. Die Bedarfsempfehlung wurde in beiden Gruppen mit ca. 50 g/kg Trockenmasse überschritten (VG: 302 g/kg T; KG: 295 g/kg T).

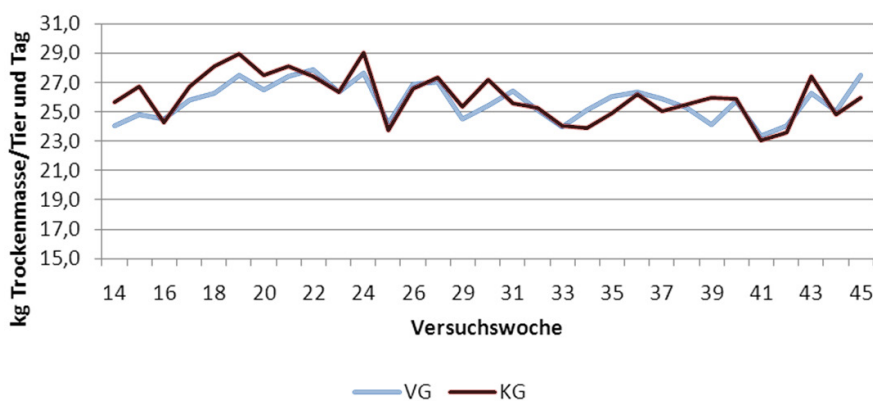


Abb. 1: Trockenmasseaufnahme im Versuchsverlauf (kg/Tier und Tag)

Die Milchleistung lag im Durchschnitt der Versuchsgruppe bei 37,8 kg und damit im Vergleich zur Kontrollgruppe um 0,2 kg höher. Dieser Unterschied ist statistisch gesichert. Beim Milchfett- und Milcheiweißgehalt als auch bei der Zellzahl konnten keine signifikanten Einflüsse der Futtermischung festgestellt werden (Tab. 2).

Die Protein- und Harnstoffgehalte in der Milch reflektierten, dass eine ausgeglichene Fütterung in beiden Gruppen vorlag. Der Milchwahnharnstoffgehalt war in der Versuchsgruppe um 16 ppm/l signifikant niedriger als in der Kontrollgruppe. Die ruminale Stickstoffbilanz im Pansen ist demzufolge in der Versuchsgruppe ausgeglichener.

Tab. 2: Milchleistung im Versuchszeitraum

Parameter	Kontrollgruppe (KG) N=110	Versuchsgruppe (VG) N=132	p-Wert
Milchleistung, kg/Kuh und Tag	37,6±7,9	37,8±7,9	0.0247
Protein, %	3,46±0,27	3,51±0,29	0.9709
Fett, %	3,58±0,63	3,58±0,73	0.4365
Harnstoff, mg/l	276,4±53,1	260,4±56,5	0.0048
Zellzahl, 1000/cm ³	90,5±99	91,8±102	0.2489

Die ersten Ergebnisse zu den Erkrankungen ergeben in der Kontrollgruppe 3,8 bzw. in der Versuchsgruppe 3,9 Behandlungen/Milchkuh. Die Unterschiede sind nicht signifikant ($p=0,4042$).

Tab. 3: Stoffwechselfparameter im Blut

Parameter	oberer und unterer Grenzwert*	Kontroll- gruppe (KG) N=42	Versuchs- gruppe (VG) N=44	p-Wert
UREA, mmol/l	2,5-5,0	4,8±1,08	4,7±0,98	0,3440
HBS, μ mol/l	0-900	424±116	474±142	0,1835
FFS, mmol/l	0-0,34	0,32±0,05	0,32±0,03	0,9906
AST, nkat/l	0-1300	1461±274	1503±271	0,6080
BILI, μ mol/l	0-5	2,4±0,9	2,7±0,8	0,2606
GLDH, nkat/l	0-500	397±203	375±263	0,9341
CHOL, mmol/l	2,5-6	4,8±1,2	4,7±1,3	0,6304

*obere und untere Grenzwerte für Tiergruppe Frischmelker/Laktierer laut Thüringer Tierseuchenkasse (TGD, Jena); UREA = Harnstoff; HBS = Ketokörper = Hydroxybutyrat; FFS = Freie Fettsäuren; AST = Aspartat-Amino-Transferase; BILI = Bilirubin; GLDH = Glutamat-Dehydrogenase; CHOL = Cholesterin

Anhand der Untersuchung bestimmter Blutparameter kann die Stoffwechsellage der Kühe beurteilt werden, um darauf Rückschlüsse auf die Energie- und Eiweißversorgung zu erhalten. Die Stoffwechseluntersuchungen ergeben keine statistischen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen vor. Die Grenzwerte für Stoffwechselfparameter der Thüringer Tierseuchenkasse im Blut für die vorliegenden Kuhgruppen (Frischmelker/Laktierer) werden mit Ausnahme der AST in keinem der untersuchten Parameter unter- bzw. überschritten. Die

Aktivitätssteigerung der AST kann bis zum Dreifachen als leicht eingestuft werden. Um Lebererkrankungen zu differenzieren, sind weitere Enzyme zu bestimmen. Die Ergebnisse der HBS und FFS schließen eine energetische Unterversorgung der Milchkühe im Versuchszeitraum aus. Gleiches gilt für die Eiweißversorgung der Kühe. Der Harnstoff entsteht im Blut sowohl beim endogenen Abbau von Protein als auch aus dem mit dem Futter aufgenommenen Eiweiß und wird durch Kreislaufstörungen sowie durch Energieunterversorgung, analog wie in der Milch, verändert. Laut Untersuchungsbefunden liegen hier keine Kreislaufstörungen oder Energieunterversorgungen bei den Milchkühen in beiden Gruppen vor.

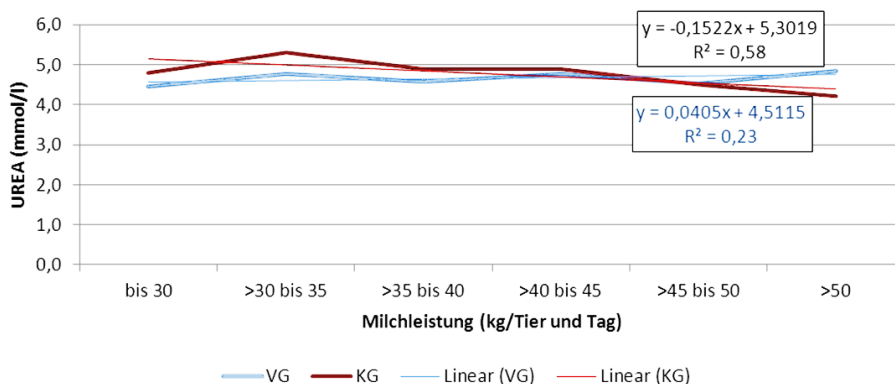


Abb. 2: Harnstoffkonzentration im Blutserum in Abhängigkeit von der Milchleistung

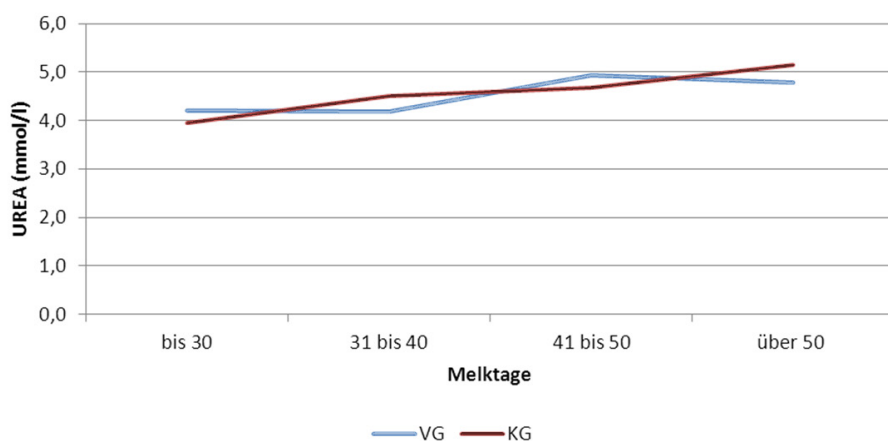


Abb. 3: Harnstoffkonzentration im Blutserum in Abhängigkeit vom Melktag

Abbildung 2 stellt die Harnstoffkonzentration im Blutserum in Abhängigkeit von der Milchleistung dar. Beide Gruppen liegen trotz hoher Milchleistungen im Referenzbereich. Auch hier liegt keine Energieunterversorgung vor.

Die Ergebnisse der Blutharnstoffkonzentration in Abhängigkeit vom Melktag verdeutlicht, dass die Energieversorgung der Milchkühe mit Zunahme der Melktag schwieriger wird (Abb. 3). Dies ist vor allem auf die Steigerung der Milchleistung zurück zu führen und trifft für beide Gruppen zu. Eine Energieunterversorgung ist in beiden Gruppen offensichtlich nicht vorhanden.

4. Schlussfolgerung

In einem Fütterungsversuch an HF-Milchkühen wurde die Wirkung eines vollständigen Ersatzes von SES durch druckhydrothermisch behandelte Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) auf Milchleistung, Futteraufnahme, Tiergesundheit sowie Fruchtbarkeit, speziell im ersten Laktationsabschnitt geprüft.

Unter den Bedingungen des Praxisexperimentes lag die Milchleistung in der Versuchsgruppe um 0,2 kg/Kuh und Tag signifikant höher. Bei den Milchinhaltstoffen Fett, Eiweiß und Zellzahl konnten keine Unterschiede festgestellt werden. Der vollständige Ersatz von SES durch druckhydrothermisch behandelte Ackerbohnen (Opticon®-Verfahren) führte zu einer signifikanten Senkung des Milchwahstoffgehaltes in der Versuchsgruppe. Die Stoffwechselfparameter im Blutserum lagen im empfohlenen Referenzbereich. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse weisen auf eine energetisch und nährstoffgerechte Versorgung der Milchkühe hin.

Die Ergebnisse zeigen, dass ein vollständiger Ersatz von SES durch Opticon®-Ackerbohne im ersten Laktationsdrittel bei gleichbleibender Leistung und Inhaltsstoffen möglich ist. Der geringere Gehalt an Durchflussprotein in der Ackerbohne wird durch die druckhydrothermische Behandlung deutlich verbessert. Die Stärkeverdaulichkeit könnte auch angestiegen sein, dazu sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Die Opticon®-Ackerbohne eine alternative Quelle beim Ersatz von SES. Jedoch kann beim vollständigen Austausch von SES auf den Einsatz von Rapsextraktionsschrot zur Versorgung der Hochleistungskuh mit Methionin nicht verzichtet werden.

5. Literaturangaben

Kraft, W., Dürr, U., 2005: Klinische Labordiagnostik in der Tiermedizin. 6. Auflage. Schattauer Verlag, Stuttgart, New York.

Masoero, F., Pulimeno, A.M., Rossi, F., 2005: Effect of extrusion, expansion and toasting on the nutritional value of peas, faba beans and lupins. *Ital. J. Anim. Sci*(4), 177-189.

Mielenz, N., Spielke, J., Krejcova, H., Schüler, L., 2006: Statistical analysis of test day milk yields using random regressions models for the comparison of feeding groups during the lactation period. *J. Animal Nutrition*. 60(5), 342-357.

Automatische Messung der Wiederkaudauer zur Prognose des Abkalbezeitpunktes

K. Halli¹, C. Koch², S. Hoy¹

¹Institut für Tierzucht und Haustiergenetik, Justus-Liebig-Universität, Gießen,

²Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Westpfalz (DLR), Hofgut Neumühle, Münchweiler an der Alsenz

1. Einleitung

Der geburtsnahe Zeitraum ist sowohl für das Muttertier als auch für das Kalb mit hohen Risiken verbunden. Um die Kälbersterblichkeit und Totgeburtenrate möglichst gering zu halten, ist ein optimiertes Geburtsmanagement von äußerster Wichtigkeit. Besonders bei wachsenden Herdengrößen liegen die Geburtsüberwachung und eine fachlich fundierte Geburtshilfe im Fokus des Geburtsmanagements. Wells et al. (1996) konnten belegen, dass 12 % der Kälberverluste innerhalb der ersten 21 Lebenstage allein durch umsichtige Geburtshilfe vermeidbar wären. Umgekehrt haben Kälber, die durch schweren Auszug geboren wurden, gegenüber spontan geborenen Kälbern ein vierfach erhöhtes Risiko zu sterben (Wells et al., 1996). In den letzten zwanzig Jahren wird jedoch über einen Anstieg der Totgeburtenrate beim Rind in der Literatur berichtet (Kornmatitsuk et al., 2003). Dabei wird häufig eine mangelnde Geburtsüberwachung und damit verbundene, fehlerhafte und zum Teil falsch terminierte Geburtshilfe als Einflussfaktoren diskutiert (Mee, 2004).

In verschiedenen Studien wurde der Zusammenhang der automatisch gemessenen Wiederkaudauer mit der Brunst (Reith und Hoy, 2012), dem Gesundheitsstatus und Produktionsmerkmalen (Gaspardy et al., 2014), der Kalbung (Schirmann et al., 2013, Pahl et al., 2014, Büchel und Sundrum, 2014) oder dem Gesundheitsstatus während der Transitphase (Soriani et al., 2012, Calamari et al., 2014, Liboreiro et al., 2015) untersucht und bewiesen, dass die darin untersuchten Faktoren einen deutlichen Einfluss auf das Wiederkauverhalten von Milchkühen haben. Die automatische und kontinuierliche Messung der Wiederkaudauer birgt demnach ein hohes Potential als Hinweisparameter im Herden- und Geburtsmanagement zu agieren.

Im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem DLR Westpfalz, Hofgut Neumühle und der JLU Gießen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik,

sollte die Frage geklärt werden, ob anhand der automatisch gemessenen Wiederkaudauer der Geburtszeitpunkt vorherzusagen ist, um die Messung der Wiederkaudauer zukünftig als Werkzeug im Herdenmanagement zur Geburtsüberwachung zu integrieren. Außerdem wurde untersucht, wie sich die Wiederkaudauer auf dem Herdenniveau im regulären Tagesverlauf darstellt.

2. Material und Methoden

Die Untersuchung fand am DLR Westpfalz, Lehr- und Versuchsanstalt für Viehhaltung, Hofgut Neumühle in Münchweiler an der Alsenz statt. Im Zeitraum von März bis November 2014 wurden insgesamt 58 Kalbungen der Rasse Dt. Holstein schwarzbunt mittels Infrarot-Videotechnik aufgezeichnet. Unter den beobachteten Kalbungen waren sowohl Erstlingsgeburten ($n = 16$) als auch Kalbungen älterer Tiere ($n = 42$). Über 24 h-Beobachtung der Abkalbeboxen konnte der genaue Kalbezeitpunkt ermittelt werden. Zu jeder Kalbung wurden ein Kalbeprotokoll ausgefüllt und die Daten zusätzlich im Herdenmanagement-Programm Dairy Plan C21 (GEA Farm Technologies, Bönen) vermerkt. Im Schnitt wurden die Tiere 4 bis 5 Tage vor dem errechneten Kalbetermin in sauber eingestreute Abkalbeboxen gebracht. Situationsbedingt standen die Tiere dort entweder alleine oder es wurden mehrere Tiere zusammen gehalten. Die Futtervorlage geschah 1 x täglich um ca. 08:00 Uhr morgens mit 3-maligem Nachschieben jeweils etwa um 13:00, 15:00 und 18:00 Uhr. Gefüttert wurden die Tiere mit einer TMR für Trockensteher. Der prozentuale Anteil der Trockenmasse schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 38,6 und 55 %. Zur zusätzlichen Geburtsüberwachung wurde seit Anfang 2014 das iVET® 3.0 Geburtsüberwachungssystem eingesetzt, wodurch auch bei Nachtkalbungen eine schnellstmögliche Geburtshilfe sichergestellt werden konnte. Nach der Kalbung wurden die Kälber von ihren Müttern getrennt und einzeln in Kälberiglus eingestallt. Die Muttertiere wurden in ein eingestreutes Abteil gebracht, wo sie die ersten Tage nach der Geburt eingestallt blieben. Zur elektronischen Erfassung und Aufzeichnung der Wiederkaudaten wurden Halsbänder des SCR Heatime™ HR-Systems genutzt. Um sicher zu stellen, dass das System im Voraus einen tierindividuellen Mittelwert (Normwert) errechnen konnte, wurden die Tiere mindestens 10 Tage vor dem errechneten Kalbetermin mit den Halsbändern ausgestattet. Die Wiederkaudaten wurden als 2 h-Werte gespeichert und in Excel-Tabellen transformiert. Der Beobachtungszeitraum für jede einzelne Kalbung waren die 8 Tage vor der Kalbung (Tag -8 bis -1) bis zum Kalbetag (Tag 0).

Um das Wiederkauverhalten des Tages vor der Kalbung (-1) und des Kalbetauges dem „regulären“ Tagesgang gegenüber zu stellen, wurde ein Durchschnittsverlauf der Tage außerhalb des abkalbenahen Zeitpunktes (Tage -8 bis -2) erstellt und mit dem Tagesrhythmus der Tage -1 und 0 verglichen. Der Kalbezeitpunkt war als der Zeitpunkt der vollendeten Austreibung definiert. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS der Version 22.0.

3. Ergebnisse und Diskussion

Zunächst wurden die 2 h-Werte der Wiederkaudauer der Tage -8 bis -2 aller 58 beobachteten Kalbungen gemittelt. Dadurch ergab sich ein durchschnittlicher („regulärer“) Tagesverlauf der Rumination auf Herdenniveau. Die Ergebnisse zeigen, dass der Normalverlauf der Wiederkaudauer zwei Tiefpunkte aufweist. Der erste Tiefpunkt zeigt sich am Vormittag um 08:00 Uhr während der Fütterungszeiten. Der zweite liegt in den frühen Abendstunden um 18:00 Uhr, sinkt dabei aber nicht auf ein so niedriges Niveau wie am Morgen. Das lässt sich durch die relativ gleichmäßige Futteraufnahme im Tagesverlauf durch das dreimalige Nachschieben erklären, wohingegen während der Nachtstunden relativ wenig Futter aufgenommen wird.

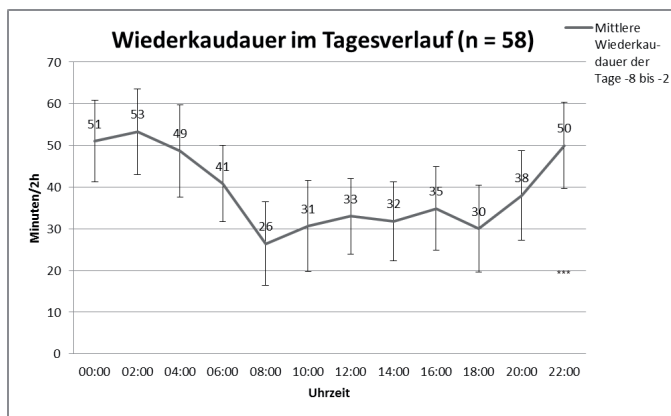


Abb. 1: Gemittelter „regulärer“ Tagesverlauf der Wiederkaudauer

Die höchste Wiederkaudauer zeigt sich in den Nachtstunden zwischen 22:00 und 02:00 Uhr. In den Mittags- bis Nachmittagsstunden zwischen 12:00 und 16:00 Uhr steigt die Rumination erneut an, das Niveau der Nachtstunden wird dabei allerdings nicht erreicht (Abb. 1). Der leichte Anstieg der Wiederkaudauer

um die Mittagszeit kann als Reaktion auf die Futteraufnahme in den Morgenstunden und dem weiteren Tagesverlauf gesehen werden. In den Nachtstunden herrscht die größte Ruhe im Stall, was die Tiere zum ausgiebigen Ruminieren anregt. Dies beweist, dass die Wiederkauaktivität hauptsächlich durch den Tagesablauf im Stall bestimmt wird. Einen sehr ähnlichen Tagesverlauf der Rumination während der Referenzperiode fanden Pahl et al. (2014), die ebenfalls die Wiederkauaktivität von Milchkühen in den 24 Stunden vor und nach der Kalbung untersuchten.

Im zweiten Schritt der Untersuchung wurde das Wiederkauverhalten der Tiere für jede einzelne Kalbung individuell untersucht (zwei Beispiele dafür in Abb. 2 und 3). Dazu wurden die 2 h-Werte der Wiederkaudauer der Tage -8 bis -2 gemittelt und in einer Grafik zweimalig hintereinander dargestellt. Anschließend wurden die 2 h-Werte der Tage -1 und des Tages 0 jeweils vor den tierindividuell regulären Tagesverlauf gelegt. Die gesteigerte Unruhe in den Stunden vor der Kalbung bewirkte einen Rückgang der Wiederkaudauer, der von dem Heatime-System aufgezeichnet wird. Durch optische Kenntlichmachung des genauen Kalbezeitpunktes in der Grafik kann abgelesen werden, wie viele Stunden vor der Kalbung die Auslenkung der Wiederkaudauer gegenüber dem individuellen Tagesverlauf begann. Die individuelle Darstellung der Kalbungen zeigte, dass bei einem großen Teil der Tiere die Wiederkaudauer am Tag -1 noch weitestgehend dem regulären Tagesgang folgte.

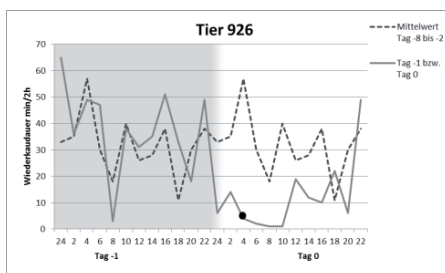


Abb. 2: Kalbung Tier 926

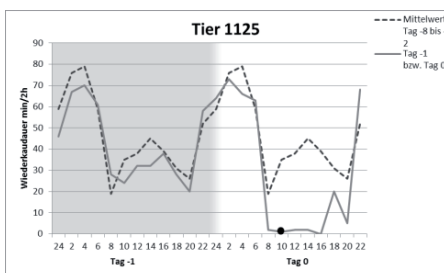


Abb. 3: Kalbung Tier 1125

Vor der Kalbung war schließlich eine deutliche Verminderung der Wiederkaudauer zu erkennen. Bei etwa 84 % der Kühe trat der Rückgang der Rumination bereits einige Stunden vor der Kalbung ein (siehe Beispiel in Abb. 2). Bei etwa 16 % der beobachteten Kalbungen trat der Rückgang der Wiederkauwerte allerdings erst sehr kurze Zeit vor der Kalbung ein, weswegen eine Prognose nicht

möglich gewesen wäre. Im unten dargestellten Beispiel der Kalbung von Tier Nummer 1125 fand die Kalbung zudem zu einem Tageszeitpunkt statt, zu dem die Ruminations auch im regulären Tagesverlauf rückläufig war (Abb. 3). Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die Möglichkeit der Früherkennung einer Kalbung auch von ihrem Zeitpunkt abhängig ist.

Um eine Aussage darüber treffen zu können, wie viele Stunden im Voraus der Rückgang der Ruminations im Mittel der beobachteten Kalbungen beginnt, wurden die gemittelten 2 h-Werte der 24 Stunden vor den Kalbungen jeweils den „Basalwerten“ (Mittelwerte der Tage -8 bis -2 mit Bezug zum jeweiligen Kalbezeitpunkt) gegenübergestellt (Abb. 4).

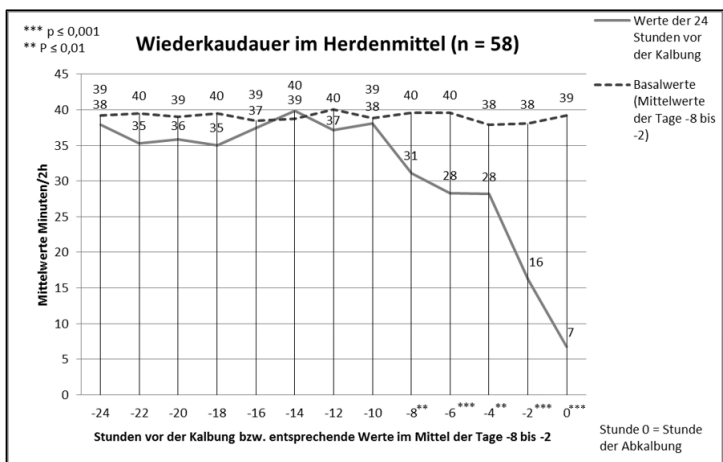


Abb. 4: Gemittelter Verlauf der Wiederkaudauer vor der Kalbung im Vergleich zu den Basalwerten

Die Grafik macht sichtbar, dass die Wiederkaudauer im Mittel aller Abkalbungen noch bis zehn Stunden vor der Geburt des Kalbes dem Verlauf der Basalwerte folgt. Bereits ab 8 Stunden vor der Kalbung tritt allerdings eine signifikante Abweichung vom Basalwert ein ($p \leq 0,01$). Die Wiederkaudauer geht ab diesem Zeitpunkt bis zur Stunde 4 vor der Kalbung zunächst leicht zurück, fällt darauf folgend deutlich ab und findet zur Stunde der Abkalbung ihren Tiefpunkt. Im Herdenmittel würde sich eine bevorstehende Kalbung demnach ab 8 Stunden vor der Kalbung durch den signifikanten Rückgang der Wiederkaudauer ankündigen. In den Untersuchungen von Büchel und Sundrum (2014) trat eine signifikante Reduktion der Wiederkaudauer in den 6 Stunden bis -2 vor Kalbebeginn ein.

Pahl et al. (2014) fanden eine verringerte Rumination ab 6 Stunden vor Ende der Kalbung, einen signifikanten Rückgang allerdings erst ab 4 Stunden vorher, was sich auch mit den Untersuchungen von Schirmann et al. (2013) deckt.

Bezogen auf das Herdenmittel war die Wiederkaudauer am Tag der Kalbung gegenüber den Tagen vor der Kalbung reduziert. In den Tagen nach der Kalbung stiegen die 2 h-Werte der Rumination stetig wieder an. Bei individueller Betrachtung der Kalbungen war allerdings auffällig, dass der Rückgang der Wiederkaudauer in Länge und Ausmaß stark variierte. Bei dem Großteil der Tiere blieb die Rumination für mehrere Stunden nach der Kalbung auf einem sehr niedrigen Niveau. Teilweise sank sie noch weiter ab oder blieb sogar für längere Zeit ganz aus. Ähnliche Beobachtungen machten Houwing et al. (1990). Sie fanden einen weiteren Rückgang der Rumination in den ersten drei Stunden nach der Kalbung mit einem darauf folgenden Wiederanstieg, besonders nachdem das Kalb von der Mutter entfernt wurde. Sie begründeten dies mit der Präferenz des Muttertieres, sich um das neugeborene Kalb zu kümmern. Die Ergebnisse von Pahl et al. (2014) verzeichneten eine durchschnittliche Wiederaufnahme der Rumination erst 355 Minuten nach der Kalbung, wobei die Kälber spätestens nach 120 Minuten von ihren Müttern getrennt wurden. Schirmann et al. (2013) beobachteten einen Wiederanstieg der Rumination in den 4 Stunden nach der Kalbung, der Ausgangswert wurde allerdings erst 48 Stunden nach der Kalbung wieder erreicht. Der Zeitpunkt der Trennung von Kalb und Muttertier scheint demnach zwar einen deutlichen Einfluss auf den Zeitpunkt der Wiederaufnahme der Rumination nach der Kalbung zu haben, er ist aber offensichtlich nicht allein ausschlaggebend. Vielmehr scheint der Startpunkt der Wiederkauaktivität nach der Kalbung auch von tierindividuellen Einflüssen (Puerperalstörungen, Nachgeburtsverhaltung) geprägt zu sein.

4. Fazit

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Wiederkaudauer stark durch die bevorstehende Kalbung beeinflusst wird. Die automatische Messung der Rumination kann demnach als unterstützendes Werkzeug im Geburtsmanagement zur Prognose des Kalbezeitpunktes genutzt werden. Es zeigte sich allerdings auch, dass das Wiederkauverhalten von Kühen vor der Kalbung sehr individuell ist und einige Tiere erst sehr kurzfristig vor der Kalbung einen Rückgang der Wiederkaudauer zeigen. Des Weiteren ist die Früherkennung der bevorste-

henden Kalbung von deren Zeitpunkt (Tag, Nacht) abhängig. Aus diesen Gründen können nicht alle Kalbungen anhand dieses Parameters im Voraus erkannt werden. Für Betriebe, die die automatische Messung der Wiederkaudauer als Hilfsmittel in das Geburtsmanagement integrieren möchten empfiehlt es sich daher, dennoch nicht auf die visuelle Kontrolle der Tiere vor der Kalbung zu verzichten.

5. Literaturangaben

- Büchel, S., Sundrum, A., 2014: Short communication: Decrease in rumination time as an indicator of the onset of calving. *J. Dairy Sci.* 97, 3120-3127.
- Calamari, L., Soriani, N., Panella, G., Petrera, F., Minuti, A., Trevisi, E., 2014: Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *J. Dairy Sci.* 97, 1-13.
- Gáspárdy, A., Efrat, G., Bajcsy, Á.C., Fekete, S.G., 2014: Electronic Monitoring of rumination activity as an indicator of health status and production traits in high-yielding dairy cows. *Acta vet. hung.* 62, 452-462.
- Houwing, H., Hurnik, J.F., Lewis, N.J., 1990: Behavior of periparturient dairy cows and their calves. *Ca. J. Anim. Sci.* 70, 355-362.
- Kornmatitsuk, B., Franzén, G., Gustafsson, H., Kindahl, H., 2003: Endocrine measurements and calving performance of Swedish red and white and Swedish Holstein dairy cattle with special respect to stillbirth. *Acta vet. scand.* 44, 21-33.
- Liboreiro, D.N., Machado, K.S., Silva, P.R.B., Maturana, M.M., Nishimura, T.K., Brandão, A.P., Endres M.I., Chebel, R.C., 2015: Characterization of peripartum rumination and activity of cows diagnosed with metabolic and uterine diseases. *J. Dairy Sci.* 98, 1-16.
- Mee, J.F., 2004: Managing the dairy cows at calving time. *Vet. Clin. Food Anim.* 20, 521-546.
- Pahl, C., Hartung, E., Grothmann, A., Mahlkow-Nerge, K., Haeussermann, A., 2014: Rumination activity of dairy cows in the 24 hours before and after calving. *J. Dairy Sci.* 97: 1-7.
- Reith, S., Hoy, S., 2012: Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 6416-6420.
- Schirmann, K., Chapinal, N., Weary, D.M., Vickers, L., von Keyserlingk, M.A.G., 2013: Short communication: Rumination and feeding behavior before and after calving in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 96, 1-5.

Soriani, N., Trevisi, E., Calamari, L., 2012: Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *J. Anim. Sci.* 90, 4544-4554.

Wells, S.J., Dargatz, D.A., Ott, S.L., 1996: Factors associated with mortality to 21 days of life in dairy heifers in the United States. *Prev. Vet. Med.* 29, 9-19.

Bewertung nachhaltiger Rinderfütterung mittels des Indikatorensystems „REPRO Tiermodul“

A. Rauen, K.-H. Südekum

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften,
Bonn

1. Einleitung

Die Landwirtschaft stellt sich der Herausforderung des Managements endlicher Ressourcen sowie des Erhalts der Boden-, Wasser- und Luftqualität. Dabei erfordert die weltweit steigende Nachfrage nach Lebensmitteln tierischen Ursprungs eine immer intensivere Nutzung der vorhandenen landwirtschaftlichen Nutzfläche. Um dennoch eine nachhaltige Produktion zu erreichen und umzusetzen, ist es notwendig, diese zunächst klar zu definieren. Weiter müssen Indikatoren zur Bewertung gefunden und Zielwerte festgelegt werden, um eine Einstufung der Nachhaltigkeit vornehmen oder das Fehlen einer nachhaltigen Bewirtschaftung offenlegen zu können. In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Verbundprojekt („Entwicklung eines Nachhaltigkeitsmanagementsystems für Rinder haltende Betriebe: Fütterung, Ressourcen, Klima, Tiergerechtigkeit“), mit dem eine Erweiterung des bestehenden softwarebasierten Bewertungssystems für Ackerbaubetriebe „REPRO“ um die Tierart Rind angestrebt wurde, wird von der klassischen dreidimensionalen Definition mit einer ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponente der Nachhaltigkeit ausgegangen.

Nachhaltiges Management von Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Zufuhren in der Nutztierfütterung ist eine der elementaren Strategien zur Absenkung unerwünschter umwelt- und klimaschädlicher Verbindungen. Eine möglichst effiziente Nutzung der in der Fütterung eingesetzten Nährstoffe bedingt geringere Ausscheidungen ungenutzter N- und P-Verbindungen und rückt so in den Fokus der Überlegungen.

2. Material und Methoden

Um die Indikatoren zur Bewertung einer nachhaltigen Fütterung praxisnah definieren zu können, sind Kenntnisse der Höhe der Futteraufnahme sowie die

Rationszusammensetzung auf rinderhaltenden Betrieben gleichermaßen von Interesse. Die Abschätzung des Nährstoffinputs erfolgte über eine betriebliche Datenabfrage bei Milcherzeugern ($n = 10$), Rindermästern ($n = 3$) und einer Mutterkuhhaltung unter zur Hilfenahme der DLG-Futtermitteldatenbank. Über einschlägige Regressionsgleichungen aus der Literatur und Erhebung der betrieblichen Leistungsdaten wird der ungenutzte Nährstoffanteil in den Ausscheidungen bestimmt (Kluth, 1998, Lellmann et al., 2005, Nousiainen et al., 2011, Spiekers et al., 2012). Die Ableitung der daraus resultierenden Emissionen (u. a. NH_3 , N_2O) ist so möglich.

3. Ergebnisse und Diskussion

Auf den ausgewählten Testbetrieben konnten die in Tabelle 1 aufgeführten Nährstoffaufnahmen und die entsprechenden Ausscheidungen ermittelt werden. Grundsätzlich führt ein hoher Nährstoffinput auch zu hohen N- und P-Ausscheidungen. Dies gilt für alle drei Produktionsrichtungen. Die Betriebe B8, B9 und B10 weisen sowohl für die N- und P-Aufnahmen als auch für die entsprechenden Ausscheidungen maximale Werte auf, während sich für Betrieb B4 und B5 eher niedrige Nährstoffaufnahmen bzw. -ausscheidungen feststellen lassen. Die im Rahmen der Evaluierung des Nachhaltigkeitssystems durchgeführten Beobachtungen lassen keine eindeutigen Rückschlüsse auf die Bewirtschaftungsform (konventionell/ökologisch) hinsichtlich eines besonders hohen oder niedrigen Nährstoffinputs über die Fütterung zu, wobei dies mutmaßlich auf der geringen Anzahl der Testbetriebe beruht. Die wesentlich über dem betrieblichen Mittel liegenden N-Aufnahmen pro Tier und Jahr bei Betrieb B12 sind vermutlich auf den Anteil Grassilage in der Ration zurückzuführen, während die anderen Betriebe eine Mast allein auf Basis von Maissilage ohne Anteile von Grünfutter (-konserven) durchführen. Aufgrund der Datenerhebung bei nur einem Mutterkuhhaltenden Betrieb sind hier keine Vergleiche möglich. Da es sich bei Betrieb B14 jedoch um ein extensives Halungsverfahren handelt (ganzjähriger Weidegang für Mutterkühe) sind die Nährstoffaufnahmen eher als gering einzustufen.

Die ermittelten Ausscheidungen liegen über alle Produktionsrichtungen hinweg sowohl für N (Castillo et al., 2001, Sheppard und Bittman, 2011, DLG, 2014) als auch für P (Kristensen und Kristensen, 1998, Wu et al., 2000, DLG, 2014) auf einem typischen Niveau. Dabei ist zu beachten, dass bei der Darstellung der

Werte (Tab. 1) für die Milcherzeugung der gesamte Tierbestand betrachtet wird und entsprechend nur ein kombinierter Zahlenwert für Milchkühe und Jungtiere vorliegt.

Tab. 1: Ermittelte Leistungen, Stickstoff-(N)- und Phosphor-(P)-Aufnahmen sowie -ausscheidungen auf ausgewählten Testbetrieben

Nr.	Milchleistung		N-Aufnahme	N-Ausscheidung	P-Aufnahme	P-Ausscheidung
	kg/a u. Kuh	kg eP/a	kg N/a u. Tier	kg N/a u. Tier	kg P/a u. Tier	kg P/a u. Tier
1	10330	347008	143,53	102,86	24,63	14,46
2	8153	13167	110,57	82,63	16,66	9,34
3	9399	147247	121,85	92,04	22,53	13,67
4	6897	6238	88,91	66,59	16,44	11,11
5 ^a	7544	43127	99,77	72,66	14,32	8,00
6	8913	35556	105,83	79,97	18,29	11,87
7	8138	94623	121,81	91,41	18,36	14,03
8 ^b	9326	66272	169,24	123,70	31,05	21,33
9 ^a	8342	51194	137,39	103,52	24,91	15,54
10	11746	214357	149,69	116,62	23,14	14,96
LMZ						
	kgLMZ/ Tier u. a	kg eP/a				
11	450	2794	53,12	45,97	12,60	9,23
12	497	22766	83,06	69,65	15,90	12,17
13	491	6559	64,95	51,70	12,00	8,33
LMZAbsetzer						
	kgLMZ/ Tier und a	kg eP/a				
14	57	1096	64,81	40,46	9,69	7,71

^a ökologische Bewirtschaftung; ^b ohne Färsenaufzucht; eP = essbares Protein; LMZ = Lebendmassezunahme

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit wurden die Indikatoren N-Effizienz [kg N-Input/kg essbares Protein] und P-Effizienz [kg P-Input/kg essbares Protein] entwickelt. Die Indikatoren stellen die jährliche Nährstoffaufnahme über die

Fütterung im Verhältnis zu dem auf dem landwirtschaftlichen Betrieb produzierten essbaren Protein (eP) innerhalb eines Jahres dar. Dabei wurde eP als Basis gewählt, um den Vergleich zwischen Milch und Fleisch produzierenden Betrieben zu ermöglichen, wobei die Umrechnung nach Flachowsky (2002, 2008) erfolgt. Die Quotienten zur Charakterisierung der Effizienzen sind analog der Vorgehensweise bei Größen wie „Futtermittelverbrauch“ so gebildet, dass eine Verringerung des Zahlenwertes eine Effizienzsteigerung bedeutet.

Die Annäherung an einen Zielbereich für die Indikatoren erfolgte unter Einbeziehung von Standardnährstoffaufnahmen (DLG, 2014). Die dort angegebenen Werte für die verschiedenen Tiergruppen in den Produktionsrichtungen Milcherzeugung, Mast und Mutterkuhhaltung lassen sich als Werte der „guten fachlichen Praxis“ einschätzen, welches die ökologischen Risiken minimiert, jedoch eine – im ökonomischen Sinne – vernünftige Bewirtschaftung berücksichtigt und zulässt.

Entsprechend lassen sich hier anzustrebende N- und P-Inputs eines Betriebes in Bezug auf eine bestimmte tierische Leistung festlegen. Damit ergeben sich für die drei Produktionsrichtungen die in den Tabellen 2 und 3 dargestellten Zielwerte. Demgegenüber stehen die in der Praxis ermittelten Betriebswerte. Betrachtet man die prozentuale Abweichung von Betriebs- und Zielwert voneinander, erreichen nur die Betriebe B3, B4 und B5 einen positiven Wert und damit einen geringeren N-Input im Bezug zur Leistung, als im Rahmen der „guten fachlichen Praxis“ vorgegeben wird, wobei es sich bei B3 und B4 um konventionelle und bei B5 um einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb handelt. Der verbleibende ökologische Betrieb B9 verzeichnet hingegen mit 16,3 % eine stark negative Abweichung vom Zielwert (Tab. 2). Hier lässt sich auch erkennen, dass eine Betrachtung des Nährstoffinputs über die Fütterung im Verhältnis zur Leistung, hier mittels eP, sinnvoll ist, um eine fachgerechte Bewertung der Betriebe zu ermöglichen. Vergleicht man die Betriebe untereinander allein anhand ihrer N-Aufnahmen, wird der im Produkt genutzte Nährstoffanteil außer Acht gelassen. So weist beispielweise B10 die zweithöchste N-Aufnahme pro Tier auf (Tab. 1), verfehlt jedoch durch eine hohe Milchleistung den Zielwert bei Betrachtung des Indikators N-Effizienz um nur 10 %.

Umgekehrt lässt sich dieses Szenario für B7 beschreiben, der im Vergleich zwar eine geringere N-Aufnahme pro Tier und Jahr erzielt, im Verhältnis dazu aber auch eine deutlich schlechtere Leistung der Tiere dokumentiert. Die relative

Abweichung der Rindermastbetriebe liegt zwischen -25,0 und -28,4 %, womit deutlichere Unterschiede zwischen Ziel- und Betriebswert als bei den milcherzeugenden Betrieben vorliegen. Trotz der geringen Leistung, erreicht die Mutterkuhhaltung eine positive Abweichung von rund 5 %, was auf die extensive Bewirtschaftung zurückzuführen ist.

Tab.2: Vergleich von erhobenen Betriebs- und ermittelten Zielwerten des Indikators N-Effizienz

Nr.	Betriebswert kg N/kg eP	Zielwert kg N/kg eP	Abweichung %
Milch			
1	0,80	0,71	-12,36
2	0,96	0,93	-2,99
3	0,82	0,86	4,83
4	0,99	1,07	7,22
5	0,86	0,99	13,52
6	0,96	0,94	-2,54
7	1,01	0,89	-13,69
8	0,86	0,70	-22,32
9	0,98	0,85	-16,29
10	0,84	0,76	-10,26
Mast			
11	1,35	1,08	-25,00
12	1,47	1,08	-26,53
13	1,39	0,99	-28,43
Mutterkuh			
14	11,35	11,95	5,02

kg N = N-Input Fütterung; eP = essbares Protein

Für den Indikator P-Effizienz kann eine deutliche Spannweite (+21,6 bis -40,4 %) in den relativen Abweichungen von Betriebs- und Zielwert zwischen den milcherzeugenden Testbetrieben festgestellt werden (Tab. 3).

Die Differenzen liegen damit höher als beim Indikator N-Effizienz. Die größten negativen prozentualen Unterschiede (B8 und B9) weichen vom erwarteten Wert sogar um mehr als 25 % ab. Wie auch beim Indikator N-Effizienz liegen die Rindermastbetriebe bei Betrachtung der prozentualen Abweichung von Ziel- und Betriebswerten nah beieinander, wobei ihre deutliche negative Divergenz

auffällig ist. Die Mutterkuhhaltung hingegen kommt im Vergleich dazu mit einem Unterscheid von -12,6 % dem erwarteten Zielwert wesentlich näher. Damit übersteigen, bei der Unterstellung der Angabe einer bedarfsdeckenden P-Aufnahme für die verschiedenen Tiergruppen der unterschiedlichen Nutzungsrichtungen durch die DLG (2014), die Phosphorgaben den Bedarf der Tiere auf fast allen Betrieben deutlich, wobei auf 10 der 14 Betriebe der Einsatz von Mineralfutter erfolgt. In der Praxis werden Ration zumeist hinsichtlich ihres (n)XP- und Energiegehalts optimiert. Hierbei gerät der P-Gehalt der eingesetzten Futtermittel aus dem Fokus. Dabei weisen gerade sehr rohproteinreiche Futtermittel (z. B. Soja- und Rapsextraktionsschrot) hohe P-Gehalte in der Trockenmasse auf (Dou et al., 2003, Arriaga et al., 2009). Somit wäre eine Notwendigkeit der Supplementierung durch Mineralfutter zu überprüfen.

Tab.3: Vergleich von erhobenen Betriebs- und ermittelten Zielwerten des Indikators P-Effizienz

Nr.	Betriebswert kg P/kg eP	Zielwert kg P/kg eP	Abweichung %
Milch			
1	0,14	0,11	-21,77
2	0,14	0,15	1,80
3	0,15	0,13	-11,70
4	0,18	0,17	-10,21
5	0,12	0,16	21,55
6	0,17	0,15	-12,81
7	0,15	0,14	-8,02
8	0,16	0,11	-40,41
9	0,18	0,13	-32,73
10	0,13	0,12	-7,51
Mast			
11	0,63	0,43	-46,51
12	0,34	0,19	-44,12
13	0,26	0,18	-30,77
Mutterkuh			
14	1,79	1,59	-12,58

kg P = P-Input Fütterung; eP = essbares Protein

4. Schlussfolgerung

Die Beschreibung aussagekräftiger Indikatoren und Zielwerte stellt ein praktisches Werkzeug zum Erreichen einer ressourcenschonender Landwirtschaft dar. Weiter können die erhobenen Daten zur Schwachstellenanalyse eingesetzt werden und somit als Beratungsinstrument dienen. Im Rahmen eines Bewertungssystems der Nachhaltigkeit auf landwirtschaftlichen Betrieben sollten darüber hinaus Grenzwerte als K.O.-Kriterien festgelegt werden, um den Einsatz von Stickstoff- und Phosphorverbindungen zu überprüfen und gegebenenfalls als „nicht nachhaltig“ einzustufen. Die Fütterung bedarfsangepasster Rationen kann auf den meisten Testbetrieben nicht umgesetzt werden und stellt so auch weiterhin eine elementare Möglichkeit zur Verbesserung der Ressourcennutzung dar.

5. Literaturangaben

- Arriaga, H., Pinto, M., Calsamiglia, S., Merino, P., 2009: Nutritional and management strategies on nitrogen and phosphorus use efficiency of lactating dairy cattle on commercial farms: An environmental perspective. *J. Dairy Sci.* 92, 204-215.
- Castillo, A.R., Kebreab, E., Beaver, D.E., Barbi, J.H., Sutton, J.D., Kirby, H.C., France, J., 2001: The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *J. Anim. Sci.* 79, 247-253.
- DLG, 2014: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG/Band 199. 2. Auflage. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Dou, Z., Ferguson, J.D., Fiorini, J., Toth, J.D., Alexander, S.M. Chase, L.E., Ryan, C.M., Knowlton, K.F., Kohn, R.A., Peterson, A.B., Sims, J.T., Wu, Z., 2003: Phosphorus feeding levels and critical control points on dairy farms. *J. Dairy Sci.* 86, 3787-3795.
- Flachowsky, G., 2002: Efficiency of energy and nutrient use in the production of edible protein of animal origin. *J. Appl. Anim. Res.* 22, 1-24.
- Flachowsky, G., 2008: Wie kommen wir zu CO₂-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft? *Arch. Tierz.* 51, 67-82.

- Kluth, H., 1998: Beziehung zwischen der N-Exkretion, der N- und Energieaufnahme, dem Fluß von Aminosäuren ins Duodenum und der N-Bilanz im Pansen beim wachsenden Jungbullen. Dissertation. Universität Rostock.
- Kristensen, V.F., Kristensen, T., 1998: The amount and composition of cattle faeces and urine and the excretion of N, P and K in faeces and urine. In: H.D. Poulsen und V.F. Kristensen (Hrsg.): DIAS report No. 7. Animal Husbandry. Standard Values for Farm Manure. Danish Centre of Agricultural Sciences, Tjele.
- Lellmann, A., Kühbauch, W., Schellberg, J., 2005: Untersuchungen zum Nährstoffkreislauf, zur Leistung des Grünlands und der Rinder bei Nährstoffextensiver Mutterkuhhaltung und ausschließlicher Grünlandnutzung im Mittelgebirge. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL, Nr. 136.
- Nousiainen, J., Tuori, M., Turtola, E., Huhtanen, P., 2011: Dairy farm nutrient management model. 1. Model description and validation. *Agric. Syst.* 104, 371-382.
- Sheppard, S.C., Bittmann, S., 2011: Farm survey used to guide estimates of nitrogen intake and ammonia emissions for beef cattle, including early season grazing and phosphorus effects. *Anim. Feed Sci. and Technol.* 166-167, 688-698.
- Spiekers, H., Ettle, T., Pries, M., Grünewald, K.-H., 2012: Kalkulation der Nährstoffausscheidungen beim Rind. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, 710-717.
- Wu, Z., Satter, L.D., Sojo, R., 2000: Milk production, reproductive performance, and fecal excretion of phosphorus by dairy cows fed three amounts of phosphorus. *J. Dairy Sci.* 83, 1028-1041.

Untersuchung der Kongenerenprofile von Dioxinen in Futtermitteln

J. Kowalczyk, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt

Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

1. Einleitung

Berichte über Dioxine (Polychlorierten Dibenzo-*p*-dioxinen und Dibenzofuranen [PCDD/F]) in der Umwelt, insbesondere aber in Futter- oder Lebensmitteln, treffen häufig auf hohes Medieninteresse und verunsichern nicht selten Verbraucherinnen und Verbraucher. Betrachtet man die PCDD/F-Lebensmittelkrisen in den letzten Jahren so war nicht selten der illegale Eintrag von PCDD/F über Futtermittel der auslösende Faktor (Malisch, 2014, Hoogenboom et al., 2007).

Für die Identifikation der Kontaminationsursache wird häufig das Dioxin-Kongenerenmuster herangezogen, da jede Kontaminationsursache ein charakteristisches Kongenerenprofil erzeugt. Die Charakterisierung des Kongenerenprofils ist jedoch sehr komplex und setzt spezifische Kenntnisse über den Entstehungsprozess von PCDD/F voraus.

Die in der Literatur verfügbaren Daten zu PCDD/F in Futtermitteln beschreiben in erster Linie erhöhte Gehalte an PCDD/F-Kongeneren in Futtermitteln, die entstanden sind durch ein unsachgemäßes Futtermittelherstellungsverfahren (Malisch, 2014, Watson und Weber, 2011), industrielle Emissionen (Schuler et al., 1997, Stephens et al., 1995, Costera et al., 2006) oder durch Spiken der Futtermittel mit Standardsubstanzen für Carry over-Versuche (Ruoff, 1995).

Nur eine Studie liegt vor, in der die Hintergrundbelastung der Futtermittel repräsentativ erfasst wurde. Im Jahr 2009 wurde unter Federführung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) eine nationale Statuserhebung zu Dioxingehalten in Futtermitteln durchgeführt (BMELV, 2009). Publiziert wurden die Ergebnisse als Summenhöchstgehalte (WHO-PCDD/F-TEQ), so dass sich hieraus kein Hinweis auf den Gehalt der einzelnen PCDD/F-Kongenere in den untersuchten Futtermitteln ergibt.

Ziel der Untersuchung am BfR ist, das Verteilungsmuster von PCDD/F-Kongeneren in verschiedenen Futtermitteln in der Bundesrepublik Deutschland zu charakterisieren. Bei den betrachteten Kongeneren handelt es sich um 17 Einzelkongenere (7 Dibenzodioxine und 10 Dibenzofurane), die toxikologisch bedeutsam sind und für die von der WHO Toxizitätsäquivalenzfaktoren festgelegt wurden (Van den Berg et al., 2006).

Die Identifizierung der relativen und quantitativen Verteilung der Kongenere in den Futtermitteln soll den Status Quo der PCDD/F-Gehalte in Futtermitteln abbilden und den Grundstein weiterer Untersuchungen zum Übergang einzelner Kongenere in Lebensmitteln tierischer Herkunft legen.

2. Material und Methoden

Für die Untersuchung der Kongenerenprofile von PCDD/F in Futtermitteln lagen dem BfR aus den Stuserhebungen der Länder zu PCDD/F und PCB in Futtermitteln Daten aus den Jahren 2011 bis 2013 vor. Die Daten wurden durch die amtlichen Futtermittelüberwachungsbehörden im Rahmen der „Empfehlung der Kommission (2011/516/EU)“ gezogen und untersucht. Der Datensatz wurde dem BfR anonymisiert durch das Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) übermittelt und umfasste insgesamt 1052 Futtermittelproben.

Vor Beginn der Datenauswertung erfolgte eine Prüfung der Daten auf deren Datenqualität. Daten mit unvollständigen Angaben, z. B. unklarer Bezugsgröße, wurden nicht in die Auswertung einbezogen. Insgesamt sind 1036 Futtermittelproben in die Datenauswertung eingeflossen, die für die Auswertung in unterschiedlichen Futtermittelkategorien zusammengefasst wurden (Abb. 1).

Für die Ermittlung der PCDD/F-Kongenerenprofile in den Futtermitteln wurden die upper bound-Konzentration berechnet und diese anschließend mit den im Jahr 2005 von der WHO reevaluierten Toxizitätsequivalentfaktoren (TEF) für PCDD/F verrechnet. Die dadurch erhaltenen TEQ-Konzentrationen wurden zur Bestimmung der WHO-PCDD/F-TEQ-Gesamtkonzentration aufsummiert. Anschließend wurde die TEQ-Gesamtkonzentration auf 100 % gesetzt und über die TEQ-Konzentrationen der einzelnen Kongenere deren relative Anteile bestimmt. Die deskriptive Statistik wurde durchgeführt mit SPSS Version 21.

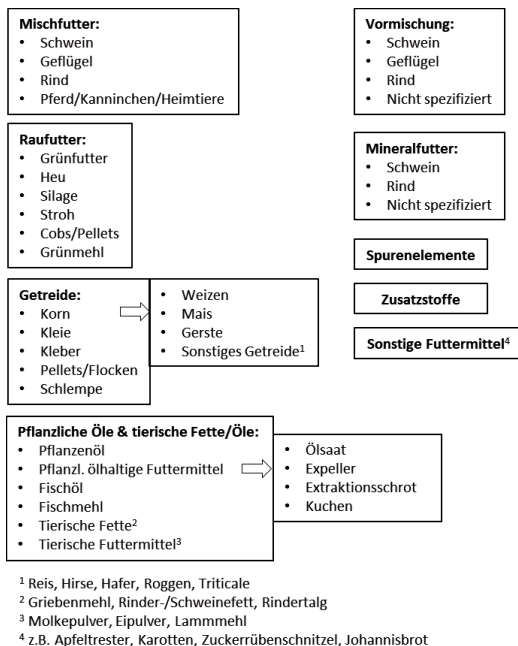


Abb. 1: Kategorisierung der Futtermittelproben (n = 1036)

3. Ergebnisse

Die Gehalte an PCDD/F in allen untersuchten Futtermitteln lagen im Median bei 0,046 ng/kg (88 % TM) WHO-PCDD/F-TEQ. Der Median lag damit deutlich unter dem niedrigsten für Futtermittel festgesetzten Auslösewert von 0,5 ng/kg WHO-PCDD/F-TEQ (Richtlinie 2006/13/EG). Die Auswertung der PCDD/F-Gehalte in allen Futtermittelkategorien ausgedrückt in WHO-PCDD/F-TEQ zeigte, dass keine der untersuchten Futtermittel, den in der Richtlinie Nr. 2006/13/EG, gestützt auf die Richtlinie 2002/32/EG festgelegten Höchstgehalt für PCDD/F in Futtermitteln überschritt (Abb. 2).

Abbildung 3 zeigt den relativen Anteil der einzelnen Kongenere ausgedrückt in PCDD/F-TEQ im Vergleich zum PCDD/F-TEQ-Gesamtgehalt in Mischfuttermittel für unterschiedliche Tierarten. Alle Mischfuttermittel weisen vergleichsweise hohe relative TEQ-Gehalte an 2,3,7,8-TCDD, 1,2,3,7,8-PeCDD sowie an 2,3,7,8-TCDF und 2,3,4,7,8-PeCDF auf. Das Kongenerenprofil in Mischfuttermitteln für Fische unterschied sich von den übrigen Mischfuttermitteln durch

höhere relative TEQ-Gehalte an 2,3,7,8-TCDF (21 %) und 2,3,4,7,8-PeCDF (31 %).

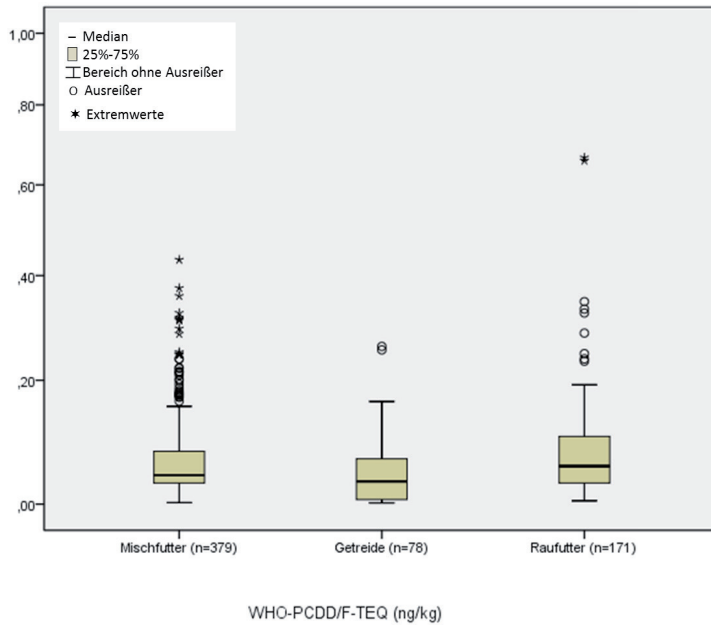


Abb. 2: WHO-PCDD/F-TEQ (ng/kg, 88 % TM) in Mischfuttermitteln, Getreide und Raufutter

Beispiele an PCDD/F-Kongenerenprofilen in Futtermitteln

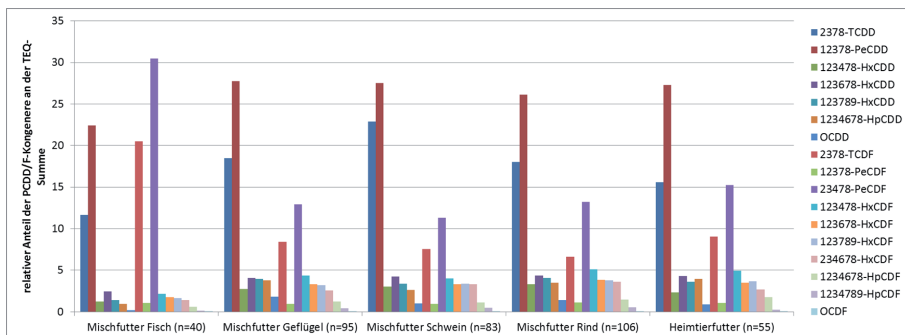


Abb. 3: Typische Dioxin-Kongenerenprofile in Mischfuttermitteln für unterschiedliche Tierarten (Ergebnisse dargestellt als relativer Anteil der PCDD/F-Kongeneren am TEQ-Gesamtgehalt)

Im Vergleich zu den Mischfuttermitteln wiesen die Grün- und Raufutter höhere relative TEQ-Gehalte an mittel- und hochchlorierten PCDD/F auf. Stroh wies vergleichsweise hohe relative TEQ-Gehalte an 1,2,3,6,7,8-HxCDD (8 %) und 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (9 %) sowie 2,3,7,8-TCDF (14 %) auf. Die Auswertung der Cobs/Pellets zeigte einen relativen TEQ-Gehalt an dem hochgiftigen 2,3,7,8-TCDD von mehr als 15 %. Von allen untersuchten Grün- und Raufuttermitteln wiesen Grünmehle einen tendenziell höheren relativen TEQ-Gehalt an 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF (4 %) auf.

Während die verschiedenen Grün- und Raufuttermittel ähnliche PCDD/F-Kongenerenprofile aufzeigten, wiesen die Futtermittel Pflanzenöl, Fischöl und tierische Fette der Futtermittelkategorie pflanzliche Öle und tierische Fette/Öle deutliche Unterschiede in den PCDD/F-Kongenerenprofilen auf. Pflanzenöl enthielt im Vergleich zu Fischöl und tierischen Fetten höhere relative TEQ-Gehalte an 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (6 %) und OCDD (3 %). Die vergleichsweise hohen relativen TEQ-Gehalte dieser zwei Kongenere am PCDD/F-Gesamtgehalt waren bedingt durch hohe upper bound-Konzentrationen (30 und 60 pg/kg), weil hier auch nach Multiplikation mit den – aufgrund der geringeren toxikologischen Wirkung von 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD und OCDD – vergleichsweise niedrigen TEFs (0,01 und 0,0003), der relative Anteil dieser zwei Kongenere nicht an Bedeutung abnahm.

Wie auch in Mischfuttermitteln für Fische fanden sich in Fischöl vergleichsweise hohe relative TEQ-Gehalte an 2,3,7,8-TCDF (14 %) und 2,3,4,7,8-PeCDF (20 %) wieder.

Im Vergleich zu Pflanzenöl und Fischöl zeichneten sich tierische Fette durch geringere relative TEQ-Gehalte an 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (1 %) und OCDD (< 0,1 %) sowie höhere relative TEQ-Gehalte an sechsfachchlorierten PCDD (4,7%) und PCDF (4,7%) aus.

4. Ausblick

Die in der Literatur verfügbaren Daten über Untersuchungen zu PCDD/F-Kongenerenprofilen aus anthropogenen Quellen (z. B. Müllverbrennungsanlagen, Emissionen der Stahlindustrie oder Bränden) zeigen charakteristische PCDD/F-Muster entsprechend des verwendeten thermischen Verfahrens

sowie der währenddessen anwesenden Chlorchemikalien (Cleverly et al., 1997; Bueckens et al., 2000; Lindert und Fiedler, 1999). Die Auswertung verfügbarer Literaturstudien zur natürlichen und anthropogenen Entstehung von PCDD/F soll dem besseren Verständnis des Vorkommens der Kongenere in Futtermitteln dienen. Des Weiteren soll die Erfassung der typischerweise vorkommenden PCDD/F-Kongenere in Futtermitteln Informationen zur derzeitigen Hintergrundbelastung der Futtermittel sowie auf mögliche Verarbeitungsverfahren (z. B. thermische Behandlungen) geben. Durch die Charakterisierung der PCDD/F-Kongenereprofile in Futtermitteln können bei Gegenüberstellung der Daten mit „untypischen“ Kongenereprofilen in Futtermitteln erste Hinweise auf Kontaminationen gegeben werden. Außerdem kann im Ereignisfall die Kontaminationsursache rasch identifiziert und die Eintragsquellen unterbunden werden.

In einem weiteren Arbeitsschritt soll auf Basis der Erkenntnisse über die PCDD/F-Hintergrundbelastung der Futtermittel und den in der Literatur verfügbaren Carry over-Studien das spezifische PCDD/F-Kongenereprofil in tierischen Lebensmittel mathematisch abgeleitet und mit den üblicherweise vorkommenden Kongenereprofilen in Lebensmittel tierischen Ursprungs verglichen werden. Ziel ist anhand von Kongenereprofilen in Futtermitteln eine modelltheoretische Abschätzung der Gehalte in tierischen Lebensmitteln zu ermöglichen und bei Veränderungen im Kongenereprofil das toxikologische Potential für den Verbraucher zu charakterisieren.

5. Literaturangaben

BMELV, 2009: Stuserhebung zu Dioxinen und PCB in Futter- und vom Tier stammenden Lebensmitteln. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 522. Verlagsgesellschaft W.E. Weinmann e.K., Filderstadt.

Buekens, A., Cornelis, E., Huang, H., Dewettinck, T., 2000: Fingerprints of dioxin from thermal industrial processes. *Chemosphere*. 40(9-11):1021-4.

- Cleverly, D., Schaum, J., Schweer, G., Becker, J., Winters, D., 1997: The congener profiles of anthropogenic sources of chlorinated dibenzo-p-dioxins and chlorinated dibenzofurans in the United States. presentation at Dioxin '97, the 17th International Symposium on Chlorinated Dioxins and Related Compounds, held August 25-29 in Indianapolis, IN, USA. Short paper in, Organohalogen Compounds, Volume 32:430-435.
- Costera, A., Feidt, C., Marchand, P., Bizec, B.L., Rychen, G., 2006: PCDD/F and PCB transfer to milk in goats exposed to a long-term intake of contaminated hay. *Chemosphere*. 64(4):650-7.
- Hoogenboom, L.A., Van Eijkeren, J.C., Zeilmaker, M.J., Mengelers, M.J., Herbes, R., Immerzeel, J., 2007: A novel source for dioxins present in recycled fat from gelatin production. *Chemosphere*. 68(5):814-23.
- Lindert, M., Fiedler, H., 1999: Auftreten von PCDD/PCDF in Brandfällen. *Umweltwiss Schadstoff-Forsch*. 11(1):39-47.
- Malisch, R., Kotz, A., 2014: Dioxins and PCBs in feed and food — Review from European perspective. *Sci Total Environ*;491–492:2-10.
- Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Mai 2002 über unerwünschte Stoffe in der Tierernährung. 2002L0032 — DE — 26.02.2013 — 017.001.
- Richtlinie 2006/13/EG der Kommission vom 3. Februar 2006 zur Änderung der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über unerwünschte Stoffe in Futtermitteln in Bezug auf Dioxine und dioxinähnliche PCB. *Amtsblatt der Europäischen Union L 32/44* vom 4.2.2006.
- Ruoff, U., 1995: Untersuchungen zum Übergang ausgewählter polychlorierter Dibenzo-para-Dioxine und -Furane nach oraler Supplementierung in die Milch laktierender Kühe. (PhD), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und Institut für Hygiene der Bundesanstalt für Milchforschung, Kiel, Germany.
- Schuler, F., Schmid, P., Schlatter, C., 1997: The transfer of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from soil into eggs of foraging chicken. *Chemosphere*. 34(4):711-8.
- Stephens, R.D., Petreas, M.X., Hayward, D.G., 1995: Biotransfer and bioaccumulation of dioxins and furans from soil: chickens as a model for foraging animals. *Sci Total Environ*. 175(3):253-73.

- VandenBerg, M., Birnbaum, L.S., Denison, M., De Vito, M., Farland, W., Feeley, M., Fiedler, H., Hakansson, H., Hanberg, A., Haws, L., Rose, M., Safe, S., Schrenk, D., Tohyama, C., Tritscher, A., Tuomisto, J., Tysklind, M., Walker, N., Peterson, R.E., 2006: The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-Like Compounds. *Toxicological Sciences*, 93(2), 223-241.
- Watson, A., Weber, R., 2011: Assessment of the PCDD/PCDF fingerprint of the dioxin food scandal from bio-diesel in Germany and possible PCCD/F sources. *Organohalogen Compounds*. 73:400-3.

Fusarientoxine in Mais der Ernte 2014 – Übersicht der Ergebnisse aus dem Bundesgebiet

A. Töpfer¹

¹LTZ Augustenberg, Karlsruhe

1. Ausgangssituation und Datenmaterial

In zur Verfütterung eingesetzten Mais und Maisprodukte der Ernte 2014 wurden teilweise hohe Gehalte an Fusarientoxinen nachgewiesen. Insbesondere die Toxine Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) können zu gesundheitlichen Problemen bei landwirtschaftlichen Nutztieren führen. Schweine reagieren auf diese Toxine besonders empfindlich. Bei entsprechenden Gehalten der Toxine im Futter, können bei den Tieren Symptome auftreten, die von verminderter Futtermittelaufnahme und Leistung über Fruchtbarkeitsstörungen bis hin zu Nekrosen sowie Erbrechen oder Durchfall reichen. Daher wurden von der EU Richtwerte für diese Toxine in Futtermitteln ausgegeben. Für Mais und bestimmte Mischfuttermittel sind diese in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Auszug aus den EU-Richtwerten für DON und ZEA in zur Verfütterung an Tiere bestimmten Erzeugnissen.

Mykotoxin	Zur Fütterung bestimmtes Erzeugnis	Richtwert mg/kg (88%TS)
DON	Mais und Maisprodukte	8
	Maisnebenprodukte	12
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel außer:	5
	Ergänzungs- und Alleinfutter für Schweine	0,9
ZEA	Mais und Maisprodukte	2
	Maisnebenprodukte	3
	Ergänzungs- und Alleinfuttermittel für Ferkel und Jungsauen	0,1
	Ergänzungs- und Alleinfutter für Sauen und Mastschweine	0,25

Aufgrund der in Mais und Maisprodukten der Ernte 2014 festgestellten Gehalte an DON und ZEA, die zum Teil die Richtwerte der EU überschreiten, erschien

es sinnvoll eine möglichst deutschlandweite Gesamtauswertung der Untersuchungsergebnisse zu diesen beiden Toxinen durchzuführen. Über die Zusammenführung der Untersuchungsergebnisse der in der Fachgruppe Futtermitteluntersuchung des VDLUFA angeschlossenen Labore, die sich über das gesamte Bundesgebiet verteilen, ist diese Möglichkeit gegeben. So kann eine Übersicht über die Befallsituation erstellt werden.

Zur Auswertung haben die Untersuchungseinrichtungen der Fachgruppe Futtermitteluntersuchung insgesamt 2231 Ergebnisse für DON-Untersuchungen sowie 1209 Ergebnisse für ZEA-Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Neben Futtermittelproben sind auch Ergebnisse aus Landessortenversuchen (LSV) mit eingeflossen, um die Datenbasis zu vergrößern. Das Spektrum der Proben reicht von Körnermais über Maissilage bis hin zu weiteren Verarbeitungsprodukten aus Mais wie Maisflocken, Maiskleber und weitere. Die Verteilung der Probenzahlen auf die verschiedenen Bundesländer sind den Abbildungen eins und zwei zu entnehmen.

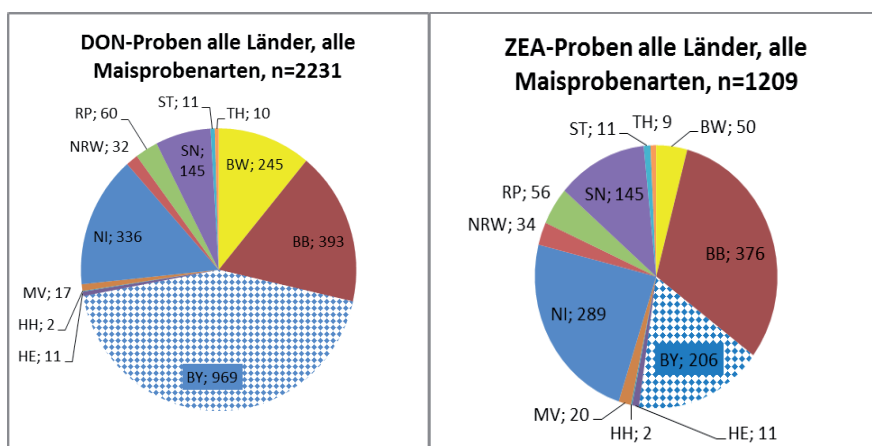


Abb. 1+2: Verteilung der Probenzahlen auf die verschiedenen Bundesländer

Die Untersuchung der Proben erfolgte mit unterschiedlichen Methoden. Bei den DON-Analysen wurden 51 % mittels ELISA durchgeführt, 34 % mittels LC-MS/MS und 14 % mittels HPLC. Für die ZEA-Untersuchungen wurde bei nur 11 % der Proben ELISA eingesetzt. 26 % der Analysen erfolgten mit HPLC und 62 % mittels LC-MS/MS.

Die statistische Auswertung der Daten wurde mit Sigma-plot 13 und Excel durchgeführt. Die Auswertung getrennt für DON und ZEA erfolgte, neben einer

Gesamtbetrachtung über alle Proben hinweg, auch aufgetrennt nach Probenart. Hierbei wurde zwischen Körnermais, Maissilage/Silomais und sonstigen Maisprodukten unterschieden. Aufgrund der zum Teil geringer Probenzahlen bei verschiedenen Maisprodukten konnte dafür nur eine zur Übersicht dienenden Gesamtauswertung durchgeführt werden. Auch war, ebenfalls aufgrund zu geringer Probenzahlen in manchen Bundesländern, nicht für jedes Land eine getrennte Darstellung der Ergebnisse möglich.

2. Ergebnisse und Auswertung

Bei Berücksichtigung aller DON-Ergebnisse, ohne konkretere Unterscheidung der Probenart, ergibt sich ein Medianwert für das gesamte Bundesgebiet von 2.301 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Die Ergebnisse zeigen aber, dass sich Region bedingt deutliche Unterschiede in der Belastungssituation ergeben. Die Analysenwerte haben einen Schwankungsbereich der von Gehalten unterhalb der Bestimmungsgrenze (<BG) bis hin zu über 45.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ reicht. Von einer DON-Belastung in Mais und Maisprodukten aus der Ernte 2014 besonders betroffen sind die Bundesländer Baden-Württemberg (BW), Brandenburg (BB) und Bayern (BY) (Abb. 3). Ware aus Niedersachsen (NI) ist im Vergleich zu den anderen Bundesländern im Durchschnitt signifikant am geringsten belastet.

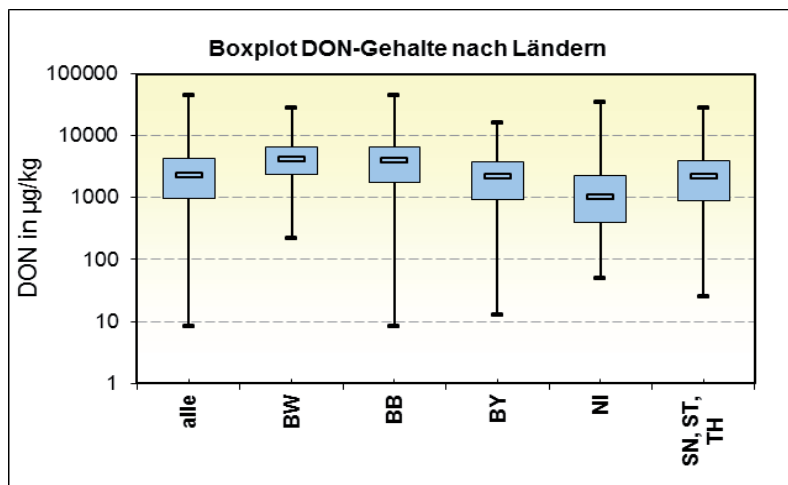


Abb. 3: Übersicht über eine erhöhte DON-Belastung von Mais- und Maisprodukten der Ernte 2014, verteilt nach Bundesländern

Abbildung 3 zeigt Minimum, Maximum, Median sowie oberes und unteres Quartil.

Bei Betrachtung der ZEA-Ergebnisse über das gesamte Bundesgebiet ergibt sich ein ähnliches Bild. Der Median über alle Ergebnisse hinweg liegt bei $190 \mu\text{g}/\text{kg}$. Der Schwankungsbereich liegt jedoch bei $<\text{BG}$ bis hin zu Hot Spots im Bereich von $18.000 \mu\text{g}/\text{kg}$.

Für die weitere Auswertung wurden die Proben in drei Probenarten unterteilt. Betrachtet wurden Körnermais sowie Maissilage. Der dritte Bereich umfasst sonstige Maisprodukte, die aufgrund geringer Probenzahlen zusammengefasst und nicht aufgetrennt sind.

Für die statistische Auswertung der Körnermaisproben lagen 1.655 Ergebnisse für DON und 734 Ergebnisse für ZEA vor.

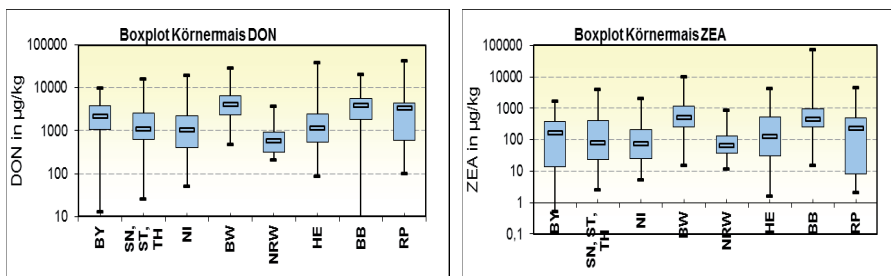


Abb. 4+5: Betrachtung der DON- und ZEA-Belastung in verschiedenen Bundesländern bei Körnermais der Ernte 2014

Sowohl die DON- als auch die ZEA-Ergebnisse der Abbildungen 4 und 5 zeigen bei Körnermais das insbesondere in den Ländern BW (Median DON: $4.100 \mu\text{g}/\text{kg}$; ZEA: $507 \mu\text{g}/\text{kg}$) und BB (Median DON: $3.727 \mu\text{g}/\text{kg}$; ZEA: $434 \mu\text{g}/\text{kg}$) signifikant höhere Gehalte festgestellt wurden als in den anderen betrachteten Bundesländern. Aber auch in BY wurde mit einem Median bei DON von $2.176 \mu\text{g}/\text{kg}$ und Hot Spot-Werten von bis zu $9.548 \mu\text{g}/\text{kg}$ hohe Gehalte nachgewiesen, die zwar signifikant geringer als in BW und BB lagen, aber dennoch signifikant höher waren als in anderen Bundesländern. Aufgrund zum Teil geringerer Probenzahlen in einzelnen Ländern wurden diese zur Auswertung zusammengefasst oder auf eine statistische Auswertung verzichtet. In diesem Fall sind dann nur die Untersuchungsergebnisse dargestellt.

Auch bei der zweiten Probenartgruppe Maissilage/Silomais stand eine recht hohe Anzahl an Untersuchungsergebnissen zur Verfügung (524 DON-Ergebnisse und 420 ZEA-Ergebnisse). Allerdings konnten nicht aus jedem Bundesland Ergebnisse in dieser Probenart zur Verfügung gestellt werden.

Im Bundesdurchschnitt wurde ein Gehalt an DON von $2.880 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Median) und an ZEA von $350 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Median) ermittelt. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Bundesländern (Abb. 6 und 7) zeigt bei Maissilage bzw. Silomais, dass in BB und Sachsen (SN) sowohl die DON- als auch die ZEA-gehalte signifikant höher lagen als in BY. In Sachsen lag der Schwankungsbereich der DON-Ergebnisse von $77 \mu\text{g}/\text{kg}$ bis über $28.000 \mu\text{g}/\text{kg}$. BB hatte Werte von $42 \mu\text{g}/\text{kg}$ bis fast $46.000 \mu\text{g}/\text{kg}$ während BY Gehalte von $13 \mu\text{g}/\text{kg}$ bis knapp $16.000 \mu\text{g}/\text{kg}$ nachgewiesen hat.

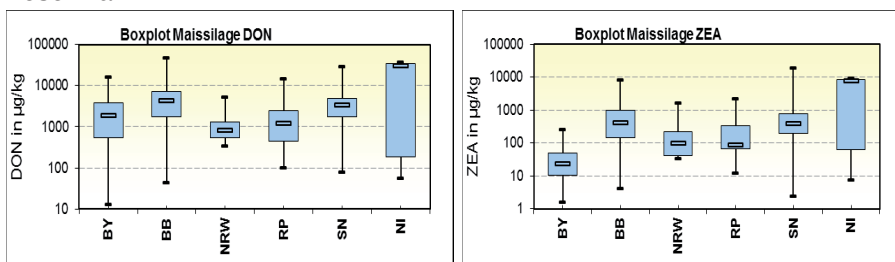


Abb. 6+7: Betrachtung der DON- und ZEA-Belastung in verschiedenen Bundesländern bei Maissilage der Ernte 2014

Bei den ZEA-Ergebnissen konnten in BB und SN auch ungewöhnlich hohe Gehalte von bis zu $7.800 \mu\text{g}/\text{kg}$ bzw. knapp $18.500 \mu\text{g}/\text{kg}$ gemessen werden. Aufgrund der recht geringen Anzahl an Analysen wurden die Ergebnisse aus Nordrhein-Westfalen (NRW), RP und NI keiner statistischen Auswertung unterzogen, sind aber grafisch mit dargestellt (Abb. 6 und 7).

Die dritte betrachtete Probenart umfasst unterschiedliche Maisprodukte, die von Maisschrot bis hin zu Maisflocken, Maiskleberfutter usw. reichen. Aufgrund der geringen Probenzahlen konnten keine speziellen Auswertungen für die einzelnen Produkte durchgeführt werden. Insgesamt standen in dieser Probenart 52 Ergebnisse für DON und 55 Ergebnisse für ZEA zu Verfügung. Auf eine statistische Auswertung wurde daher verzichtet.

Im Bundesdurchschnitt lagen der DON-Gehalt bei $958 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Median) und der ZEA-Gehalt bei $108 \mu\text{g}/\text{kg}$ (Median).

Der höchste DON-Gehalt wurde mit 11.096 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in einem Maiskleber aus BY festgestellt, der höchste ZEA-Befund lag bei 3.500 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in einem gerissenen Mais aus BW.

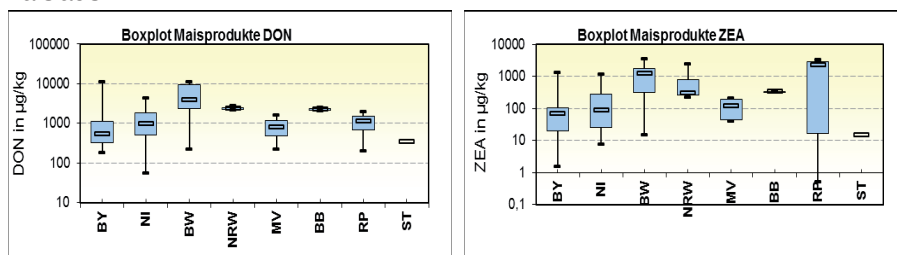


Abb. 8+9: Betrachtung der DON- und ZEA-Belastung in verschiedenen Bundesländern von Maisprodukten der Ernte 2014

Insgesamt bestätigen auch die Ergebnisse dieser Probenart, dass die Fusarien-toxinbelastung in Mais bzw. Maisprodukten aus der Ernte 2014 deutlich erhöht war.

3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Ergebnisse zeigt klar, dass im Jahr 2014 Mais und Maisprodukte zum Teil erheblich mit Fusarientoxinen belastet waren. Der Grad der Belastung war in den verschiedenen Bundesländern jedoch sehr unterschiedlich. Niedersachsen hat im Bundesvergleich die geringsten Belastungen aufgewiesen. Besonders betroffen waren Baden-Württemberg und Bayern in denen kaum unbelasteter Mais zu finden war und die Ergebnisse über dem Bundesdurchschnitt liegen. Teilweise wurden Gehalte festgestellt, welche die Richtwerte der EU deutlich überschreiten und selbst bei Einsatz in der Rinderfütterung, welche bekanntlich deutlich unempfindlicher gegenüber einer Fusarientoxinbelastung reagieren, zu Problemen führen können. Der Einsatz als Futtermittel ist damit nur noch eingeschränkt möglich und eine Begrenzung der Komponente Mais auf geringere Anteile in der Ration, insbesondere bei Schweinen, notwendig.

Da die Belastung des Maises nicht flächendeckend in Deutschland vorgefunden wurde, ist es vor einem Einsatz als Futterkomponente sicher sinnvoll den Mais der Ernte 2014 auf Fusarientoxine zu prüfen, um eine Einschätzung über die Verwendungsmöglichkeit zu erhalten.

Ein Rückblick in die vergangenen Jahre zeigt, dass eine Fusarientoxinproblematik witterungsabhängig immer wieder vorkommen kann. Zum Teil sind aber auch nur gewissen Teilgebiete besonders betroffen. Werden Toxinergebnisse ganz allgemein in Getreideproben betrachtet, wird deutlich, dass diese Problematik nicht nur bei Mais gegeben ist. Auch bei genauer Verfolgung der Wetterdaten von Frühjahr an, können nicht in allen Fällen entsprechende Hinweise/Vorhersagen auf eine Toxinbelastung des Erntegutes gegeben werden. Daher ist es bei einem geplanten Fütterungseinsatz sinnvoll, das dafür vorgesehene Getreide regelmäßig auf diese Toxine zu prüfen.

Die dargestellten Toxinergebnisse in Mais und Maisprodukten zeigen aber auch, dass über eine gemeinsame Auswertung von Untersuchungsergebnissen auf Fusarientoxine aus den verschiedenen Bundesländern eine schöne Übersicht über die Befallssituation in Deutschland gegeben werden kann.

4. Danksagung

Ein besonderer Dank geht an die Kolleginnen und Kollegen der Fachgruppe Futtermitteluntersuchung die Ihre Untersuchungsergebnisse für diese zusammenfassende Übersicht zur Verfügung gestellt haben (Namen in alphabetische Reihenfolge):

Birte Andreas (LALLF MV), Benedikt Brand (CVUA Arnberg), Luz Salomé Carasco Alarcón (BLQ Weihenstephan), Ayman Hashem (LAVES Niedersachsen), Gudrun Hanschmann und Doris Krieg (LUFA Sachsen), Hartmut Horst (HLL Kassel), Stephan Kohlmüller (LL Berlin-BB), Martina Peterhänsel (LLFG Halle), Wolfram Richardt (LKS Lichtenwalde), Nadja Sauer (LUFA Speyer), Claus Schlicht (LGL Oberschleißheim), Gudrun Schulz-Schröder (HU Hamburg), Manfred Schuster und Gerhard Strauß (LfL Bayern), Klaus Schwadorf (LA Chemie Hohenheim), Karla Tolzin-Banasch (TLL Jena), Hartwig Wellmann (LUFA Nord-West).

Ein weiterer Dank geht an Wolfgang Wagner (LTZ Augustenberg) für die Unterstützung bei der Auswertung!

Untersuchungen zur standortspezifischen Variation von Kupfer- und Zinkgehalten in Grobfuttermitteln im Freistaat Sachsen

O. Steinhöfel, G. Riehl, F. Förster

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

1. Einleitung

Das Vorkommen der Mikronährstoffe und ihre Akkumulation bzw. Verdünnung in der Natur ist prinzipiell geogen bedingt und nur graduell auf Erosionen und anthropogen bedingte Einträge zurückzuführen. Standortspezifische Unterschiede im Spurenelementgehalt der Böden und folglich auch der Pflanzenaufwüchse sind zu erwarten (Anke et al., 1994). Diese könnten Mangelercheinungen in der Nutztierernährung provozieren und differenzierte Supplementierungen von Futtermitteln begründen. Aufgrund der flächendeckenden Überversorgung der sächsischen Nutztiere mit Kupfer und Zink in den letzten 2 Jahrzehnten (Steinhöfel, 2006, Steinhöfel et. al., 2013) ist allerdings zu vermuten, dass insbesondere durch die Wirtschaftsdüngerausbringung der Spurenelementgehalt der Böden und darauf erzeugter Pflanzen kaum noch durch den Standort geprägt sind. Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, die Gehaltswerte an Kupfer und Zink der letzten 15 Jahre sowohl in den Böden als auch in den darauf erzeugten Futtermitteln zu bewerten und den nach Anke et al. (1994) postulierten Versorgungsniveaus der Böden gegenüber zu stellen.

2. Material und Methoden

2.1 Futterproben und Bestimmung der Spurenelemente

In die Untersuchungen wurden die Analysenbefunde der Grobfuttermittel Gras- und Maissilage des sächsischen Messnetzes „Futtermittel“ der letzten 15 Jahre einbezogen. In 100-200 Referenzbetrieben des Freistaates Sachsen werden im Rahmen dieses Messnetzes jährlich Futtermittel beprobt und im BfUL (LUFA Sachsen) laboranalytisch untersucht. Insgesamt wurden die Befunde von 4464 Grassilagen und 3172 Maissilagen einbezogen. Die Analytik des Kupfer- und Zinkgehaltes wurden im BfUL (LUFA Sachsen) nach der VDLUFA-Methode 10.8.3. (Methodenband III) mit Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) durchgeführt

(VDLUFA, 2012). Die Kalibrierung beruht auf Analysenergebnissen mittels ICP-MS jeweils nach den gültigen DIN-Vorschriften.

2.2 Bodenproben und Bestimmung der Spurenelemente

In die Untersuchungen wurden insgesamt 295 Bodenprobenergebnisse von Ackerpraxisflächen aus den Jahren 2010 bis 2014 einbezogen. Die Probenahmetiefe betrug 0-20 cm. 25 Proben kamen von alluvialen Standorten, 102 von diluvialen, 71 von Lössböden und 91 von Verwitterungsstandorten sowie 6 von Kippenböden. Die Verteilung der Bodenproben nach Bodenart sowie die Anzahl der bestimmten Spurenelementwerte zeigt Tabelle 1.

Tab.1: Einteilung der untersuchten Bodenproben nach Bodenart sowie Anzahl der bestimmten Spurenelementwerte Kupfer (Cu) und Zink (Zn)

Bodenart	Anzahl Bodenproben	Cu	Zn
S (Sand)	9	9	8
SI (anlehmiger Sand)	30	15	18
IS (lehmiger Sand)	75	62	51
SL (starklehmiger Sand)	55	43	42
sL (sandiger Lehm)	107	91	72
L (Lehm)	19	15	15

Die Bestimmung der pflanzenverfügbaren Anteile für Kupfer und Zink erfolgte nach VDLUFA (2002), Methodenband I, A 6.4.1: Extraktion des Bodens mit Calciumchlorid/Diethylentriaminpentaessigsäure-Lösung für eine Stunde bei Raumtemperatur. Von jeder Probe wurde, je nach Auftrag, mindestens 1 Spurenelement bestimmt (s. Tabelle 1).

Nach dem drei Gehaltsklassen umfassenden Schema der TLL (2005) erfolgte die Bewertung der gemessenen Elementkonzentrationen (Tabelle 2).

Die Abgrenzung der Gehaltsklassen voneinander erfolgte für die einzelnen Elemente entsprechend den „Hinweisen und Richtwerten zur Umsetzung der Düngeverordnung“ der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2007).

Tab. 2: Definition der Gehaltsklassen pflanzenverfügbarer Spurenelemente (Cu, Zn) (TLL, 2005)

Gehaltsklasse	Kurzdefinition
A	sehr niedriger/niedriger Gehalt
B	optimaler Gehalt
C	hoher/sehr hoher Gehalt

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Kupfer und Zink in sächsischen Gras- und Maissilagen

Der Gehalt an den Spurenelementen Kupfer und Zink in der Trockenmasse der Gras- und Maissilagen zeigte keine signifikanten Jahreseffekte. Tendenziell leicht steigende Gehaltswerte waren aufgrund der erheblichen Streuung statistisch nicht zu sichern. Beim Bezug der Konzentration an Spurenelementen auf die Rohasche wurde eine signifikante ($p < 0,01$) Steigerung des Kupfer- ($R^2 = 0,5507$) und Zinkgehaltes ($R^2 = 0,3119$) in den Jahren 2000 bis 2015 sichtbar. Dies war bei gleichem Signifikanzniveau bei den Grassilagen ($R^2 = 0,1184$ bzw. $R^2 = 0,1568$) nicht nachweisbar. Auffallend war die Differenz der Kupfer- und Zinkgehaltswerte in der Asche der beiden Silagearten. Die Gehaltswerte lagen jeweils für die Maissilagen um 20-50 g Kupfer (mit wachsender Differenzierung über die Jahre) (Abb. 1) und um ca. 200 mg Zink höher (Abb. 2) als die Konzentrationen in den Grassilagen. Dies kann, bei aller Vorsicht, auf die unterschiedlich hohen Wirtschaftsdüngergaben bei der Bewirtschaftung der beiden Grobfuttermittel hinweisen. Auch die über die Jahre signifikant steigenden Konzentrationen an Kupfer und Zink in den Maissilagen weisen darauf hin, dass die Akkumulation der Spurenelemente in den Ackerböden intensiver erfolgte als auf dem Grünland. Einschränkend muss an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass bei den Datensätzen, welche in vorliegende Untersuchung eingespeist wurden, keine Differenz zwischen Grassilagen vom Grünland und aus Feldgras gemacht wurden. Der Anteil an Grassilagen vom Grünland lag im Mittel bei 79%.

Die Silagen wurden entsprechend ihrer Herkunft den sächsischen Vergleichsgebieten (s. Tab. 3 und 4) zugeordnet. Der Gehalt an den Spurenelementen Kupfer und Zink sowohl in der Trockenmasse als auch in der Rohasche der Gras- und Maissilagen zeigte keinerlei signifikanten Beziehung zum Ort ihrer Erzeugung. In den Abbildungen 3 und 4 wurde der Versuch unternommen, die nach Anke et al. (1994) zu erwartenden standortspezifischen Effekte der Böden auf die Kupfer- und

Zinkausstattung der darauf erzeugten Futterpflanzen grafisch in Beziehung zu setzen. Aufgrund der Übersichtlichkeit wurde in den Abbildungen 3 und 4 auf eine namentliche Benennung der Vergleichsgebiete verzichtet.

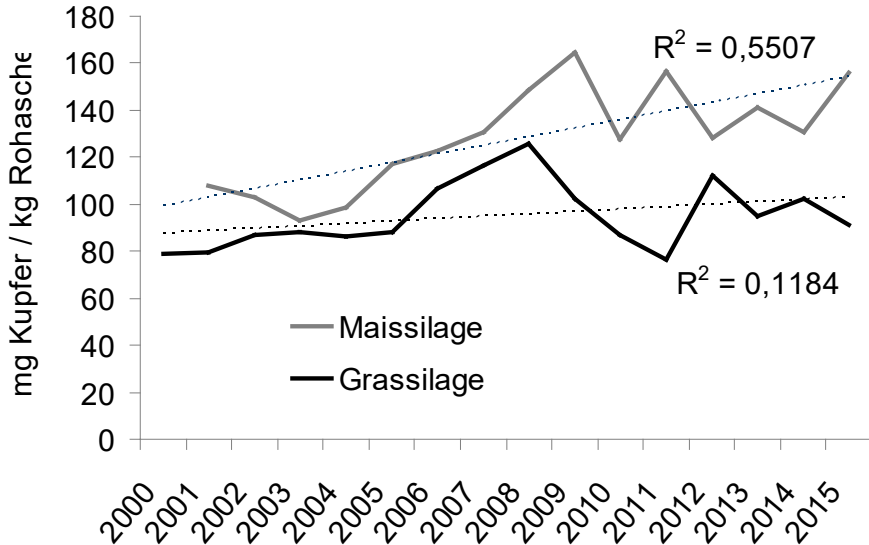


Abb. 1: Kupfergehalt in der Rohasche in Gras- und Maissilagen der Jahre 2000 bis 2015

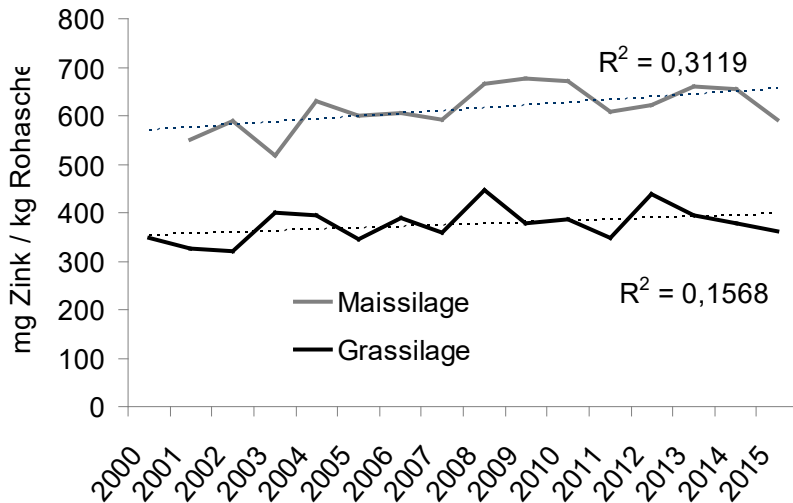


Abb. 2: Zinkgehalt in der Rohasche in Gras- und Maissilagen der Jahre 2000 bis 2015

Die Vergleichsgebiete wurden absteigend (kein Mangel bis wahrscheinlicher Mangel) sortiert und mit den Mittelwerten der Jahre 2000 bis 2007 bzw. 2008 bis 2015 korreliert. Wie in den Abbildungen ersichtlich, ist weder für Zink noch für Kupfer ein signifikanter Einfluss der geogenen Bodenstruktur auf die Gehaltswerte im Futter nachweisbar.

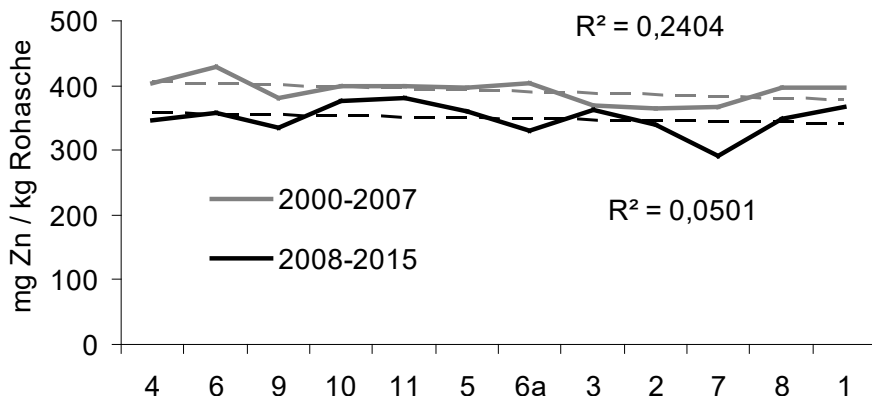


Abb. 3: Mittlerer Zinkgehalt in der Rohasche in sächsischen Grassilagen der Jahre 2000 bis 2007 vs. 2008 bis 2015 in Beziehung zu erwarteten standortspezifischen Variationen (Vergleichsgebiete sortiert absteigend nach Anke et al., 1994)

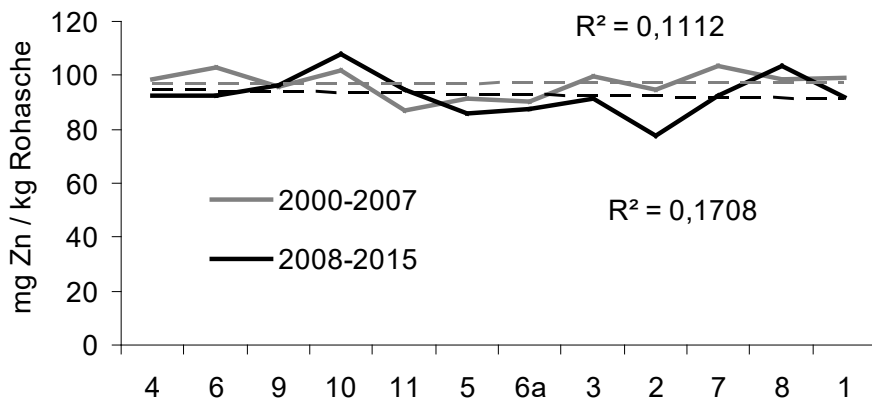


Abb. 4: Mittlerer Zinkgehalt in der Rohasche in sächsischen Maissilagen der Jahre 2000 bis 2007 vs. 2008 bis 2015 in Beziehung zu erwarteten standortspezifischen Variationen (Vergleichsgebiete sortiert absteigend nach Anke et al., 1994)

3.2 Pflanzenverfügbares Kupfer und Zink in sächsischen Ackerböden

Die Einstufung der 12 sächsischen Vergleichsgebiete bzgl. eines möglichen Spurenelementmangels im dort erzeugten Futter auf Grundlage der geologischen Herkunft der Böden (Anke et al., 1994) ergibt, dass bei Kupfer nur in 2 und bei Zink in 4 Vergleichsgebieten kein Mangel zu erwarten ist (Tab. 3).

Die Ergebnisse der 295 Bodenprobenuntersuchungen von Ackerpraxisflächen aus den Jahren 2010 bis 2014 spiegeln diese Einstufung auf Grundlage der geologischen Herkunft der Böden (Anke et al., 1994) nicht mehr wider. Die in Tabelle 4 dargestellten Ergebnisse für 11 von 12 sächsischen Vergleichsgebieten zeigen eindeutig, dass der Versorgungszustand sächsischer Ackerböden mit den pflanzenverfügbaren Spurenelementen Cu und Zn derzeit überwiegend gut bis sehr gut ist. Die Gehaltsklasse A (sehr niedriger/niedriger Gehalt) ist noch in zwei Vergleichsgebieten für Cu mit einem relevanten Anteil zu finden (Lausitzer Heide und Teichgebiete, Mittelsächsische Platte). In allen anderen Vergleichsgebieten dominieren die Gehaltsklassen B (optimaler Gehalt) oder C (hoher/sehr hoher Gehalt).

Tab. 3: Möglicher Mangel an den Spurenelementen Cu und Zn in den 12 sächsischen Vergleichsgebieten im dort erzeugten Futter (nach Anke et al., 1994) (-- Mangel wahrscheinlich; - Mangel möglich; o kein Mangel erwartet)

Vergleichsgebiet	Cu	Zn
Lausitzer Heide und Teichgebiete	--	--
Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlausitzer Bergland	-	-
Elbsandsteingebirge	--	-
Nördliche Erzgebirgsabdachung	o	o
Erzgebirgskamm	-	-
Zwickauer-/Chemnitzer Hügelland	o	o
Elsterbergland	-	-
Mittelsächsisches Hügelland	--	-
Mittelsächsische Platte	-	-
Leipziger Tieflandsbucht	-	o
Dübener-Dahlener Heide	-	o
Sächsische Elbtalniederung	--	-

Bei der Zuordnung der Gehaltsklassen zu den Vergleichsgebieten ist zu berücksichtigen, dass die Gehaltsklassen für die Spurenelemente in Abhängigkeit von Bodenart, pH-Wert und Gehalt an organischer Substanz eingeteilt werden (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007) und dass innerhalb eines jeden Vergleichsgebietes verschiedene Bodenarten vorkommen können. Die ermittelten Anteile der Gehaltsklassen in den einzelnen Vergleichsgebieten sind daher zusätzlich auch durch die jeweils beprobten Bodenarten beeinflusst.

Eine Untersuchung von 791 Bodenproben von sächsischen Acker-Dauertestflächen der Jahre 2009 bis 2011 u. a. auf Cu und Zn (Klose et al., 2014; Klose et al., 2015) zeigt, dass leichte Böden geringere Gehalte an pflanzenverfügbarem Cu aufweisen als schwere. Der Anteil an pflanzenverfügbarem Zink steigt mit zunehmendem Feinanteil im Boden an.

Tab.4: Relativer Anteil (%) der Gehaltsklassen (GK) der untersuchten Bodenproben aus den Jahren 2010 bis 2014 für die pflanzenverfügbaren Spurenelemente Cu und Zn in 11 sächsischen Vergleichsgebieten (fehlende Werte zu 100 % sind durch unabhängiges Runden bedingt)

Vergleichsgebiet	Cu			Zn		
	GK	GK	GK	GK	GK	GK
	A	B	C	A	B	C
Lausitzer Heide und Teichgebiete	44	44	11	13	13	75
Oberlausitzer Platte, Zittauer Becken, Oberlaus. Bergland	10	20	70	0	0	100
Elbsandsteingebirge	0	71	29	0	14	86
Nördliche Erzgebirgsabdachung	0	8	92	0	0	100
Erzgebirgskamm	30	20	50	0	0	100
Zwickauer-/Chemnitzer Hügelland	9	36	55	0	10	90
Elsterbergland	10	70	20	0	60	40
Mittelsächsisches Hügelland	7	30	63	0	0	100
Mittelsächsische Platte	38	50	13	0	23	77
Leipziger Tieflandsbucht	11	63	25	4	28	68
Dübener-Dahlener Heide	24	47	29	8	46	46

Eine standortspezifische Differenzierung der Futteraufwüchse auf dem Ackerland auf Grundlage der geologischen Herkunft der Böden ist auf gedüngten Praxisflächen nicht mehr möglich, da andere Faktoren wie v. a. Fütterung und

organische Düngung (langjährig überhöhte Kupfer- und Zinkversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere mit entsprechend hohen Gehalten in den ausgebrachten Wirtschaftsdüngern) diese maßgeblich beeinflussen. Dies bestätigen auch Untersuchungen von Klose et al. (2015), die eine Steigerung der pflanzenverfügbaren Gehalte an Cu und Zn in Abhängigkeit von der Gesamtmenge ausgebrachten organischen Düngers feststellten.

4. Fazit

Aufgrund der langjährig überhöhten Kupfer- und Zinkversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere sind die Ackerböden von sächsischen Futterbaubetrieben über die Wirtschaftsdünger mit Spurenelementen angereichert worden. Für die Fütterungspraxis nutzbare standortspezifische Differenzen in Grobfuttermitteln von mit Wirtschaftsdüngern versorgten Flächen aus sächsischen Futterbaubetrieben sind nicht mehr erkennbar. Nur bei längerfristigen geringem Futtermittelimport und Verzicht auf Mikronährstoffergänzung über Düngung oder Futter müssen standortspezifische Einflüsse wieder beachtet werden.

5. Literaturangaben

- Anke, M., Groppe, B., Gleis, M., 1994: Der Einfluss des Mangan-, Zink-, Kupfer-, Jod- und Selenmangels auf die Fortpflanzungsleistung des Wiederkäuers, REKASAN-Journal, Heft 1 / 23-28.
- Klose, R., Grunert, M., Kurzer, J., 2014: Mikronährstoffstatus sächsischer Ackerböden 2013. VDLUFA-Schriftenreihe 70, 215-224, Kongressband 2014 Stuttgart, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Klose, R., Grunert, M., Kurzer, J., 2015: Mikronährstoffstatus sächsischer Ackerböden 2013. Schriftenreihe des LfULG, Heft 11/2015.
- Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007: Umsetzung der Düngeverordnung - Hinweise und Richtwerte für die Praxis.
- Steinhöfel, O., 2006: Bilanzierung von Spurenelementkreisläufen in sächsischen Futterbaubetrieben, Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 13/2006.
- Steinhöfel, O., Fröhlich, B., Zentek, J., Kriesten, A., Männer, K., 2013: Untersuchungen zur Optimierung der Spurenelementversorgung von Milchrindern, Schriftenreihe des LfULG, Heft 14/2013.

- Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), 2005: Merkblatt zur Bordü-
ngung in der Pflanzenproduktion.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungs-
anstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2002: Methode A 6.4.1, Bestimmung von
Magnesium, Natrium und den Spurennährstoffen - Kupfer, Mangan, Zink
und Bor im Calciumchlorid/DTPA Auszug. In: Handbuch der Landwirt-
schaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Metho-
denbuch), Bd. I Die Untersuchung von Böden, 4. Aufl., VDLUFA-Verlag,
Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungs-
anstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 10.8.3., Ausgewählte
Elemente in Pflanzen und Grobfuttermitteln mit Röntgenfluoreszenz-
analyse (RFA). In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und
Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemi-
sche Untersuchung von Futtermitteln., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

NIRS zur Analyse von Methionin und Cystein in feinsamigen Leguminosen

H. Sommer, A. Sundrum

Fachgebiet für Tierernährung und Tiergesundheit, Universität Kassel-Witzenhausen

1. Einleitung

Prinzipiell lassen sich mit der Nah-Infrarot-Reflexions-Spektroskopie (NIRS) Wassergehalt, die Weender-Rohnstofffraktionen, die Van-Soest-Fractionen und auch Aminosäuren quantitativ abschätzen. In vorliegendem Beitrag wird eine NIRS-Kalibration vorgestellt, durch die eine schnelle und rückstandsfreie Analyse des Rohprotein- und Aminosäuregehaltes von Luzerne (*Med. sativa*) und kleeartigen Leguminosen (*Trif. repens*, *Trif. pratense*, *Trif. incarnatum*, *Trif. resupinatum*) möglich ist.

2. Material und Methoden

Die Ernteproben wurden in perforierte Beutel verpackt, die Frischmasse (FM) gewogen und bei 60°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden die getrockneten Proben auf 1 mm vermahlen. Insgesamt wurden bei jeweils 60 Proben naßchemische Analysen für Rohprotein und Aminosäuren durchgeführt. Parallel wurden diese Proben gescannt, und aus 45 Proben der Kalibrierungssatz sowie aus den übrigen 15 Proben der Validierungssatz gebildet. Zur Messung der Aminosäuregehalte wurde zunächst bei jeder Probe eine saure Hydrolyse durchgeführt. 10-15 µg der homogenisierten Proben wurden jeweils auf 2 µg genau in ein Hydrolyse-Röhrchen eingewogen, mit 4 mL 6N HCl versetzt, bei -62 °C eingefroren, unter Vakuum (< 15 mbar) verschmolzen und 24 h bei 115 °C hydrolysiert. Anschließend wurden die Proben bei 36 °C ca. 10 h getrocknet (Vakuumbzentrifuge). Die getrockneten Proben wurden jeweils in 2 ml Probenverdünnungspuffer (Na-Acetatpuffer, pH 2,2) aufgenommen, 10 Min. im Vortexer gelöst, anschließend quantitativ in 5 ml Messkolben überführt und bis zur Eichmarke aufgefüllt. Vor der chromatographischen Messung wurden die Proben 10 Minuten bei 13000 U/min. zentrifugiert. Um die Genauigkeit der Analyse der schwefelhaltigen Aminosäuren zu gewährleisten wurde

vor der sauren Hydrolyse zusätzlich ein Oxidationsschritt in Anlehnung an die Richtlinie 98/64/EG vom 03.09.1998 eingefügt, bei dem Cystein bzw. Cystin zu Cysteinsäure und Methionin über Methioninsulfoxid zu Methioninsulfon oxidiert wird. Im Anschluss an die saure Hydrolyse wurden die Proben der chromatographischen Messung zugeführt. Die Auftrennung des Probengemisches erfolgte über eine Polymer-Kationenaustauschersäule, Partikelgröße 4 μm , Nachsäulen-Derivatisierung mit Ninhydrin bei 125 °C und photometrischer Detektion bei 570 nm. Das Probenvolumen betrug 20 μl . Die NIRS-Kalibration wurde nach der Beschreibung von Althaus et al. (2013) erstellt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass bei einer geeigneten Auswahl von Kalibrierungs- und Validierungsproben über die gesamte zu erwartende Varianz der Gehalte der einzelnen Aminosäuren einschließlich von Methionin und Cystein - deren Bestimmung auf Basis von NIRS sehr gut möglich ist (vgl. Abb. 1 und 2).

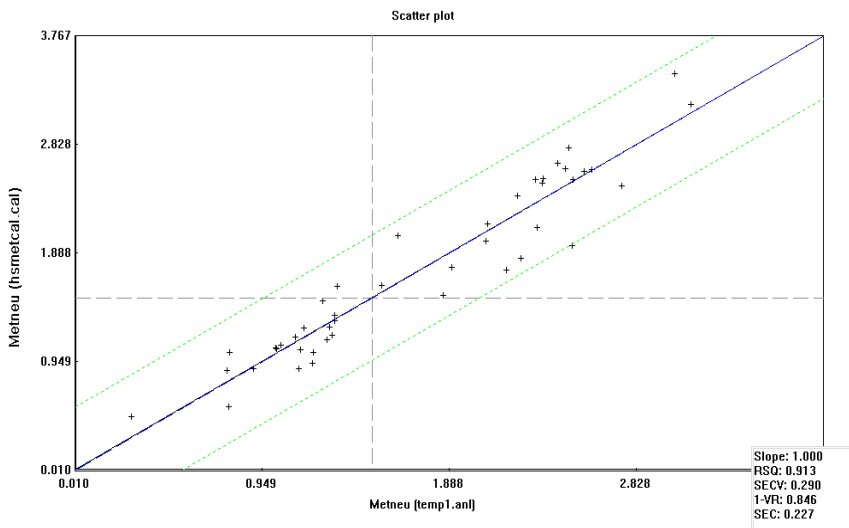


Abb.1: XY-Grafik mit Regressionsgrade und T-Ausreißerschranken für die Methionin-Kalibrierproben.

Allerdings hat sich gezeigt, dass die Güteparameter der Kalibration für Cystein (RSQ=0,726) nicht so gut sind wie die für Methionin (RSQ=0,913).

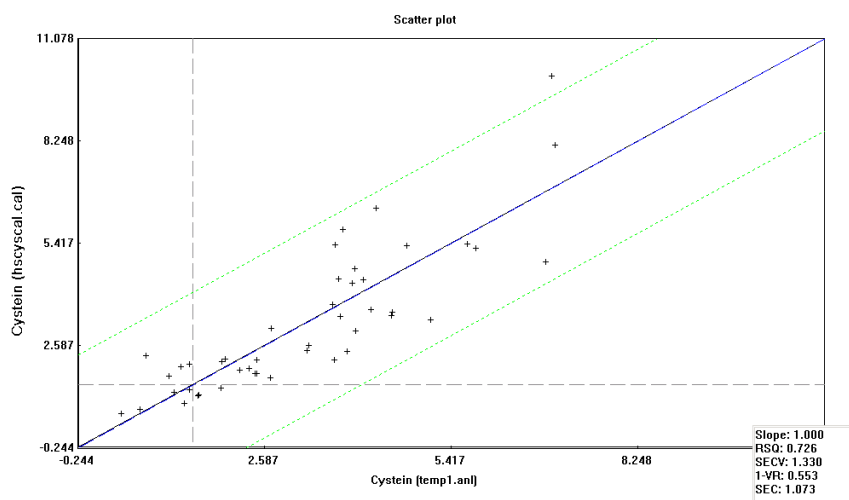


Abb.2: XY-Grafik mit Regressionsgrade und T-Ausreißerschranken für die Cystein-Kalibrierproben.

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass die Variation und Menge der durch Futtermittel zur Verfügung gestellten Nährstoffe im Tier nicht nur durch das Futtermittel vorgegeben sind, sondern auch durch tierindividuelle Wirkungen beeinflusst werden. Allerdings ist innerhalb jeder untersuchten Variante eine erhebliche Streuung zu erkennen, die durch das untersuchte Futtermittel verursacht werden muss.

5. Danksagung

Ein besonderer Dank gilt der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) für die Förderung des Projektes 11OE055 „Ermittlung des Futterwertes und der Verdaulichkeiten der Blattmassen von Luzerne (*Medicago sativa*) und verschiedenen Kleearten“.

6. Literaturangaben

Althaus, B., Papke, G., Sundrum, A., 2013: Technical note: Use of near infrared reflectance spectroscopy to assess nitrogen and carbon fractions in dairy cow feces. *Animal Feed Science and Technology* 185(1), 53-59.

Neutral- und Säure-Detergenzien-Faser in Futtermitteln – ohne Veraschung (aNDF, ADF) oder mit Veraschung (aNDFom, ADFom)?

F. Schöne, E. Herzog

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena

Die Untersuchung und Beurteilung der Faser und ihrer Komponenten mit geringer oder höherer Verdaulichkeit, eingeschlossen der unverdauliche Part, das Lignin, ist Basis der Ableitung der verfügbaren Energie für das Nutztier, besonders aus den Grobfuttermitteln. Die Schwächen der Rohfaserbestimmung mit ihrer ungenügenden Spezifität wurden durch die Einführung der Detergenzienanalyse gemildert, wonach mit der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) überwiegend das Lignin und die Zellulose erfasst werden und mit der Neutral-Detergenzien-Faser nach Löslich-Machen der Stärke durch Vorbehandlung mit hitzestabiler Amylase (aNDF) zusätzlich die Hemizellulosen, v. a. Arabinoxylane, Pentosane und Pektin (Van Soest et al., 1991). (Bei der Bestimmung der NDF ist die Vorbehandlung mit hitzestabiler Amylase bei allen Futtermittel inbegriffen und über die Kennzeichnung aNDF sichtbar gemacht.)

Eine Präzisierung der Nachweismethoden erreicht man durch Veraschung der getrockneten Extraktionsrückstände mit „In Abzug Bringen“ dieses Ascheanteils, der Restasche, und dem Ausweisen nur der Organischen Masse der beiden Faserfraktionen als aNDFom und ADFom.

Es stellt sich aber die Frage, inwieweit das Ergebnis der Faseranalysen ohne versus mit Restasche den zusätzlichen Analysenschritt rechtfertigt, dies auch unter dem Aspekt, dass die Fütterungsberatung bisher in der Regel lediglich mit NDF- und ADF- Gehalten der Futtermittel arbeitet und darauf die Empfehlungen besonders für Milchkurationen basieren (Spiekers et al., 2009; Bonsels und Weiß, 2014). Für die Beantwortung vorstehender Frage sollten in den gleichen Futtermitteln zum einen aNDF und ADF, zum anderen aNDFom und ADFom bestimmt werden. Für den Fall der Veraschung als letzter Analysenschritt war ein niedrigerer Gehalt beider Faserfraktionen ohne im Vergleich zu denen mit Restasche zu erwarten.

Es stand aber die Frage nach der Höhe der Differenz bei den unterschiedlichen Futtermitteln, mit dem Fokus auf den Gehalt der Asche (Synonym für Rohasche) besonders des Grobfutters.

1. Material und Methoden

Zur Untersuchung kamen 102 Konzentrate, davon 14 Einzelfuttermittel und 88 Mischfuttermittel für Rinder (Milchleistungsfutter, MLF, und eiweißreiches bzw. mineralstoffreiches Ergänzungsfutter). Bei Grobfutter wurden 18 Grasprodukte (darunter 12 mal Grashäcksel, 6 mal Grassilage), 28 Getreideganzpflanzensilagen und 31 Luzernesilagen untersucht, besonders die Frischgras- und Grassilageproben über einen großen Bereich des Aschegehaltes. Die Proben bzw. Daten entstammten dem Laborinformations- und Managementsystem (LIMS) der Abteilung Untersuchungswesen der TLL. Als Folge des gewählten Auswahlkriteriums „Vorliegen der Analysenergebnisse sowohl mit als auch ohne Resttasche für mindestens eine der beiden Faserfraktionen“ entsprachen die Futtermittelproben nach Art und Anzahl nicht ihrer Bedeutung in der Praxis. Auch auf Grund der Schnellanalytik mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS), deren Ergebnisse für vorliegenden Vergleich selbstverständlich nicht herangezogen wurden, gab es zum Beispiel keine Maissilageproben und die Grasanweilsilage war unterrepräsentiert. Dagegen waren Getreideganzpflanzen- und Luzernesilagen aufgrund der bisher fehlenden NIRS-Kalibration überrepräsentiert. Um eine Fehlstelle in der Probenauswahl abzudecken, wurden die aus dem BLE Verbundprojekt SiloFIS stammenden Grashäckselproben, die einen großen Bereich des Aschegehaltes repräsentierten, gezielt auf die vier Faserparameter untersucht.

Die Analysen erfolgten nach VDLUFA Methodenbuch, Band III, 8. Ergänzung 2012: Trockenmasse (T) - Methode 3.1, Asche - Methode 8.1, aNDF, aNDFom - Methode 6.5.1, ADF und ADFom - Methode 6.5.2.

Die Daten wurden aus dem LIMS in das Programm Excel übertragen, und ebenfalls die Tabellenangaben fußen auf Berechnungen im Programm Excel. Der statistische Vergleich zwischen dem Gehalt der aNDF mit dem der aNDFom und dem der ADF mit dem der ADFom erfolgte mittels Vorzeichentest (Sachs, 1984). Mögliche Abhängigkeiten der Unterschiedshöhe zwischen aNDF minus aNDFom und ADF minus ADFom vom Aschegehalt wurden mittels linearer Regression berechnet.

2. Ergebnisse und Diskussion

In den untersuchten Futtermittel(gruppe)n zeigten sich erwartungsgemäß niedrigere mittlere Gehalte für die um die Restasche bereinigten Faserfraktionen (Tab. 1 bis 3).

Die Mittelwertdifferenzen waren für aNDF minus aNDFom im Bereich von 16 g/kg T im Mischfutter bis zu 58 g/kg T in den Grassilagen. Das bedeutete eine relative Überschätzung der aNDF gegenüber der aNDFom von 8 bis 11 %, also rund einem Zehntel für Einzel- sowie Mischfuttermittel und Gras(silage), wogegen diese für Getreideganzpflanzen- und Luzernesilage mit 4 % etwas geringer ausfiel. Für ADF minus ADFom waren die Mittelwertsdifferenzen im Bereich von 3 g/kg T in den Einzelfuttermitteln bis 60 g/kg T wieder in den Grassilagen. In letzteren betrug demnach die Überschätzung der ADF gegenüber der ADFom 17 %, vergleichbar mit 14 % beim Grashäcksel aber deutlich höher als bei Einzel- und Mischfuttermitteln (8 und 7 %) und bei Getreideganzpflanzen- und Luzernesilage (jeweils 6%).

Tab. 1: NDF vs. NDFom und ADF vs. ADFom jeweils aus paralleler Bestimmung in Einzelfuttermitteln und Mischfutter für Rinder (Milchleistungsfutter und eiweiß- bzw. mineralstoffreiche Ergänzter) unter Angabe des Aschegehaltes, Mittelwert \pm Standardabweichung, in Klammern Min.-Max. Bereich.

	Einzelfuttermittel	Mischfutter
	14	88
	g/kg Trockenmasse	
Asche	41 \pm 24 (13-80)	71 \pm 29 (17-164)
NDF	222 \pm 105 (79-466)	205 \pm 31 ¹⁾ (164-259)
NDFom	197 \pm 98 (70-451)	189 \pm 33 ¹⁾ (143-243)
ADF	108 \pm 77 (19-238)	117 \pm 44 (34-221)
ADFom	105 \pm 76 (20-234)	109 \pm 44 (31-214)

¹⁾ lediglich 7 Untersuchungen. Die Anzahl Mischfutter für den Vergleich ADF vs. ADFom ist höher, weil dieser Parameter für die Kalkulation des Gehaltes an Umsetzbarer Energie (ME) und abgeleitet Nettoenergie Laktation (NEL) benötigt wird (Futtermittel VO 2013). Signifikanz im Vorzeichentes zwischen aNDF und aNDFom in beiden Fällen, zwischen ADF und ADFom nur für Mischfutter.

Tab. 2: aNDF vs. aNDFom und ADF vs. ADFom jeweils aus paralleler Bestimmung in Grashäcksel zur Einsilierung und Grassilage unter Angabe des Aschegehaltes. Mittelwert \pm Standardabweichung, in Klammern Min.-Max. Bereich

	Grashäcksel	Grassilage
Anzahl	12	6
	g/kg Trockenmasse	
Asche	105 \pm 39 (68-182)	162 \pm 80 (58-257)
aNDF	499 \pm 33 (445-552)	567 \pm 43 (507-628)
aNDFom	457 \pm 34 (391-499)	509 \pm 57 (445-616)
ADF	281 \pm 41 (232-340)	419 \pm 60 (341-504)
ADFom	241 \pm 22 (212-272)	349 \pm 72 (292-491)

Signifikanz zwischen aNDF und aNDFom und zwischen ADF und ADFom im Vorzeichentest in beiden Fällen.

Tab. 3: NDF vs. NDFom und ADF vs. ADFom jeweils aus paralleler Bestimmung in Ganzpflanzensilage und Luzernesilage unter Angabe des Aschegehaltes. Mittelwert \pm Standardabweichung, in Klammern Min.-Max. Bereich

Silageart	Getreide- ganzpflanzen	Luzerne
Anzahl	28	31
	g/kg Trockenmasse	
Asche	79 \pm 19 (44-110)	112 \pm 15 (74-148)
NDF	492 \pm 65 (398-690)	422 \pm 47 (350-537)
NDFom	473 \pm 66 (379-667)	404 \pm 46 (339-517)
ADF	341 \pm 39 (284-469)	335 \pm 42 (284-469)
ADFom	320 \pm 39 (267-437)	320 \pm 41 (243-430)

Signifikanz zwischen aNDF und aNDFom und zwischen ADF und ADFom im Vorzeichentest in beiden Fällen.

Der Aschegehalt variierte zwischen den und innerhalb der Futtermittel(gruppen). Unter den Einzelfuttermitteln repräsentierten Maiskörner das Minimum, Rapsextraktionsschrot das Maximum (Tab. 1). Bei dem Rindermischfutter waren aufgrund der unterschiedlichen Mineralfutteranteile die MLF am

ascheärmsten, die mineralstoffreichen Erganzer am aschereichsten. Bei den Grobfuttermitteln repräsentierten besonders der Grashäcksel und die wenigen nasschemisch untersuchten Grassilagen (letztere, die außerhalb der NIRS-Kalibration) einen immensen Bereich des Aschegehaltes (Tab. 2). Jedoch war auch für die Konzentration der Asche in Getreideganzpflanzen- und Luzernesilagen eine beträchtliche Varianz feststellbar (Tab. 3).

Die innerhalb der einzelnen Futtermittel(gruppen) größeren Bereiche des Aschegehaltes furten zu der Frage, inwieweit der Aschegehalt die Höhe der Differenz zwischen aNDF minus aNDFom und zwischen ADF minus ADFom beeinflusst. Die lineare Regression dieser Differenzen als abhängige Variablen auf den Aschegehalt als unabhängige Variablen zeigte unterschiedliche Abhängigkeiten für die untersuchten Futtermittel – von überhaupt keiner Beziehung mit Bestimmtheitsmaßen von $R^2 < 0,1$ bis zu einer sehr starken mit Bestimmtheitsmaßen von $R^2 > 0,9$ (Tab. 4).

Tab. 4: Bestimmtheitsmaße (R^2) und Signifikanzen der linearen Beziehungen zwischen dem Aschegehalt (x) und den Differenzen zwischen den jeweiligen Faserfraktionen mit und ohne Restasche in den untersuchten Futtermittel(gruppe)n

Gruppe (Anzahl)	Asche zu Diff. aNDF minus aNDFom	Asche zu Diff. ADF minus ADFom
Einzelfuttermittel (14)	0,39**	0,12 NS
Mischfutter für Rinder (88)	0,82*** ¹⁾	0,03 NS
Grashäcksel (12)	0,97***	0,93***
Grassilage (6)	0,90***	0,99***
Luzernesilage (31)	0,15*	0,16*
Getreideganzpflanzensilage (28)	0,00 NS	0,00 NS

* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$, NS – nicht signifikant

¹⁾für Vergleich aNDF vs. aNDFom nur 7 Proben

Kein Zusammenhang mit den Aschegehalten bestand für die Differenzen ADF minus ADFom im Falle der Einzelfuttermittel, der Rindermischfuttermittel und der Getreideganzpflanzensilagen, für letztere ebenfalls nicht für die Differenz aNDF minus aNDFom. Einzelfuttermittel zeigten für die Differenz aNDF minus aNDFom, Grashäcksel, Grassilage und Luzernesilage sowohl für die Differenz ADF minus

ADFom als auch für die aNDF minus aNDFom eine Beziehung zum Aschegehalt. Bei Grashäcksel und Grasilage stieg mit zunehmendem Aschegehalt die Differenz zwischen den Gehalten der Faserfraktionen aNDF minus aNDFom und ADF minus ADFom hochsignifikant ($R^2 > 0,9$) an, bei 15 % Asche in der T auf etwa 80 g/kg T (Abb. 1 und 2).

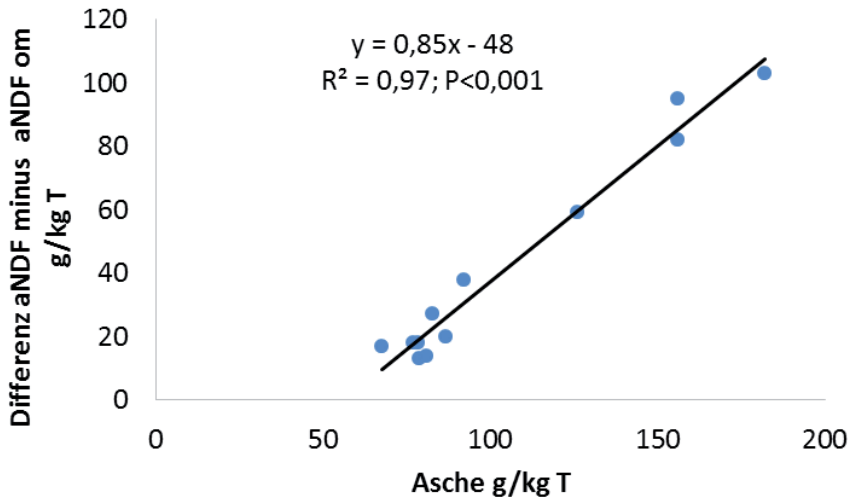


Abb. 1: Lineare Beziehung zwischen dem Aschegehalt und der Höhe der Differenz zwischen aNDF minus aNDFom in den vergleichend untersuchten Grashäckselproben

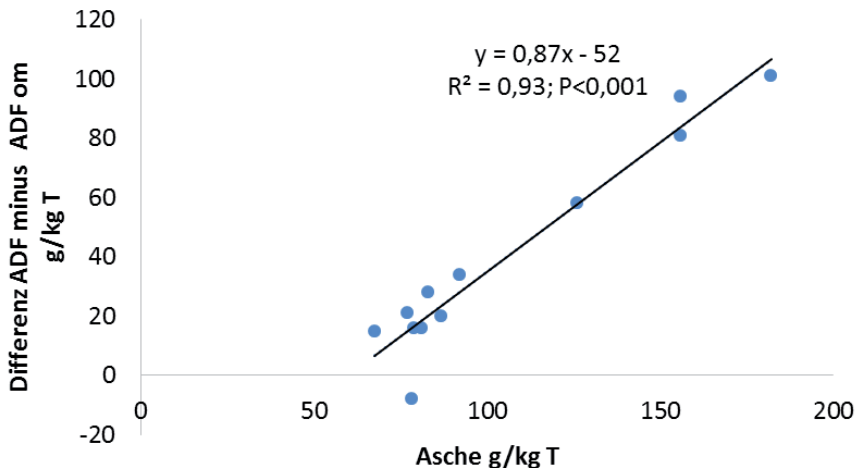


Abb. 2: Lineare Beziehung zwischen dem Aschegehalt und der Höhe der Differenz zwischen ADF minus ADFom in den vergleichend untersuchten Grashäckselproben

Zusammenhänge zwischen dem Aschegehalt und der Differenz zwischen den Gehalten der Faserfraktionen mit und ohne Berücksichtigung der Restasche in den Futtermittel(gruppe)n könnten eine Frage des untersuchten Bereiches sein. Grashäcksel und Grassilage mit 114 und 199 g Asche/kg T Abstand vom Minimum zum Maximum zeigten sehr enge Beziehungen zwischen Aschegehalt und der Differenz zwischen ADF minus ADFom, wogegen das Rindermischfutter mit 146 g Asche/kg T Abstand vom Minimum zum Maximum keine Beziehung ergab. Ebenfalls die nicht nachgewiesene Beziehung zu den Fasergehaltsdifferenzen über einen nicht kleinen Bereich im Aschegehalt bei Getreideganzpflanzensilagen spricht dafür, dass nicht der untersuchte Bereich des Aschegehaltes sondern die Aschezusammensetzung die entscheidende Rolle für einen Zusammenhang spielt. Reine Pflanzenaschen mit ihren hohen Anteilen besonders an Kalium-, Chlorid- und Carbonationen gehen in dem stark-sauren Säure-Detergenz (es sind pro L 0,5 mol Schwefelsäure enthalten) zum großen Teil in Lösung. Das trifft ebenfalls zu für das Rindermischfutter mit dem via Mineralfutteranteil hauptsächlich zugesetzten Calciumcarbonat oder dem Phosphat. „In-Lösung-Gehen“ heißt, die Salze erscheinen nicht im Faserrückstand, täuschen also nicht erhöhte ADF-Gehalte vor. Dagegen scheint die Asche des Grashäcksel und der -silage, zumindest in den höheren Anteilen von 11 bis 15 % der T und darüber hinaus, weniger löslich zu sein als die vorstehend genannten endogenen Pflanzenaschen und die Mineralzusätze im Futter. Die Asche solch eines stärker mit Erde kontaminierten Grashäcksel bzw. einer entsprechenden Silage (häufige Verursacher sind zu tief eingestellte Schneidwerke beim Mähen mit Erdbeimengungen bereits im Schwad) ist denn auch anders zusammengesetzt und enthält höhere Anteile z. B. von Silikaten. Diese sind praktisch unlöslich und erscheinen zwangsläufig im Rückstand nach Extraktion mit den Detergenzienlösungen. Das belegen erste Untersuchungen der Elementzusammensetzung mittels Röntgenfluoreszanalyse (RFA). Danach enthielten die 8 der 12 Grashäckselproben im niedrigeren Bereich von 68 bis 92 g Asche/kg T 2-3 g Silizium/kgT und die 4 im höheren Bereich von 126 bis 182 g Asche/kg T 8-10 g Silizium/kgT. Das bedeutete eine auf das 3 bis 4fach erhöhte Konzentration für das Si infolge der Erdbeimengungen.

3. Fazit

Ein Verzicht auf die Veraschung des Rückstandes nach Behandlung mit Neutral- bzw. Säure-Detergenzien-Lösung lieferte je nach Futtermittel(gruppe)

überhöhte Werte für aNDF von 4 % in Luzernesilage bis 11 % in Mischfuttermitteln, für ADF von 6 % in Luzernesilage bis 17 % in Grassilage. Die Differenz zwischen aNDF und aNDFom vergrößerte sich mit steigendem Gehalt der Asche innerhalb der untersuchten Futtermittel(gruppen), Ausnahme die Getreideganzpflanzensilage. Für die Differenz zwischen ADF und ADFom gibt es ebenfalls diesen aschebedingten Anstieg für Grashäcksel sowie Grassilage, abgeschwächt für die Luzernesilage, jedoch überhaupt nicht für Mischfutter und Getreideganzpflanzensilage. Die Zusammensetzung der Asche hat großen Einfluss auf den Grad der Verfälschung des Ergebnisses bei Verzicht auf die Veraschung als letztem Analysenschritt. Reine Pflanzenasche sowie Asche aus Mineralzusätzen löst sich weitgehend zumindest in der Säure-Detergenz und erscheint somit allenfalls begrenzt im Faserrückstand nach Extraktion. Dagegen sind die über die reine Pflanzenasche hinausgehenden und eine Verschmutzung anzeigenden Ascheanteile besonders in Grashäcksel und -silage weitgehend unlöslich, weil silikathaltig, und damit präsent im Faserrückstand nach Extraktion. In Ergänzung zur Asche ist die HCl-unlösliche Asche als Maß für Erdkontaminationen besonders im Zusammenhang mit der Silagebereitung stärker zu berücksichtigen. Die RFA mit den simultanen Bestimmungen der Mengenelemente, darunter das Si, kann die mineralischen Anteile in den Futtermitteln und deren Unterschiede in der Zusammensetzung noch besser quantifizieren. In Futtermitteltabellen und in der Beratung sind konsequent aNDFom und ADFom anzuwenden.

4. Literaturangaben

- Bonsels, T., Weiß, J., 2014: Milchkuhfütterung ohne Sojaextraktionsschrot. Broschüre, UFOP Berlin.
- Futtermittelverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Juli 2013 (BGBl. I S. 2242), Anlage 4 zu § 13 Absatz 1 und 2.
- Sachs, L., 1984: Statistische Methoden. Fünfte Auflage. Springer Berlin, Heidelberg, New York, S. 58-60 und Tab. I, Spalte 5.
- Spiekers, H., Nussbaum, H., Potthast, V., 2009: Erfolgreiche Milchviehfütterung. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991: Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, Dritte Auflage, 8. Ergänzungslieferung. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Danksagung

Die Herren Heimerl und Stanko vom Referat Probenlogistik zeichneten verantwortlich für die Probenvorbereitung und die Einstellung der Aufträge in das LIMS. Frau Schwarz und Frau Götze führten unter Leitung von Diplomchemiker Bargholz die Analysen durch. Die Grashäckselproben entstammten dem Verbundprojekt „Entwicklung eines landwirtschaftlichen Siloverdichters mit online-Verdichtungsmessung und Fahrerinformationssystem, Teilprojekt 2: Charakterisierung der Qualität von Erntegut und Silagen“, Projektträger Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ammoniumbestimmung aus dem erweiterten Hohenheimer Futterwerttest – ein Vergleich von Analysemethoden

S. Kardel¹, T. Gorniak¹, J. Hummel¹, H. Spiekers², K.-H. Südekum³

¹Universität Göttingen, Department für Nutztierwissenschaften, Göttingen,

²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und

Futterwirtschaft, Poing, ³Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Bonn

1. Einleitung

Die zuverlässige Abschätzung des Gehaltes an nutzbarem Rohprotein am Duodenum (nXP) von Futtermitteln ist Grundlage der Optimierung von Rationen für Wiederkäuer. Insbesondere im Hinblick auf die Effizienz der Stickstoffverwertung bei der Milcherzeugung sind genaue Schätzungen des nXP nötig. Mit dem erweiterten Hohenheimer Futterwerttest (eHFT) (Raab et al. 1983, Steingaß et al. 2001, Steingaß und Südekum 2013) steht eine vergleichsweise leicht durchzuführende *in-vitro* Methode zur Verfügung, die einen hohen Probendurchsatz erlaubt. Die Schätzung des nXP basiert dabei auf der Messung des Ammoniumgehaltes des Inokulums, der sich im Verlauf der Fermentation erhöht und das Gleichgewicht zwischen Proteinabbau und mikrobieller Proteinsynthese beschreibt. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, drei Methoden zur Messung des Ammoniumgehaltes zu vergleichen. Untersuchungsgegenstand waren dabei die Methode nach Conway und Byrne (1933), die Wasserdampfdestillation sowie eine Ammoniumelektrode. Die Ammoniumelektrode ist dabei von besonderem Interesse, da die Messung im Vergleich zu den anderen Methoden 1. erheblich beschleunigt wird und 2. auf den Einsatz von Salzsäure, Natronlauge, Kaliumcarbonat-Lösung und Borsäure verzichtet werden kann. In der Vergangenheit wurden jedoch widersprüchliche Ergebnisse berichtet. So schlussfolgerte Phillips (1983) zwar, dass eine Ammoniumelektrode mit der Conway-Methode übereinstimmende Ergebnisse liefert, fand in seinen Versuchen jedoch auch signifikante Unterschiede zwischen Elektroden- und Conway-Messungen. Byrne und Power (1974) sowie Attili et al. (1975) bewerteten die Elektrode als gute Alternative zu anderen Methoden. Die vorliegende Untersuchung sollte zeigen, wie gut die Methoden Conway, Wasserdampfdestillation und Elektrode bei *in-vitro* Fermentationsrückständen übereinstimmen.

2. Material und Methoden

Ausgangsmaterial für die Ammoniummessung wurde aus acht eHFT-Läufen gewonnen. Dabei wurden folgende 8 Futtermittel inkubiert: Grassilage (18,6 % Rohprotein [XP], 10,0 MJ Umsetzbare Energie [ME]/kg), Heulage (18,5 % XP, 10,1 MJ ME/kg), Grasheu (13,0 % XP, 10,4 MJ ME/kg), Luzernecobs (18,2 % XP, 9,3 MJ ME/kg), Sojaextraktionsschrot 1 (46,1 % XP, 13,1 MJ ME/kg), Sojaextraktionsschrot 2 (47,0 % XP, 12,8 MJ ME/kg), Rapsextraktionsschrot 1 (35,4 % XP, 11,7 MJ ME/kg), Rapsextraktionsschrot 2 (34,7 % XP, 11,4 MJ ME/kg) (alle Angaben auf Trockenmasse-(TM)-Basis). Der Ammoniumgehalt wurde für die Grobfutter nach 8 und 48 Stunden (h) sowie für die Extraktionsschrote nach 8 und 24 h Inkubation bestimmt. Darüber hinaus wurde der Ammoniumgehalt der jeweils mitgeführten Blindproben und der nXP-Standards ermittelt. Die Inkubation erfolgte für jedes Futtermittel in zwei unabhängigen Durchgängen für die Inkubationszeiten 8 und 24 bzw. 48 Stunden jeweils in drei Kolben. Für die statistische Auswertung wurden je Tag die Mittelwerte der Messungen aus den drei Kolben verwendet. Die Durchführung erfolgte wie bei Steingaß und Südekum (2013) beschrieben. Die Messung erfolgte für Conway und Elektrode aus denselben Kolben, während für die Messung nach Wasserdampfdestillation aufgrund des hohen Verbrauchs an Inokulum drei weitere Kolben je Probe und Durchlauf verwendet wurden. Nach Abschluss der Inkubation wurden die Proben in den Kolben auf Eis gelegt, um die Fermentation zu stoppen, und so bis zur weiteren Analyse gelagert.

Die Ammoniummessung im Inokulum wurde folgendermaßen durchgeführt:

Conway-Methode (C): Die Proben wurden bei 3.170 g für 10 Minuten zentrifugiert, nach dem Zentrifugieren wurden 5 ml der Probe mit 0,5 ml 25%iger HCl versetzt und bis zur Messung im Kühlschrank aufbewahrt. Für die Messung wurden 1 ml der angesäuerten Probe und 2 ml gesättigte K_2CO_3 -Lösung für 24 h in eine verschlossene Glasschale gegeben, das dabei freigesetzte Ammoniak wurde durch Borsäure (2 ml), die sich in einem abgetrennten Kompartiment der Schale befand, als Ammonium gebunden (Conway und Byrne 1933). Nach Abschluss der Reaktion erfolgte die Bestimmung des Ammoniumgehaltes in der Borsäurelösung durch Titration mit 0,05 M HCl.

Wasserdampfdestillation (D): Die Probe (30 ml) wurde mit 0,6 ml 1-molarer Natronlauge versetzt, der dabei entstehende Ammoniak mit Wasserdampf ausgetrieben und in einer Borsäurelösung als Ammonium gebunden. Anschließend

erfolgt die Ammoniumbestimmung durch Titration mit 0,01 M HCl. Die Vorgehensweise war analog zur Wasserdampfdestillation, die für die Stickstoffbestimmung nach Kjeldahl verwendet wird, mit dem Unterschied, dass 1-molare Natronlauge verwendet wurde.

Elektrode (E): Die Messung mit der Elektrode (Ammonium-Elektrode NH 1100, SI-Analytics, Mainz) erfolgt aus dem für die Conway-Methode zentrifugierten Inokulum direkt nach dem Zentrifugieren. Vor jeder Messreihe wurde mit Hilfe einer Verdünnungsreihe auf Basis einer Ammoniumchlorid-Stammlösung (1000; 500; 100; 10 mg/l NH_4Cl) eine Kalibrierkurve erstellt. Zur Messung wurden 10 ml des Inokulums mit 1 ml einer Alkalisierlösung (1 M NaOH und 0,1 M EDTA) versetzt und unter stetigem Rühren mit dem Magnetrührer durch Eintauchen der Elektrode gemessen, der Messwert wurde nach Erreichen eines stabilen Wertes (nach ca. 2 bis 8 Minuten Messzeit) abgelesen und die Ammoniumkonzentration aus der Kalibrierkurve abgelesen. Zur Prüfung der Elektrode wurden zu Beginn, zwischen und nach den Messungen der Proben Standards aus der Verdünnungsreihe gemessen.

Die Berechnung des nXP-Gehaltes (g/kg TM) aus den Ammoniumgehalten erfolgte nach Gleichung 1:

$$\text{nXP (g/kg TM)} = \{[\text{NH}_3\text{-N Blindwert (mg)} + \text{N Futter (mg)} - \text{NH}_3\text{-N Probe (mg)}] * 6,25 * 100000\} / [\text{Einwaage Futter (mg)} * \text{TM Futter (\%)}]$$

Für die statistische Auswertung wurde ein einfaches lineares Regressionsmodell verwendet, um den Zusammenhang zwischen den Messmethoden zu beschreiben, die Auswertung erfolgte mit Statistica (Version 10., StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA). Darüber hinaus wurde ein gemischtes lineares Modell verwendet (fixe Faktoren: Analysemethode, Messzeitpunkt und deren Interaktion; zufälliger Faktor: Inkubationstag); die Auswertung erfolgte mit SAS (Version 9.4., SAS Institute Inc., Cary, NC, USA).

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Auswertung der Messmethoden ergab, dass die Conway- und die Destillationsmethode für alle drei Inkubationszeiten vergleichbare Ergebnisse lieferten, die Elektrode jedoch geringere Werte ausgab (Tab. 1). Frühere

Untersuchungen von Phillips (1983) zeigten, dass mit der Elektrode je nach Probe sowohl ähnliche als auch höhere oder geringere Werte im Vergleich zu Conway gefunden wurden. Die Berechnung der nXP-Gehalte ergab jedoch übereinstimmende Werte für alle drei Messungen.

Tab. 1: $\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l) und nXP-Gehalt (g/kg Trockenmasse) der Proben nach 8, 24 und 48 Stunden Inkubation

	Conway	Destillation	Elektrode	SE
$\text{NH}_3\text{-N}$				
8	211,4 ^a	222,8 ^a	125,4 ^b	16,29
24	311,9 ^a	337,9 ^a	214,6 ^b	21,39
48	345,5 ^a	393,5 ^a	168,1 ^b	18,15
nXP				
8	241,8	239,3	253,5	21,02
24	201,4	183,5	248,1	27,57
48	109,1	95,5	143,6	23,31

nXP: Nutzbares Rohprotein am Duodenum, SE: Standardfehler. Werte mit unterschiedlichen Exponenten innerhalb einer Zeile unterscheiden sich für $p < 0,05$

Die Übereinstimmung der Conway-Methode (C) mit der Wasserdampfdestillation (D) war über alle Fermentationszeiten betrachtet gut ($\text{NH}_3\text{-N C} = 28,7 + 0,81 \cdot \text{NH}_3\text{-N D}$, $R^2=0,983$). Auch bei getrennter Betrachtung der Fermentationszeiten war die Übereinstimmung angemessen (8 h $R^2 = 0,915$, 24 h $R^2 = 0,998$ und 48 h $R^2 = 0,965$; Abb. 1-3).

Die Übereinstimmung der beiden Methoden mit den Ergebnissen der Elektrode (E) hingegen war schlechter ($\text{NH}_3\text{-N E} = 25,0 + 0,49 \cdot \text{NH}_3\text{-N D}$, $R^2=0,742$; $\text{NH}_3\text{-N E} = 9,9 + 0,60 \cdot \text{NH}_3\text{-N C}$, $R^2=0,880$). Betrachtet man hier die Inkubationszeiten getrennt, fällt auf, dass es zwischen Messergebnissen mit den Methoden E und C sowie E und D für 8 h nur einen schwachen Zusammenhang gab (8 h E vs. C: $R^2 = 0,407$, E vs. D: $R^2 = 0,264$). Für 24 h und 48 h waren bessere, dennoch nur mäßig gute Übereinstimmungen zu finden (24 h E vs. C: $R^2 = 0,792$, E vs. D: $R^2 = 0,632$; 48h E vs. C: $R^2 = 0,883$, E vs. D: $R^2 = 0,852$). Betrachtet man des Weiteren die Konfidenzgrenzen, fällt auf, dass die Messwerte der Methode E eine deutlich breitere Streuung aufweisen (Abb. 1-3).

Die berechneten nXP-Werte hingegen unterschieden sich zwischen den Methoden nur numerisch (Tab. 1). Es ist allerdings zu vermuten, dass die Übereinstimmung bei den nXP-Werten ein Artefakt der angewendeten Methode ist. Bei der Elektrode kommt es zu einer systematischen Unterschätzung der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalte in den Proben, so dass die Unterschätzung des $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalts der Blindproben die Unterschätzung des $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehalts der Futtermittelproben bei der nXP-Berechnung ausgleicht und trotz analytischer Probleme zu vergleichbaren nXP-Schätzungen führt (Gleichung 1).

Betrachtet man weiterhin die Soll- und die Ist-Werte des nXP-Standards nach 8, 24, und 48 h Inkubation, fällt auf, dass über die Methoden hinweg der Standardfaktor bei 8 und 24 h innerhalb der angestrebten Grenzen von $1,0 \pm 0,1$ (Spiekers et al. 2014) liegt. Bei 48 Stunden Inkubation liegt der Wert deutlich niedriger, über die Methoden hinweg erfolgt also eine Überschätzung des nXP-Gehaltes, was auch Spiekers et al. (2014) beschreiben (Tab. 2).

Tab.2: Daten zur Ermittlung des Faktors der nXP-Bestimmung der drei geprüften Methoden im Vergleich

Laufzeit (h)	Methode	Soll-Wert nXP-Standard [g/kg TM]	Messwerte nXP-Standard [g/kg TM]	Faktor
8	Conway	232	219	1,06
	Destillation		217	1,07
	Elektrode		230	1,01
24	Conway	183	185	0,99
	Destillation		179	1,03
	Elektrode		204	0,90
48	Conway	97	142	0,68
	Destillation		116	0,84
	Elektrode		199	0,49

Die Unterschiede zwischen den Methoden können auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein. Zunächst liegt die Vermutung nahe, dass die unterschiedliche Behandlung der Proben die Ergebnisse beeinflusst hat. Als Einflussgrößen kommen hier die Zugabe von 25-%ger HCl (C), Zentrifugation (C und E) und die Zugabe unterschiedlicher Alkalisierlösungen in Frage. Da die Proben für die Destillationsmethode jedoch nicht behandelt wurden und die Ergebnisse von C und D gut übereinstimmen, kann davon ausgegangen werden, dass sowohl Zentrifugation (Methode C und E), als auch die Zugabe von HCl (Methode C) kei-

nen Einfluss auf das Ergebnis hatten. Insbesondere ist davon auszugehen, dass die Zentrifugation die Messung mit der Elektrode eher verbessert als verschlechtert, da so Schwebstoffe, welche die Membran der Elektrode zusetzen können, aus der zu untersuchenden Lösung entfernt werden (Phillips 1983). Die schlechte Übereinstimmung der Elektrode mit C und D ist darüber hinaus insofern verwunderlich, als dass die Elektrode mit einer Verdünnungsreihe kalibriert wurde und sowohl vor, zwischen, als auch nach den Messungen Standards gemessen wurden um die Kalibration zu kontrollieren. Vorerst kann nicht geklärt werden, warum die Elektrode keine übereinstimmenden Messergebnisse geliefert hat.

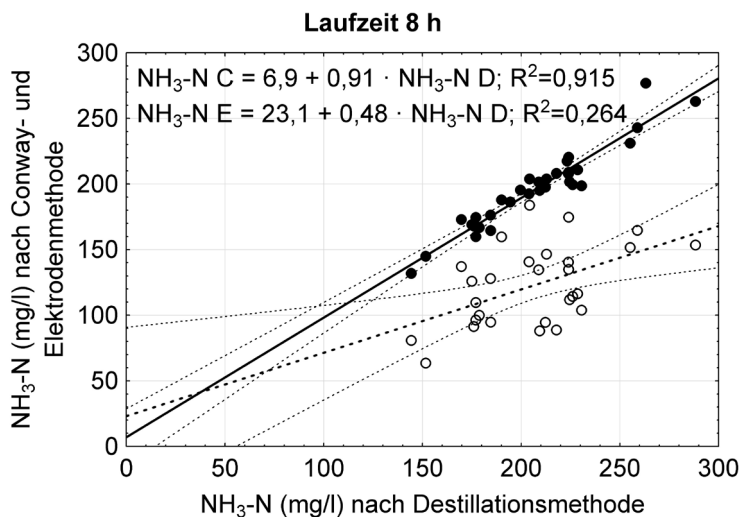


Abb. 1: Regressionen $\text{NH}_3\text{-N}$ -Messungen bei 8 h; nicht dargestellt:
 $\text{NH}_3\text{-N E} = -9,4 + 0,68 \cdot \text{NH}_3\text{-N C}; R^2=0,407$
 Durchgezogene Linie: Destillation vs. Conway, unterbrochene Linie: Destillation vs. Elektrode, dünne unterbrochene Linien: \pm -95 % Konfidenzgrenzen $\text{NH}_3\text{-N C}$: Conway, $\text{NH}_3\text{-N D}$: Destillation, $\text{NH}_3\text{-N E}$: Elektrode.

Die Unterschätzung der $\text{NH}_3\text{-N}$ -Werte über alle Inkubationszeiten, bei gleichzeitig korrekter Messung der Verdünnungsreihe, legt die Vermutung nahe, dass ein systematischer Einfluss der Matrix auf die Elektrode ausgeübt wurde. Ammoniumelektroden können in anderen Matrices erfolgreich verwendet werden (Attili et al. 1975). Phillips (1983) schlägt für Pansenflüssigkeit vor, die zu untersuchende Probe zusätzlich zur Zentrifugation zu verdünnen um ein Zuset-

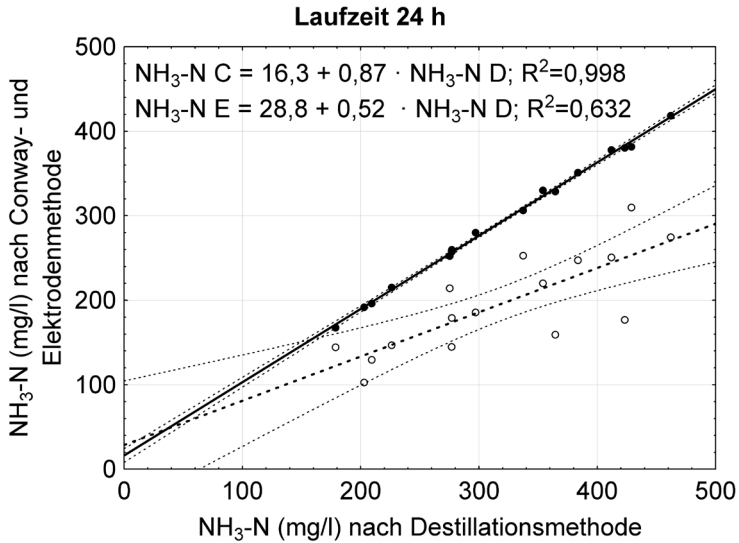


Abb. 2: Regressionen NH_3-N -Messungen bei 24 h; nicht dargestellt:
 $NH_3-N E = 19,8 + 0,60 \cdot NH_3-N C; R^2=0,792$; Legende in Abb. 1

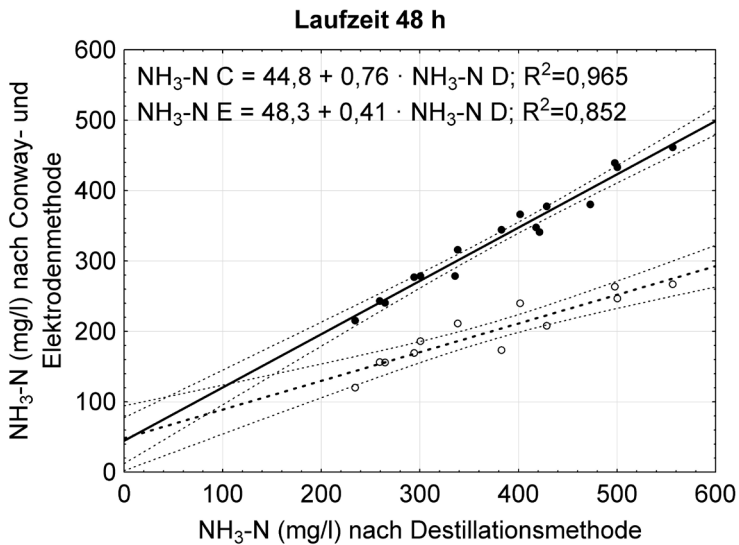


Abb. 3: Regressionen NH_3-N -Messungen bei 48 h; nicht dargestellt:
 $NH_3-N E = 24,3 + 0,53 \cdot NH_3-N C; R^2=0,883$; Legende in Abb. 1

zen der Membran zu verhindern. In weiteren Untersuchungen sollte darüber hinaus geklärt werden, ob die Fehleinschätzung der Elektrode systematisch und unbeeinflusst vom zu untersuchenden Futtermittel ist, und ob entsprechende Korrekturfaktoren abgeleitet werden können. Bis dahin kann die Verwendung der Elektrode zur Ermittlung des $\text{NH}_3\text{-N}$ -Gehaltes und der darauf basierenden Schätzung des nXP-Gehaltes jedoch nicht empfohlen werden.

4. Schlussfolgerungen

Die Methoden C und D liefern vergleichbare Ergebnisse und können grundsätzlich beide eingesetzt werden. Die Elektrodenmessung hingegen weicht von den beiden anderen Methoden ab, sodass der Einsatz der Elektrode zur vereinfachten $\text{NH}_3\text{-N}$ -Messung derzeit nicht empfohlen werden kann. Unklar bleibt vorerst, wie die Unterschiede zustande kamen. Unterschiede in der Probenaufbereitung scheinen nicht die Ursache zu sein, sollten aber genauer überprüft werden.

Insbesondere sollte in weiteren Untersuchungen geklärt werden, ob die Unterschiede, auch über ein breiteres Probenspektrum hinweg, systematisch sind und somit korrigiert werden könnten oder ob bei weiterer Probenaufbereitung, wie Verdünnung, bessere Übereinstimmungen erzielt werden können.

Weiterhin war auffällig, dass alle drei Methoden für die Inkubationszeit von 48 Stunden im Vergleich zum nXP-Standard deutlich zu hohe nXP-Werte (also zu geringe $\text{NH}_3\text{-N}$ -Werte) ermittelten. Der eHFT als Methode sollte also vor dem Hintergrund der von Spiekers et al. (2014) aufgeworfenen Fragen zur Methodik und Standardisierung weiter untersucht werden.

5. Literaturangaben

- Attili, A., F., Autizi, D., Capocaccia, L., Costantini, S., Cottaramusino, F., 1975: Rapid-determination of plasma ammonia using an ion specific electrode. *Biochem. Med.* 14 109-116.
- Byrne, E., Power, T., 1974: Determination of ammonium nitrogen in animal slurries by an ammonium electrode. *Soil Sci. Plant Anal.* 5 51-65.

- Conway, E. J., Byrne, A., 1933: An absorption apparatus for the micro-determination of certain volatile substances: The micro-determination of ammonia. *Biochem. J.* 27, 419-429.
- Phillips, W., A., 1983: Analysis of rumen fluid with the ammonia electrode. *Rev. Sci. Instrum.* 54 1761-1763.
- Raab, L., Cafantaris, B., Jilg, T., Menke, K.H., 1983: Rumen protein degradation and biosynthesis 1. A new method for determination of protein degradation in rumen fluid *in vitro*. *Br. J. Nutr.* 50, 569-582.
- Spiekers, H., Rauch, P., Schuster M., Richardt, W., Südekum K.-H., 2014: Methodische Etablierung des erweiterten Hohenheimer Futterwerttests (eHFT) zur Abschätzung der Proteinwerte in Grasprodukten für Wiederkäuer. *VDLUFA-Schriftenr.* 70, 505-510.
- Steingaß, H., Nibbe, D., Südekum, K.-H., Lebzién, P., Spiekers, H., 2001: Schätzung des nXP-Gehaltes mit Hilfe des modifizierten Hohenheimer Futterwerttests und dessen Anwendung zur Bewertung von Raps- und Sojaextraktionsschroten. 113. *VDLUFA-Kongress, Berlin, Kurzfassung der Vorträge*, 114.
- Steingaß, H., Südekum, K.-H., 2013: Proteinbewertung beim Wiederkäuer – Grundlagen, analytische Entwicklungen und Perspektiven. *Übers. Tierernährg.* 41, 51-73.

γ -Aminobuttersäure in Grassilagen Untersuchungen zur Variation und Korrelation zu ausgewählten N-haltigen Fraktionen

O. Steinhöfel¹, C. Kuhnitzsch¹, W. Richardt², B. Pieper³,
U. Korn³, A. Zeyner⁴

¹Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, ²Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service-Gesellschaft mbH Lichtenwalde,

³Dr. Pieper Technologie- und Produktentwicklung GmbH Wuthenow, ⁴Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften

1. Einleitung

Die γ -Aminobuttersäure (GABA) ist ein Produkt der einfachen Decarboxylierung von Glutaminsäure, welche insbesondere durch desmolytisch aktive Clostridien in Gras- und Leguminosensilagen provoziert wird. Eine erhöhte Aufnahme gilt als unerwünscht, da GABA als inhibitorischer Neurotransmitter im Zentralnervensystem wirkt. Die Resorption und Wirkung im Tier nach oraler Aufnahme höherer Mengen aus Silagen sind bislang unzureichend untersucht. Aktuelle Arbeiten stellen eine nennenswerte Resorption nach oraler Aufnahme in Frage (Knych et al., 2015). Unabhängig von Fragen zur Resorption bzw. zu postresorptiven Effekten deuten höhere GABA-Gehalte im Siliergut auf unerwünschte proteolytische und desmolytische Prozesse hin. Um ggf. Restriktionen für Silagen mit erhöhten GABA-Gehalten formulieren zu können, ist eine kosten- und zeiteffiziente Routineanalytik erforderlich, welche aktuell nicht verfügbar ist. Es wird nach Korrelationen zu laboranalytischen Routineparametern gesucht, um den Gehalt an GABA in Grassilagen schätzen zu können. Nach Theermann (2011) könnte dies z. B. über den Reineiweißgehalt erfolgen. Die vorliegende Studie soll Hinweise geben, ob die derzeit in der Routine untersuchten Parameter, wie Ammoniak oder auch einzelne Proteinfractionen (Licitra et al., 1996), in einer signifikanten Beziehung zu den GABA-Konzentrationen in Grassilagen stehen. In Voruntersuchungen (Richardt et al., 2011) an 99 Silagen aus Silierversuchen in Sachsen und NRW stand die Gesamtkonzentration an biogenen Aminen (BA_z) in einer negativen Beziehung zum Gehalt an Trockenmasse (TM) ($r = -0,64$, $p < 0,05$), während die Konzentration an NH_3 -N positiv mit dem an biogenen Aminen assoziiert war

($r = 0,67$, $p < 0,05$). Variablen der Proteinfractionierung waren dabei weniger geeignet den Gehalt an BA_z abzubilden.

2. Material und Methoden

2.1 Probenmaterial

In die statistischen Untersuchungen wurden 81 vollständige Datensätze von Grassilagen (1.-5. Aufwuchs) einbezogen. wurden Die Laboranalytik der Rohnährstoffe wurde nach den Vorschriften des VDLUFA (1976, Methoden 3.1, 4.1.1., 5.1.1. 6.1.1, 8.1) durchgeführt. Die Analyse der einzelnen Proteinfractionen erfolgte in Anlehnung an Licitra et al., (1996), während die Gehalte an biogenen Amine und GABA mittels GC/MS/MS (Hausmethode LKSmbH) bestimmt wurden. Die lineare Beziehung zwischen den Konzentrationen an GABA und anderen N-haltigen Fraktionen wurde mittels Korrelationsanalyse nach Pearson sowie linearer Regressionsanalyse ausgewertet (IBM SPSS Statistics, Version 20). Die wichtigsten statistischen Maßzahlen der untersuchten Variablen und insbesondere die Spannweite der Analyseergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Alle verwendeten Variablen waren normal verteilt. Die GABA-Konzentration der Silagen variierte zwischen 0,6 und 12 g/kg TM.

Tab.1: Konzentration an ausgewählten N-haltigen Fraktionen in den 81 untersuchten Grassilagen sowie lineare Beziehung zwischen den Gehalten an GABA und den weiteren Fraktionen

Fraktion		MW	Median	Min	Max	$\pm s$	r	p
GABA	[g/kg TM]	7,1	6,9	0,6	12	2,6		
TM	[g/kg TM]	377	377	228	575	76,0	-0,75	<0,01
Reineiweiß	[% im RP]	45,7	44,7	30,6	69	7,9	-0,40	<0,01
Fraktion A	[% im RP]	54,2	55,3	23,3	69,4	8,6	0,27	=0,02
Fraktion B3	[% im RP]	13,9	12,8	3,4	33,9	5,5	-0,32	<0,01
Fraktion C	[% im RP]	5,2	5,1	2,8	11,9	1,3	-0,29	=0,01
Proteinlös.	[% im RP]	56,7	58,4	27,3	71,1	8,5	-0,20	=0,07
UDP ₈ -kalk.*	[% im RP]	27,3	26,7	15,8	43,6	4,9	-0,37	<0,01
NH ₃ -N	[% im RP]	7,1	6,8	0,0	23,0	2,9	-0,44	<0,01

* Shannak et al. (2000), Kirchhof et al. (2010)

Zur Validierung der Aussage wurde ein unabhängiger Datensatz ($n = 20$) aus Silierversuchen eines aktuell laufenden Forschungsprojektes ausgewertet. Die Ergebnisse stammen aus 90 Tage alten Laborsilos. Untersucht wurden Luzernesilagen mit zwei TM-Gehalten (21 und 46 %) bei Zusatz diverser Siliermittel, Tanninextrakte bzw. Kombinationen daraus ($n = 3$ pro Variante; Abb. 1).

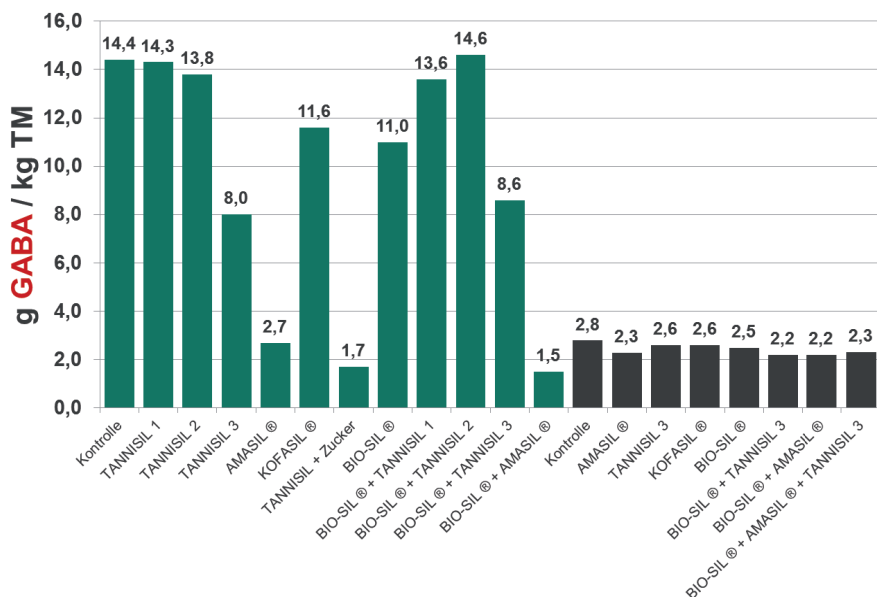


Abb. 1: GABA-Gehalte in Luzernesilagen mit zwei TM-Stufen aus 20 Laborsilos mit verschiedenen Zusätzen (je $n = 3$)

3. Ergebnisse und Diskussion

In den untersuchten Grassilagen ($n = 81$) wurde ein mittlerer GABA-Gehalt von $7,1 \pm 2,6$ g/kg TM festgestellt. Dieser war negativ mit dem TM-Gehalt der Silagen korreliert (Tab. 1). Die regressive Auswertung zeigt, dass bei TM-Gehalten von weniger als 45 % in den Grassilagen das Auftreten von GABA-Konzentrationen oberhalb von 5 g/kg TM sehr wahrscheinlich ist (Abb. 2). Bei TM-Gehalten unterhalb von 35 % muss sogar mit GABA-Gehalten von mehr als 8 g/kg TM gerechnet werden. Während in den zur Kontrolle dienenden Luzernesilagen (Abb. 1) nahezu alle Proben mit einem TM-Gehalt von 21 % hohe GABA-Konzentrationen aufwiesen, waren die Silagen mit 46 % TM ausnahmslos arm an GABA.

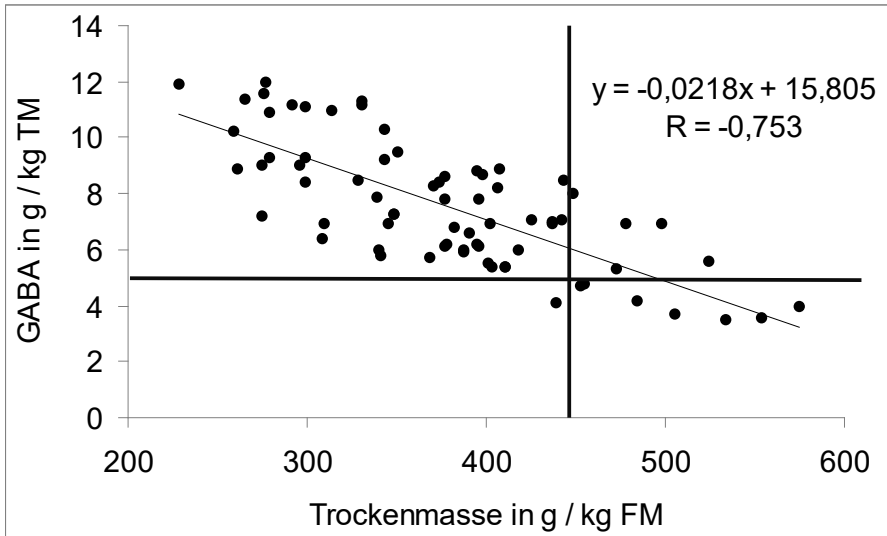


Abb. 2: Beziehung zwischen dem Gehalt an Trockenmasse und GABA in den Grassilagen (n=81)

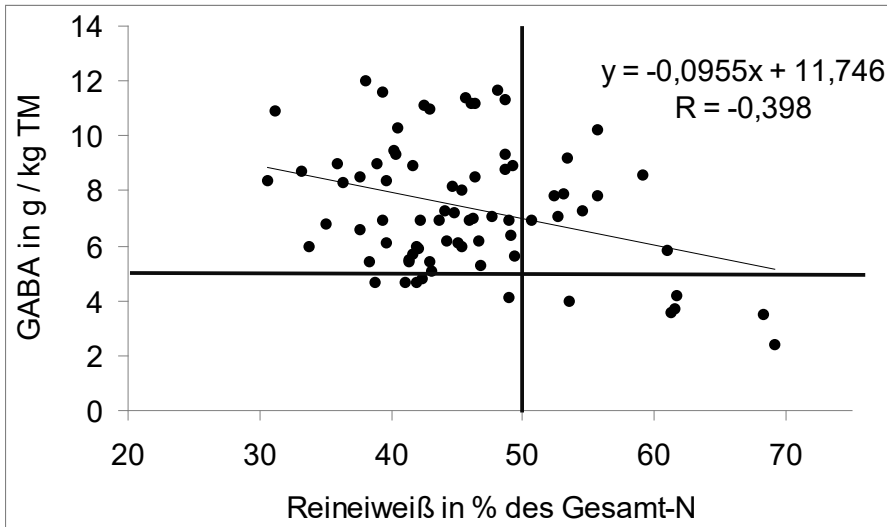


Abb. 3: Beziehung zwischen dem Gehalt an Reineiweiß im Rohprotein und dem an GABA in der TM der Grassilagen (n=81)

In den hier vorliegenden Untersuchungen bestand eine signifikant negative Beziehung zwischen dem Gehalt an Reineiweiß am Gesamt-N und dem an GABA in den Grassilagen (Tab. 1; Abb. 3). Eine solche Beziehung war bereits von Theermann (2011) beschrieben worden. Die Autorin postulierte Reineiweißanteile von weniger als 50 % am Rohprotein als kritisch im Hinblick auf das Auftreten hoher Aminkonzentrationen. Auch in der hier vorgestellten Auswertung war bei einem Anteil von weniger als 50 % Reineiweiß am Gesamt-N ein gehäuftes Auftreten von GABA-Konzentrationen oberhalb von 5 g/kg TM zu verzeichnen (Abb. 3).

Die Ergebnisse aus den Versuchen mit Luzernesilage zeigen, dass die Beziehung zwischen dem Reineiweißanteil am Rohprotein und der GABA-Konzentration beim Vorliegen hoher TM-Gehalte in den Silagen erheblich an Bedeutung verliert (Abb. 4).

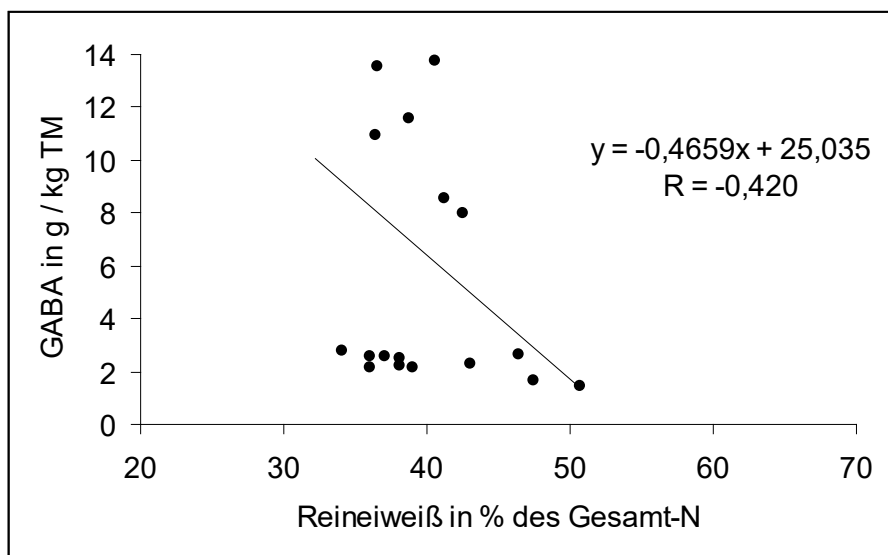


Abb. 4: Beziehung zwischen dem Reineiweißanteil am Rohprotein und dem GABA-Gehalt in den Luzernesilagen (n=20)

Zwischen dem Gehalt an $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N und dem an GABA in den Grassilagen bestand eine signifikant positive Beziehung (Tab. 1; Abb. 5). Dabei weisen Anteile von $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N oberhalb von 10 % auf GABA-Gehalte von mehr als 5 g/kg TM in den Silagen hin.

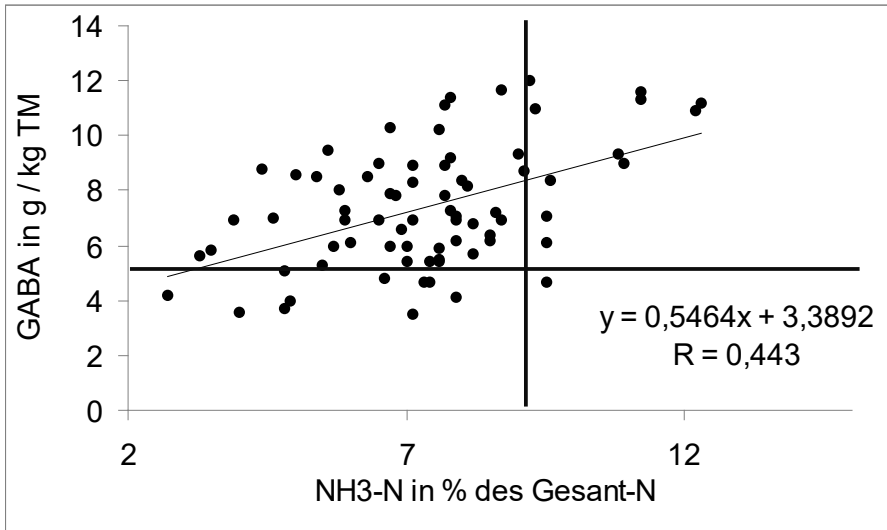


Abb. 5: Beziehung zwischen dem Anteil an NH₃-N am Gesamt-N und dem Gehalt an GABA in den Grassilagen (n=81)

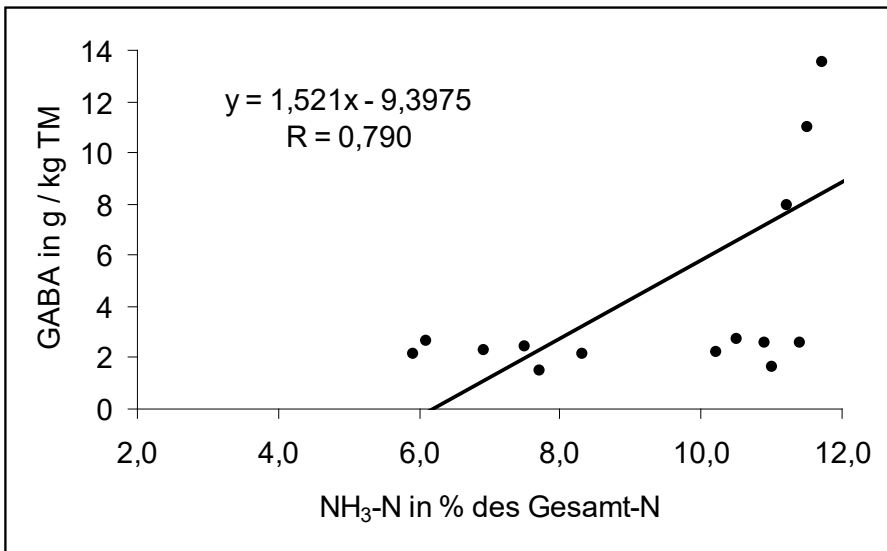


Abb. 6: Beziehung zwischen dem Anteil an NH₃-N am Gesamt-N und dem Gehalt an GABA in den Luzernesilagen (n=20)

Diese Beziehung war prinzipiell auch in den Ergebnissen der Silierversuche mit Luzerne nachvollziehbar (Abb. 6), wobei in diesem Versuchsansatz Interaktionen mit weiteren, systematisch beeinflussenden Variablen zu berücksichtigen sind.

4. Fazit

Die Beachtung des absoluten Gehaltes N-haltiger Fraktionen und deren qualitativer Verschiebung während des Silierprozesses ist sowohl für die Bewertung des Konservierungserfolges als auch der Fütterungstauglichkeit von Silagen empfehlenswert. Gehalte an Reineiweiß am Rohprotein von weniger als 50 % weisen auf GABA-Konzentrationen oberhalb von 5 g/kg TM hin. Der Anteil an $\text{NH}_3\text{-N}$ am Rohprotein ist zur Beurteilung von Proteolyse und Desmolyse im Silierprozess ebenfalls gut geeignet. Bei Anteilen von mehr als 10 % $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N ist das Vorkommen nennenswert hoher Gehalte an GABA (> 5 g/kg TM) wahrscheinlich. Da die Reineiweißbestimmung mit höheren analytischen Aufwendungen verbunden ist und zudem die GABA-Konzentration in Silagen über den Reineiweißanteil am Rohprotein nur mit geringfügig höherer Sicherheit geschätzt werden kann als über den Gehalt an $\text{NH}_3\text{-N}$ am Gesamt-N ist die Einbeziehung von $\text{NH}_3\text{-N}$ in die analytische Routine zur Beurteilung von Silagen unbedingt zu empfehlen. Die sicherste Beziehung weist die Konzentration an GABA offenbar zum TM-Gehalt von Silagen auf, wobei in den hier vorliegenden Untersuchungen an Grassilagen erst bei TM-Gehalten oberhalb von 45 % höhere GABA-Konzentrationen (> 5 g/kg TM) sicher auszuschließen waren. Eine routinemäßige Analyse des Gehaltes an biogenen Aminen und in Besonderheit an GABA in Silagen erscheint erst dann sinnvoll, wenn anhand eines aussagefähigen (patho-)physiologischen Korrelats belastbare Orientierungs- bzw. Grenzwerte formuliert worden sind.

5. Literaturangaben

Kirchhof S., Eisner I., Gierus M., Südekum K.-H., 2010: Variation in the contents of crude protein fractions of different forage legumes during the spring growth. Grass Forage Sci. 65, 376-382.

- Knych, H.K., Steinmetz, S.J., McKemie, D.S., 2015: Endogenous concentrations, pharmacokinetics, and selected pharmacodynamic effects of a single dose of exogenous GABA in horses. *J. Vet. Pharmacology and Therapeutics* 38, 113-122.
- Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347-358.
- Richardt, W, Wein, R., Steinhöfel, O., Pries, M., 2011: Untersuchungen zur Veränderung der Proteinqualität während der Silierung von Grassilagen unter Berücksichtigung biogener Amine, VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 67, 45-48, Kongressband 2011 Speyer, VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- Shannak, S, Südekum, K.-H., Susenbeth, A., 2000: Estimating ruminal crude protein degradation with in situ and chemical fractionation procedures: *Anim. Feed Sci. Technol.* 85, 195-214.
- Theermann, S., 2011: Untersuchungen zum Einfluss von Grassilagen mit auffällig niedrigen Reineiweißanteilen auf Aminosäuren und biogene Amine im Pansensaft (in vitro). Diss. Hannover, Tierärztliche Hochschule.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Beziehungen zwischen Verdaulichkeit, ruminaler Abbaubarkeit und Ertrag von Silomais-Ganzpflanzen verschiedener Sorten

L. Gruber, G. Terler

HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Irdning-Donnersbachtal

1. Einleitung und Fragestellung

Silomais zählt zu den bedeutendsten Futtermitteln in der Rinderfütterung. Aufgrund seines im Vergleich zu anderen Grundfuttermitteln hohen Ertrages und Energiegehaltes wird er sowohl in der Milchviehfütterung als auch in der Rindermast in hohem Maße eingesetzt.

Bei Silomais handelt es sich um eine spezielle Pflanzenart, die sich aus dem energiereichen, hochverdaulichen Maiskolben und der faserreichen, schwer verdaulichen Restpflanze zusammensetzt (Groß, 1980; Gruber et al., 1983). Der Futterwert von Silomais wird daher sehr stark von den Anteilen der Restpflanze und des Kolbens an der Gesamtpflanze sowie von deren chemischer Zusammensetzung und Verdaulichkeit bestimmt (Parys et al., 2000; Ettle und Schwarz, 2003). Neben anderen Faktoren können Sorte, Erntezeitpunkt und Jahr den Kolbenanteil, den Nährstoffgehalt und die Verdaulichkeit von Silomais beeinflussen. Deshalb wurde an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ein Forschungsprojekt zur Ermittlung der Ertragsfähigkeit, des Futterwertes und des Milchproduktionswertes von Silomais über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt. Um den optimalen Erntezeitpunkt bestimmen zu können, erfolgte die Ernte jeweils zu drei verschiedenen Vegetationsstadien.

2. Material und Methodik

Neun verschiedene Sorten von sehr unterschiedlicher Reifezahl (RZ 230-330) wurden drei Jahre hindurch (2007, 2008, 2010) in einem Silomaishauptproduktionsgebiet angebaut (Wels, Oberösterreich) und zu drei verschiedenen Erntezeitpunkten geerntet (Tab. 1).

Tab. 1: Untersuchte Silomais-Sorten mit Reifezahl (RZ)

Reifegruppe I		Reifegruppe II		Reifegruppe III	
Sorte	RZ	Sorte	RZ	Sorte	RZ
1 Nuestro	230	4 Roberto	270	7 DK315	320
2 NK Falkone	250	5 PR39T45	280	8 PR39F58	320
3 Beatle	260	6 Ronalدينو	290	9 Friedrixx	330

Die Feststellung des Ertrages und die Untersuchung der Verdaulichkeit wurden nur beim mittleren Erntezeitpunkt durchgeführt (50-55 % TM im Kolben). Dazu wurden 50 m lange Parzellen mit 4 Reihen herangezogen und auf ein ha hochgerechnet. Der Kolbenanteil wurde an 30 Pflanzen erhoben. Die Untersuchung der ruminalen TM-Abbaubarkeit mit der *in situ*-Methode nach Ørskov et al. (1980) erfolgte dagegen von allen drei Erntezeitpunkten (Terler und Gruber, 2015).

Nach der Ernte mit einem praxisüblichen Silomaishäcksler (Claas Jaguar 80) wurde das Erntegut in Siloballen siliert und für die Fütterungs- und Verdauungsversuche herangezogen. Von Proben aus diesem Material wurden nach den Methoden des VDLUFA (2012) die Gehalte an Rohasche (XA, Methode 8.1), Rohfett (XL; 5.1.1), Rohprotein (XP; 4.1.1), Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom; 6.5.1), Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom; 6.5.2) sowie Säure-Detergenzien-Lignin (ADL; 6.5.3) mit Tecator-Geräten ermittelt. Die Trockenmasse-Bestimmung erfolgte durch Trocknung bei 104 °C für 24 h. Die bei der Trocknung von Silagen entstehenden Verluste über flüchtige Substanzen wurden nach den Angaben von Weißbach und Kuhla (1995) berücksichtigt. Die *in vivo*-Verdaulichkeit der Versuchsfutter wurde mit Hammeln nach den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1991) festgestellt (je 14 Tage Vorperiode und Sammelperiode, Futterniveau 1 kg TM Versuchsration pro Tag, 4 Tiere pro Futtermittel).

Die statistische Analyse wurde mit der Prozedur GLM von Statgraphics Centurion XV nach folgendem Modell durchgeführt:

$$y_{ijk} = \mu + S_i + E_j + J_k + (S \times E)_{ij} + (S \times J)_{ik} + (E \times J)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

y_{ijk} = Beobachtungswert des abhängigen Parameters

μ = Intercept, ε_{ijk} = Random Error

S_i = fixer Effekt der Sorte i ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$)

E_j = fixer Effekt des Erntezeitpunktes j ($j = \text{Vor, Haupt, Nach}$)

J_k = fixer Effekt des Jahres k ($k = 2007, 2008, 2010$)

$(S \times E)_{ij}$, $(S \times J)_{ik}$, $(E \times J)_{jk}$ = Wechselwirkungen zwischen S, E, J

3. Ergebnisse

Die neun Maissorten unterschieden sich signifikant hinsichtlich Gehalt und Ertrag an TM sowie dem Kolbenanteil. Sie unterschieden sich jedoch nicht signifikant bezüglich Gehalt an Rohprotein (XP), Gerüstsubstanzen (XF und NDF) und Nichtfaser-Kohlenhydraten (NFC) (Tab. 2). Der Gehalt an TM betrug im Durchschnitt 317 ± 22 g/kg FM, an XP 72 ± 2 g/kg TM und an XF 230 ± 11 g/kg TM. Die größten Unterschiede zwischen den Sorten zeigten sich beim Ertrag ($18\,199 \pm 1391$ kg TM je ha). Der Anteil des Kolbens belief sich auf $52,8 \pm 2,1$ % der TM. Die Sorten NK Falkone und PR39T45 wiesen den höchsten Kolbenanteil auf sowie Beatle und Roberto den niedrigsten. Die Sorten Ronaldinio, PR39T45 und PR39F58 erreichten die höchsten Erträge an Trockenmasse und die Sorten Nuestro, DK315 sowie Friedrixx die niedrigsten.

Tab. 2: Trockenmasse-Gehalt (g/kg FM), Nährstoffgehalt (g/kg TM), Kolbenanteil (KA, % der TM) und Ertrag (to TM/ha) von Silomais-Ganzpflanzen in Abhängigkeit von der Sorte

	TM	XP	XF	NDF	NFC	KA	Ertrag
Sorte							
Nuestro	326 ^{abc}	72	232	447	406	53,6 ^{abc}	16,9 ^b
NK Falkone	355 ^a	71	213	423	434	55,8 ^a	17,5 ^{ab}
Beatle	290 ^c	72	237	469	386	51,0 ^c	18,0 ^{ab}
Roberto	301 ^{bc}	73	236	461	390	51,9 ^{bc}	17,5 ^{ab}
PR39T45	335 ^{ab}	71	221	443	412	55,0 ^{ab}	19,8 ^{ab}
Ronaldinio	332 ^{ab}	72	223	456	399	53,4 ^{abc}	20,4 ^a
DK315	290 ^c	74	232	460	393	53,4 ^{abc}	16,9 ^b
PR39F58	318 ^{abc}	71	226	453	403	54,2 ^{abc}	19,7 ^{ab}
Friedrixx	305 ^{bc}	77	251	497	346	52,8 ^{abc}	17,0 ^b
Statistische Parameter							
LS-Mean	317	72	230	456	397	52,8	18.199
RSD	13	3	14	26	29	3,7	1,1
P-Wert	<0,001	0,272	0,150	0,142	0,113	0,499	0,005
R ² (%)	83,8	64,4	54,6	49,8	50,9	57,6	77,9

In Tab. 3 sind die Ergebnisse zur ruminalen Abbaubarkeit und Verdaulichkeit angeführt. Hinsichtlich der Ørskov-Parameter traten nur in der Fraktion b (unlösliche, potenziell abbaubare Fraktion) signifikante Unterschiede auf, nicht jedoch

in der Fraktion a (rasch lösliche Fraktion) und in c (Abbaugeschwindigkeit). Im Durchschnitt betrug die Fraktion a $32,0 \pm 5,0$ % und die Fraktion b $44,4 \pm 3,4$ %. Die Abbaurate c belief sich auf $5,4 \pm 0,5$ % pro h.

Dagegen zeigten sich bei der potenziellen Abbaubarkeit PD (= a + b) und der effektiven Abbaubarkeit ED5 (Passagerate 5 %) signifikante Unterschiede zwischen den Maissorten, ebenso bei der an Hammeln ermittelten Verdaulichkeit *in vivo* (Tab. 3). Im Durchschnitt betrug die potenzielle Abbaubarkeit PD $76,4 \pm 1,0$ % und die effektive Abbaubarkeit ED5 $55,1 \pm 1,1$ %. Die mittlere Verdaulichkeit machte $72,7 \pm 1,0$ % aus und die Energiekonzentration $10,67 \pm 0,15$ MJ ME/kg TM. Während sich die meisten Sorten hinsichtlich Verdaulichkeit und Energiekonzentration nicht signifikant unterschieden, hoben sich die Sorten Roberto und Ronalدينio durch höhere Werte und die Sorte PR39T45 durch niedrigere Werte vom Durchschnitt ab.

Tab. 3: Ruminale Abbaubarkeit der TM (a, b, c, PD, ED5) nach Ørskov-Modell (1980), Verdaulichkeit der OM (VQ_{OM}) und Energiekonzentration (ME) von Silomais-Ganzpflanzen in Abhängigkeit von der Sorte (bezogen auf TM)

	a	b	c	PD	ED5	VQ_{OM}	ME
	%	%	h ⁻¹	%	%	%	MJ
Sorte							
Nuestro	29,0	47,6 ^a	0,057	76,6 ^{ab}	54,1 ^{ab}	72,9 ^{ab}	10,69
NKFalkone	30,9	46,7 ^{ab}	0,051	77,6 ^a	54,4 ^{ab}	73,0 ^{ab}	10,78
Beatle	29,4	45,9 ^{ab}	0,055	75,3 ^b	53,1 ^{ab}	72,1 ^{ab}	10,59
Roberto	31,2	45,5 ^{ab}	0,053	76,7 ^{ab}	54,3 ^{ab}	74,2 ^a	10,84
PR39T45	32,3	42,3 ^{ab}	0,047	74,6 ^b	52,8 ^b	70,7 ^b	10,43
Ronalدينio	31,0	45,4 ^{ab}	0,052	76,4 ^{ab}	54,0 ^{ab}	73,5 ^a	10,84
DK315	35,3	40,8 ^b	0,051	76,2 ^{ab}	56,0 ^a	73,2 ^{ab}	10,72
PR39F58	31,7	44,3 ^{ab}	0,055	76,0 ^{ab}	54,8 ^{ab}	72,9 ^{ab}	10,70
Friedrixx	34,4	41,4 ^{ab}	0,051	75,8 ^{ab}	55,2 ^{ab}	72,1 ^{ab}	10,46
Statistische Parameter							
LS-Mean	32,0	44,4	0,054	76,4	55,1	72,7	10,67
RSD	3,8	3,9	0,008	1,2	1,9	1,0	0,17
P-Wert	0,034	0,014	0,368	0,004	0,030	0,022	0,058
R ² (%)	77,2	79,1	33,2	54,9	80,8	80,8	76,5

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Untersuchungen zu Ertrag und Futterwert von verschiedenen Silomaisorten bzw. Erntezeitpunkten wurden u. a. auch von Zscheischler et al. (1974), Groß (1980), Schwarz et al. (1996), Etle und Schwarz (2003) und Gruber und Hein (2006) durchgeführt. Dabei wurden in vielen Fällen zwischen den Sorten signifikante Unterschiede in der Verdaulichkeit ermittelt, die vor allem auf Unterschiede im Kolbenanteil und in der Qualität der Restpflanze zurückzuführen waren.

Als die entscheidenden Faktoren für die Auswahl einer Silomaisorte und des Erntezeitpunktes sind die Verdaulichkeit der Restpflanze, der Kolbenanteil und das Ertragspotenzial anzusehen. Bei der Wahl der Sorte und des Erntezeitpunktes ist allerdings zu beachten, dass zwischen diesen entscheidenden Einflussfaktoren auf Futterwert und Ertrag vielfältige und meist negative Wechselbeziehungen bestehen (Abb. 1). Wie die Ergebnisse des vorliegenden Versuches zeigen, ist eine hohe Abbaubarkeit der Nährstoffe in der Restpflanze mit einer geringeren Abbaubarkeit der Nährstoffe im Kolben verbunden (Ausnahme DK315 und Friedrixx). Weiters ist im Trend ein höherer Futterwert der Restpflanze von einem niedrigeren Kolbenanteil begleitet (Ausnahme NK Falkone). Dennoch wirkt sich tendenziell eine bessere Restpflanze insgesamt positiv auf den Futterwert der Gesamtpflanze aus, übertrifft also den negativen Effekt auf Anteil und Futterwert des Kolbens. Für die Abbaubarkeit der Gesamtpflanze ist der Kolbenanteil ebenfalls bedeutsam. Der Futterwert von Rest- und Gesamtpflanze korrelieren negativ mit dem Ertrag an Trockenmasse und abbaubarer bzw. verdaulicher Trockenmasse. Den Ertrag an abbaubarer bzw. verdaulicher Trockenmasse bestimmt der Ertrag an Trockenmasse in wesentlich bedeutsameren Ausmaß als die Abbaubarkeit bzw. Verdaulichkeit.

Somit ist in ökonomischer Hinsicht der Ertrag ein sehr entscheidendes Kriterium für die Auswahl einer bestimmten Sorte. Allerdings ist zur Erzielung einer bestimmten Milch- oder Mastleistung auch die Energiekonzentration und Verzehrbarkeit des Silomaises wichtig (Schwarz et al., 1996). Voraussetzung sowohl eines hohen Ertrages als auch eines hohen Futterwertes ist natürlich, dass die Sorte in pflanzenbaulicher Sicht für den beabsichtigten Standort hinsichtlich Temperatursumme, Standfestigkeit, Krankheits- und Schädlingsresistenz etc. geeignet ist.

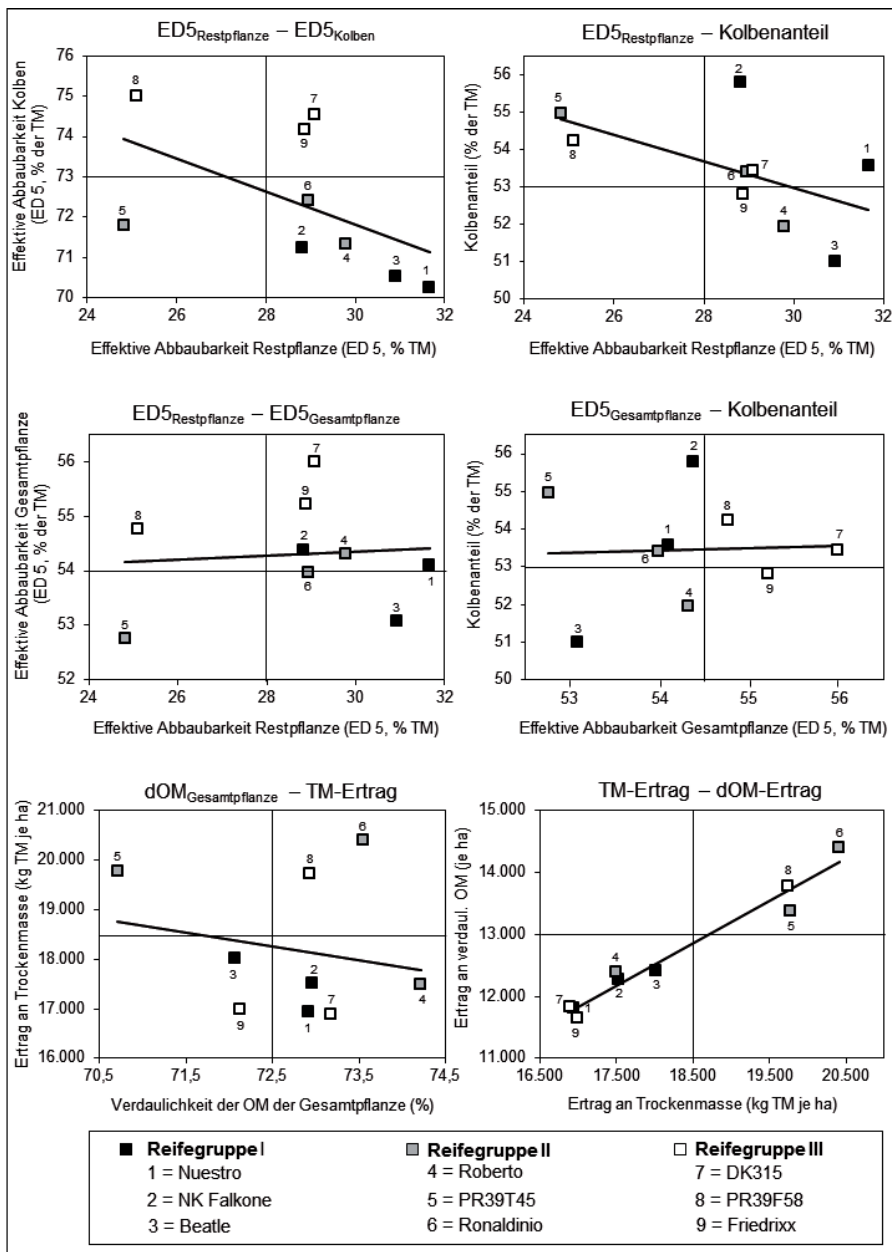


Abb. 1: Beziehungen zwischen ruminaler Abbaubarkeit der Restpflanze, des Kolbens und der Gesamtpflanze und dem Kolbenanteil sowie dem Ertrag von Silomais

Abschließend werden die im vorliegenden Projekt untersuchten Sorten hinsichtlich Futterwert der Rest- und Gesamtpflanze, Kolbenanteil und Ertragspotenzial gereiht (Tab. 3). Auch diese Aufstellung zeigt, dass Quantität und Qualität häufig in negativer Beziehung stehen.

Tab. 4: Bewertung der Maissorten hinsichtlich Abbaubarkeit der Restpflanze (ED5, %), Kolbenanteil (% der TM), Abbaubarkeit und Verdaulichkeit der Gesamtpflanze (ED5 und dOM, %) und Trockenmasse-Ertrag (kg TM/ha); 1-9 Punkte

	ED5 Restpfl.	Kolben- anteil	ED5 Gesamtpfl.	dOM Gesamtpfl.	TM- Ertrag
1 Nuestro	+++++++	+++++	+++	+++	++
2 NK Falkone	+++	+++++++	+++++	+++++	+++++
3 Beatle	+++++++	+	++	++	+++++
4 Roberto	+++++	++	+++++	+++++++	+++
5 PR39T45	+	+++++++	+	+	+++++++
6 Ronaldinio	+++++	+++	+++	+++++++	+++++++
7 DK315	+++++	+++++	+++++++	+++++	+
8 PR39F58	++	+++++	+++++	+++++	+++++
9 Friedrixx	+++	+++	+++++++	+++	+++

5. Literaturangaben

- Ettle, T., Schwarz, F.J., 2003: Effect of maize variety harvested at different maturity stages on feeding value and performance of dairy cows. *Anim. Res.* 52, 337-349.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.
- Groß, F., 1980: Content and in vivo digestibility (sheep) of nutrients in maize varieties harvested at different stages for silage. In: Pollmer, W.G., Phipps, R.H. (Hrsg.): *Improvement of quality traits of maize for grain and silage.* Martinus Nijhoff Publishers b.v., The Hague, Boston, London, 429-455.
- Gruber, L., Kopal, H., Lettner, F., Parrer, F., 1983: Einfluss des Erntezeitpunktes auf den Nährstoffgehalt und den Ertrag von Silomais. *Wirtschaftseig. Fut-
ter* 29, 87-109.

- Gruber, L., Hein, W., 2006: Ertrag und Futterqualität von Silomais in Abhängigkeit von Vegetationsstadium, Sorte und Standort. Kongressband 118. VDLUFA-Kongress, Freiburg im Breisgau, 19.-22.09.2006, 244-259.
- Ørskov, E., Hovell, F., Mould, F., 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5, 195-213.
- Parys, C., Matthé, A., Lebzién, P., Flachowsky, G., 2000: In sacco Abbaubarkeit von Mais-Restpflanzen im Pansen von Milchkühen. Kongressband 112. VDLUFA-Kongress, Stuttgart-Hohenheim, 18.-22.09.2000, 80-83.
- Schwarz, F.J., Pex., E.J., Kirchgeßner, M., 1996: Zum Sorteneinfluss von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. *Wirtschaftseig. Futter* 42, 161-172.
- Terler, G., Gruber, L., 2015: Nährstoffgehalt und ruminale Abbaubarkeit von Mais-Restpflanze und Mais-Kolben in Abhängigkeit von Sorte und Vegetationsstadium. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 71, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 663-670.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.P., Lewis, B.A., 1991: Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.
- Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), (1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, 2004, 2006, 2007, 2012): In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), BAND III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weißbach, F., Kuhla, S., 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übers. Tierern.* 23, 189-214.
- Zscheischler, J., Groß, F., Hepting, L., 1974: Einfluss von Schnittzeit, Sorte und Standweite auf Ertrag und Futterwert von Silomais. *Bayer. Landw. Jahrb.* 51, 611-636.

Anpassung der Beweidung auf Almen und Alpen auf Grund des fortschreitenden Klimawandels

S. Steinberger, H. Spiekers

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Poing-Grub

1. Einleitung

Die Beweidung von Bergflächen spielte in der landwirtschaftlichen Entwicklung über Jahrhunderte eine bedeutsame Rolle. Diese Flächen lieferten hochwertiges Weidefutter und entlasteten die Talflächen zur Werbung des Winterfutters. Die Beweidung der Flächen war seit je her von der aktuellen Situation seiner Zeit geprägt. So mussten in Zeiten der Übernutzung der Bergweiden Weideregeln erstellt werden um eine nachhaltige Nutzung zu sichern. Diese regelten u. a. den Auftriebszeitpunkt, die Weidezeiten sowie die aufgetriebenen Tierzahlen. Sofern sich an den äußeren Umständen nichts änderte, hatten diese Vorgaben bis in die Neuzeit ihre Berechtigung. Auch nach Abschaffung diverser Regeln hielten viele Almbauern aus bewährten Gründen an diesen fest. Während der Almzeit herrschten feste Regeln, wann welche Weideflächen abgegrast werden sollten. Die Alm wurde durch gezieltes Treiben und Hüten durch fachkundiges Personal über den Sommer hinweg gezielt abgeweidet.

Seit einigen Jahrzehnten kann auf vielen bayrischen Almen und Alpen jedoch beobachtet werden, dass keine geregelte Weideführung mehr stattfindet. Die Tiere bewegen sich während der gesamten Almzeit „frei“ auf der Fläche. Dadurch werden bis Mitte der Almzeit Gunstflächen ständig beweidet, ähnlich einer Kurzrasenweide. Die Randbereiche überaltern rasch und das nun überständige Futter wird gegen Ende der Almzeit nur widerwillig gefressen (Steinberger, 2012a).

Das Problem der mangelnden Weideführung wird durch die allgegenwärtige Klimaerwärmung noch weiter verschärft. Der Anstieg der Durchschnittstemperatur um knapp 1 °Celsius bewirkt ein intensiveres Pflanzenwachstum auf den Almen. Nach Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes für die „Weihenstephan Leitphasen“, hat sich der Vegetationsbeginn um etwa drei Wochen im Vergleich zu den 1970er Jahren nach vorne verschoben. Höhere Durchschnittstempera-

turen in Kombination mit einer längeren Vegetationsdauer führen zu einer deutlichen Erhöhung der gewachsenen Biomasse.

2. Zielsetzung

Sich ändernde Bedingungen erfordern eine Anpassung des Beweidungsregimes auf den Almen. Eine sachgerechte Weidenutzung minimiert die Gefahr der Verunkrautung der Weideflächen und sichert eine hohe Futterqualität. Ein gleichmäßiges Abweiden der Flächen verhindert ein Brachfallen und eine nachfolgende Wiederbewaldung. Diese Entwicklungen sind nur mittels aufwendiger technischer Maßnahmen umzukehren bzw. es folgt ein dauerhafter Verlust an Kulturlandschaft (Steinberger, 2012b).

Durch die zunehmende Flächenkonkurrenz in den Tallagen können Almweiden künftig eine wertvolle Futterressource darstellen. Für viehstarke Betriebe kann eine Auslagerung des Jungviehs in den Sommermonaten für eine Entspannung der Düngebilanz sorgen.

Zudem kann eine sachgerechte Beweidung der Almen vielfältige Wirkungen hinsichtlich Natur- und Umweltschutz sowie den Anforderungen bezüglich der Tourismusbranche erfüllen.

3. Material und Methoden

Die laufende Untersuchung erfolgt anhand von Praxisweiden. Aus Tabelle 1 sind die aktuell betreuten Almen und Weiden aufgelistet.

Tab. 1: Am Projekt beteiligte Almen/Hochweiden seit 2012

Bezeichnung	seit Jahr	Hektar ha
Haaralm	2012	50
Hemmersuppenalm	2013	80
Rossfeldalm	2013	25
Pölcheralm	2015	25
Steinbergalm	2015	20
Hochrhön	2015	30

Weiterhin besteht eine intensive internationale Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftskammer Innsbruck sowie der Landwirtschaftlichen Fachschule Winklhof in Salzburg.

Die auf den Weiden umgesetzten Maßnahmen beziehen sich auf einem dem Vegetationsbeginn angepassten Auftriebszeitpunkt, gemäß der Zunahme der gewachsenen Biomasse einer Erhöhung der aufgetriebenen Tierzahlen und einer gelenkten Weideführung mittels mobilen Elektrozaun.

Die Daten zum Auf- und Abtrieb sowie der Tierzahlen werden anhand der HI – Tier – Datenbank, durch eigene Aufzeichnungen bzw. durch historische Aufzeichnungen der Almbauern erfasst.

Die Weidenutzung erfolgt nach dem Prinzipien der Kurzrasenweide nach Steinberger et al. (2012). Da aufgrund der Flächenbeschaffenheit eine Mahd, welche den Futterüberschuss zu Beginn der Weidezeit abschöpft, nicht durchführbar und auch nicht gewollt ist, erfolgt eine Abwandlung des Systems der Kurzrasenweide in Form einer Koppelumtriebsweide mit drei bis vier Koppeln unter Nutzung von kurzem Aufwuchs. Da die Wachstumsintensität in den Höhenlagen deutlich geringer ausfällt als in Tallagen, erfolgen in der Regel, während einer gesamten Weidedauer von etwa 120 Tagen, drei bis vier Umtriebe. Die Beobachtungen zur Weideführung werden soweit möglich durch vegetationskundliche Untersuchungen unteretzt. Auf Basis der Tierzahlen und dem Alter der Tiere wurde der Futtermittelverzehr abgeschätzt.

4. Ergebnisse und Diskussion am Beispiel der Haaralm

Am Beispiel der Haaralm sollen die ersten Ergebnisse des Beweidungsprojektes dargestellt werden. Im Frühjahr 2012 wurde auf der Haaralm, LKR Traunstein/Obb. das Weideprojekt gestartet. Die Weideflächen liegen auf 1300 bis 1600 m NN. Von den 50 ha Lichtweide waren ca. 20 Hektar bereits verbracht. Unerwünschte Arten wie z. B. Borstgras, Rasenschmiele, Farn und Zwergsträucher waren dominant. Zunächst wurden Beobachtungsparzellen von 15 bzw. 8 ha angelegt. Diese dienten zur Beobachtung, inwieweit oben genannte Arten bei sehr junger Nutzung vom Weidevieh gefressen werden.

Es wurden vom Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz (IAB) insgesamt zweimal acht Dauerbeobachtungsparzellen ange-

legt. Bereits in den ersten drei Untersuchungsjahren wurden eine gute Futteraufnahme und ein ständiger Verbiss bisheriger Problempflanzen im jungen Zustand beobachtet. Dies führte zu einer Zurückdrängung dieser beispielhaft erwähnten Pflanzen (Mayer et al., 2015).

Der Almauftrieb erfolgt auf der Haaralm (wie auch der Abtrieb) nicht gemeinsam, sondern jeder Beschicker der Alm treibt seine Tiere selber auf. Abbildung 1 zeigt die mittleren Auftriebsdaten auf die Haaralm (1300-1600 m NN). Nach anfänglicher Skepsis der beteiligten Almbauern bezüglich des frühen Auftriebs 2012 – es wurden nur die Tiere für die Beobachtungsflächen um drei Wochen früher aufgetrieben – erfolgte in den Folgejahren auch der Auftrieb der restlichen Tiere immer zeitgerechter. Im Jahr 2014 konnte ein mittlerer Auftriebstermin 18.05, also vier Wochen früher, realisiert werden.

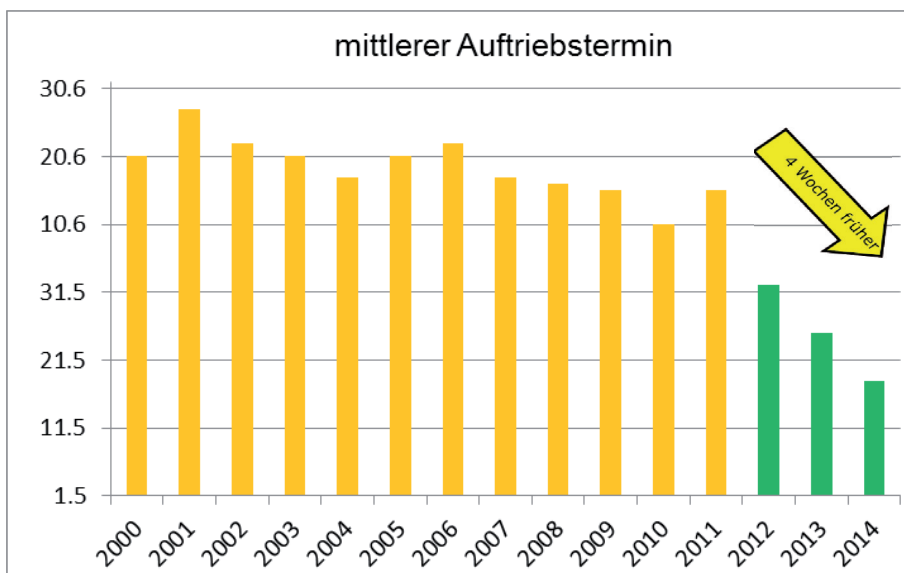


Abb. 1: Mittlerer Auftriebstermin auf die Haaralm, 2000-2014

Der mittlere Abtriebstermin blieb unverändert und erfolgte nach der jeweiligen Witterung um den 20. September. Während der drei Versuchsjahre wurde die Anzahl der aufgetriebenen Rinder dem Futterertrag angepasst (Abb. 2).

Von entscheidender Aussage bezüglich des umgesetzten Weidemanagements ist jedoch die genutzte Futtermenge je Hektar Weidefläche. Der GVE-Schlüssel der HI – Tier – Datenbank lässt nur einen unzureichenden Rückschluss auf

die gefressene Futtermenge zu. So werden Rinder von einem halben Jahr bis zu zwei Jahren mit 0,6 GVE bewertet, obwohl sich die Futtermenge der jeweiligen Altersklasse deutlich unterscheidet. Zur Kalkulation wurden für die aufgetriebenen Rinder Altersklassen gebildet und diesen eine spezifische Futtermenge in kg/Tag unterstellt (Tab. 2).

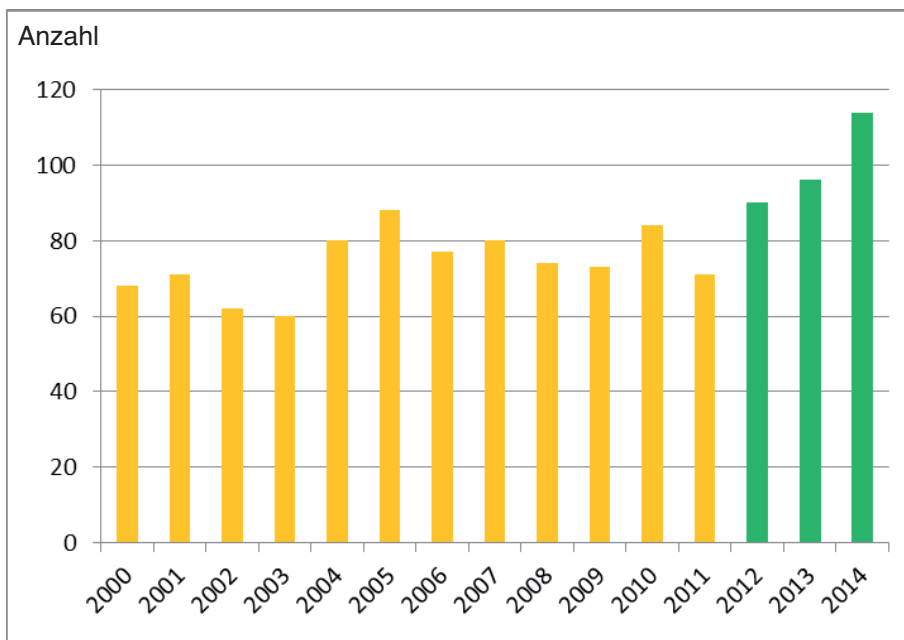


Abb. 2: Anzahl der aufgetriebenen Rinder auf die Haaralm, 2000-2014

Tab. 2: Unterstellte tägliche Futtermenge bei Jungrindern nach Altersklasse

kalkulierte Futtermenge	
Alter in Monate	TM Verzehr kg/Tag
6-12	5
12-18	7
18-24	10
24-30	13
>30	15

Diese Methode ermöglicht eine relativ genaue Abschätzung der gefressenen Futtertrockenmasse je Hektar Lichtweide. Bedingt durch zu späten Weidebe-

ginn mit zu wenig Rindern und einer un gelenkten Weideführung, wurden auf der Haaralm in den Jahren 2000-2011 etwa 16 dt/ha Trockenmasse (TM) genutzt (Abb. 3). Die Verlängerung der Weidetage von etwa drei Wochen sowie die Erhöhung der Anzahl der aufgetriebenen Rinder (von ca. 80 auf 120 Rinder) führte im dritten Projektjahr zu einem kalkulierten TM-Verzehr von über 30 dt/ha. Der genutzte Ertrag konnte so innerhalb von drei Jahren annähernd verdoppelt werden. Dieses Ergebnis ist um so bemerkenswerter, da keine zusätzliche Düngungsmaßnahme oder ein chemischer Pflanzenschutz zu dieser Steigerung geführt hat. Der Aufwuchs war über die Jahre hinweg bereits vorhanden, wurde aber nicht entsprechend genutzt und führte zur Degradation der Bestände. Bereits die Anpassung der Weidegewohnheiten an sich ändernde Bedingungen führten zu diesem positiven Ergebnis (Steinberger et al., 2015).

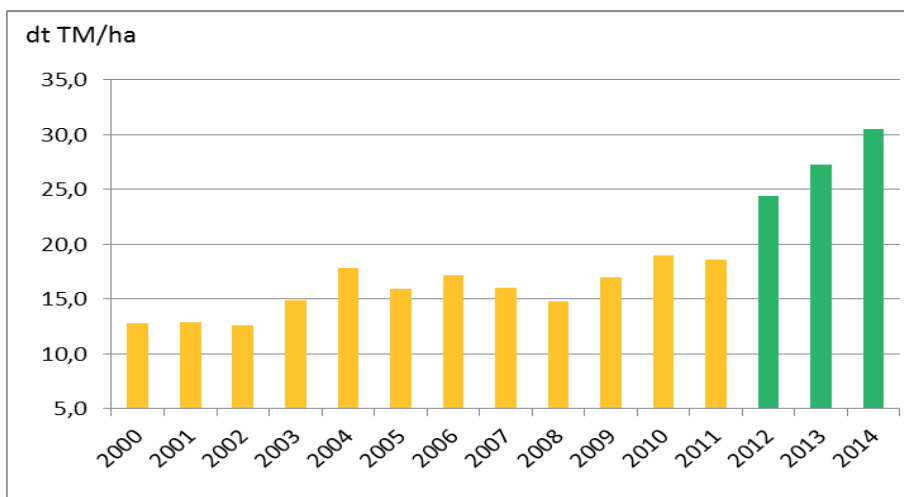


Abb. 3: Kalkulierte genutzte TM (dt/ha/Jahr) auf der Haaralm, 2000-2014

Untersuchungen von Blaschka (2014) und Jaritz et al. (2013) zeigen ebenfalls positive Einflüsse einer gezielte Beweidung zur Erhaltung von Almflächen als Kulturlandschaft. Ein Zusammenführen der Informationen im Rahmen der „alpinen“ Netzwerke zur Weide ist daher geboten.

5. Fazit

Der Klimawandel führt zu einer deutlichen Vegetationsverlängerung auch auf den Almen und Alpen (vor allem im Frühjahr setzt diese früher ein). Die allge-

meine Erwärmung führt zu einem intensiveren Graswachstum in den Höhenlagen. Beide Faktoren führen zu einer deutlichen Zunahme der gewachsenen Biomasse. Diese Entwicklungen erfordern eine Anpassung des Weidebeginns an den Vegetationsbeginn sowie eine Erhöhung der aufgetriebenen Tierzahlen. Damit die Weideflächen gleichmäßig abgefressen werden, hat sich eine Lenkung der Weidetiere mittels mobilen Elektrozaun (Koppelumtriebsystem) bewährt. Die beschriebenen Maßnahmen ermöglichen eine deutliche Steigerung der genutzten Trockenmasseerträge je Hektar, womit ein enormes Ertragspotential erschlossen werden könnte (40 000 ha Lichtweide). Eine, den natürlichen Gegebenheiten angepasste Intensivierung der Almweiden könnte flächenknappe Talbetriebe entlasten. Letztendlich stellt eine Anpassung der Beweidung an die Erfordernisse der sich aufgrund des Klimawandels ergebenden Veränderungen einen aktiven Umweltschutz dar und erhält die Almen und Alpen als Kulturgut.

6. Literaturangaben

- Blaschka, A., 2014: Mit Zähnen und Klauen: Erhalt und Wiederherstellung von Ökosystemleistungen einer alpinen Kulturlandschaft. Dissertationsschrift, Universität Salzburg, 268 S.
- Jaritz G., Burkart-Aicher, B., 2013: Almen aktivieren – neue Wege für die Vielfalt. Projektergebnisse und Empfehlungen. Salzburg, Laufen, 67 S.
- Mayer, F., Kuhn, G., 2015: Vegetationsentwicklung auf der Haaralm. Der Almbauer 6, 10-13.
- Steinberger, S., Rauch, P., Spiekers, H., Hofmann, G., Dorfner, G., 2012: Vollweide mit Winterkalbung, Ergebnisse von Pilotbetrieben. LfL Schriftenreihe 2012/5.
- Steinberger, S., 2012a: Klimawandel auf den Almen; Teil 1: Verungrasung und Verunkrautung nehmen zu. Der Almbauer 7, 5-7.
- Steinberger, S., 2012b: Klimawandel auf den Almen; Teil 2: Reaktionen zur Almbewirtschaftung. Der Almbauer 8/9, 12-14.
- Steinberger, S., Böddecker, L., 2015: Weidewirtschaft und Klimawandel; Das Almweideprojekt der Landesanstalt für Landwirtschaft. Der Almbauer 2, 5-8.

Optimierung der Weide- und Tierleistung von Jungrindern im System Kurzrasenweide 2012-2014

S. Eisenhardt¹, M. Pries², C. Berendonk³, A. Verhoeven³, S. Hoppe³

¹Fachhochschule Eberswalde, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, ³Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve

1. Einleitung

Für Milchkühe ist die Kurzrasenweide mit mittleren Wuchshöhen von 5 bis 7 cm während der gesamten Weideperiode ein bewährtes Weidesystem, um hohe tierische Leistungen auf der Futterfläche zu erzielen. Es stellt sich die Frage, ob diese Weidenutzung auch mit Jungrindern erfolgreich praktiziert werden kann, welche Zuwachsleistungen bei den Tieren und welche Flächenleistungen (Weide- und Schnittleistungen) realisierbar sind.

Darüber hinaus schreibt die EU-ÖKO-VO einen möglichst frühzeitigen Weidegang der Kälber und Jungrinder direkt nach der Aufzuchtperiode ab 4. Lebensmonat vor. Bedenken bestehen von Tierärzten und Praktikern im Hinblick auf eine mögliche Endoparasitenbelastung mit einhergehenden Leistungsdepressionen bei noch jungen, immunschwachen Kälbern und Jungrindern auf der Weide.

2. Material und Methoden

In der ökologischen Lehrwerkstatt des Versuchs- und Bildungszentrums Haus Riswick wurden von 2012 bis 2014 Beweidungsversuche mit jeweils 10 bis 12 Jungrindern der Rasse Deutsche Holstein im Alter von 6 bis 12 Monaten durchgeführt. In allen drei Jahren stand eine stallnahe Dauergrünlandfläche von 4,33 ha für die Beweidung zur Verfügung. Die gesamte Fläche ist mit einem stationären Zaun begrenzt, zur Unterteilung der Fläche nach Weide- und Schnittbereich wurde ein mobiler Elektrozaun verwendet.

Tabelle 1 zeigt die Ausgangssituation der Tiergruppen in den einzelnen Jahren. Das Alter der Versuchstiere lag bei Weideauftrieb im Mittel zwischen 258 und

321 Tagen mit einem durchschnittlichen Gewicht zwischen 272 und 323 kg. In allen Jahren lagen die täglichen Zunahmen bis zum Austrieb deutlich über 800 g.

Tab. 1: Ausgangssituation der Jungrinder

Jahr	Anzahl	Alter		Gewicht		Tageszunahmen, g ¹⁾
		Tage	SD	kg	SD	
2012	8 (12)	258	37	272	39	890
2013	10	279	48	278	50	844
2014	12 ²⁾	321	57	323	52	880

¹⁾ Bis zum Weideauftrieb bei einem angenommenen Geburtsgewicht von 42 kg;

²⁾ 6 Jungrinder konventioneller Herkunft

Die Zuteilung der Weidefläche erfolgte nach Vorgaben des Riswicker Weideplaners, einer Planungshilfe zum Weidemanagement einer Kurzrasenweide in Nordrhein-Westfalen. Im weiteren Verlauf der Weideperiode wurden bei der Flächenzuteilung zusätzlich die Wuchshöhe und Witterung berücksichtigt. Die exakte Weidefläche wurde zu Beginn und nach jeder Flächenanpassung mit Hilfe eines kompakten Feldrechners (Trimble) mit GPS-Empfänger ermittelt.

Die Jungrinder wurden in allen Versuchsjahren homöopathisch gegen Endoparasiten behandelt. Für die Behandlung wurde das Einzelmittel Abrotanum ausgewählt. Dieses Mittel wurde den Tieren in Form einer fünftägigen Kur über die Tränke verabreicht.

Die Wuchshöhe auf der Weidefläche wurde während der Weideperiode mindestens einmal wöchentlich mit dem Herbometer (F200 Electronic Rising Plate Meter) des neuseeländischen Herstellers Farmworks Precision Farming Systems Ltd. gemessen. Es wurden mittlere Wuchshöhen zwischen 5 und 7 cm angestrebt und eingehalten. Die Ertragsermittlung erfolgte mit Hilfe von Weidekörben. Der Aufwuchs unter den Weidekörben wurde jährlich an sechs Terminen geerntet.

Bei der Schnittnutzung wurde die abgefahrene Frischmasse auf der betriebseigenen Fuhrwerkswaage gewogen. Unter Verwendung der Angaben der Größe der Schnittfläche, der abgefahrenen Frischmasse und des Trockensubstanzgehaltes wurde die geerntete Trockenmasse in dt je Hektar ermittelt. Der Energieertrag in MJ ME wurde für jede Schnittnutzung über den Energiegehalt der Silagen und den Trockenmasseertrag berechnet.

Zur Erfassung der Tiergewichte während der Weideperiode war auf der Weide eine stationäre, elektronische Waage aufgebaut. Zur Zuordnung der Einzeltiergewichte war jedes Tier mit einem individuellen Transponder ausgestattet. Der Wiegekäfig war mit einer Mineralstoff-Leckmasse ausgestattet, um die Tiere auf die Waage zu locken. Die Leckmasse wurde von den Tieren unterschiedlich gut angenommen, weshalb die Anzahl der Wiegeungen von Tier zu Tier variierte. Alle Wiegedaten wurden je Kalenderwoche gemittelt.

Aus dem Zuwachs der Tiere wurde die Energieaufnahme auf Basis der Empfehlungen zur Energieversorgung für Aufzuchtinder der GfE (2001) berechnet, wobei wegen der erhöhten Bewegungsaktivität ein Zuschlag zum Erhaltungsbedarf in Höhe von 15 % erfolgte. Aus der Energieaufnahme wurde nachfolgend die Weideleistung ermittelt. Die Berechnung der Flächenleistung erfolgte in MJ ME je ha und Jahr und berücksichtigt die Energie aus der Weideleistung und der Schnittnutzung.

Es wurden während der Versuchszeiträume zur Untersuchung des Endoparasitenbefalls Kotproben genommen und analysiert. Alle Proben wurden auf Magen-Darm-Wurm-Eier, Kokzidien-Oozyten und parasitäre Gebilde untersucht.

3. Ergebnisse

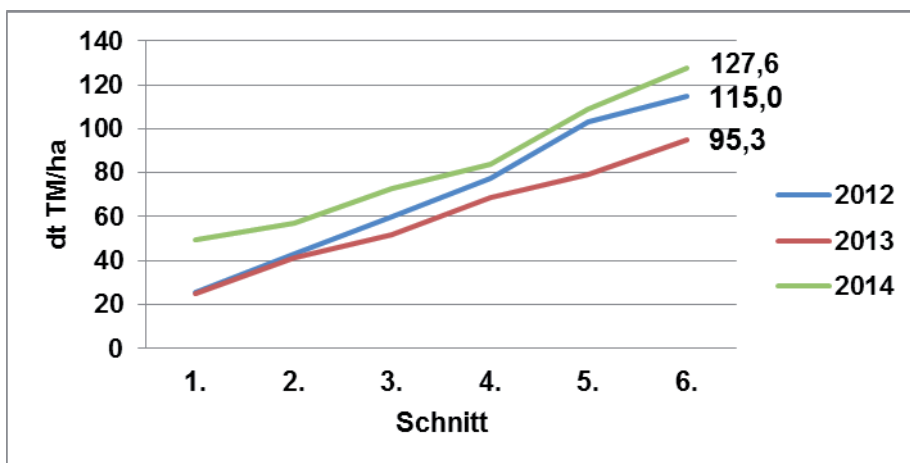


Abb. 1: Trockenmasseertrag unter den Weidekörben

Die Trockenmasseerträge unter den Weidekörben lagen in den drei Versuchsjahren zwischen 95,3 und 127,6 dt Trockenmasse je Hektar (Abb. 1). Der TM-Ertrag im Versuchsjahr 2013 mit 95,3 dt Trockenmasse je Hektar fiel infolge des auffällig späten Vegetationsbeginns vergleichsweise gering aus.

Bei den erfolgten Schnittnutzungen auf der Versuchsfläche konnten je Schnitt Trockenmasseerträge von 15,8 bis 36 dt Trockenmasse je Hektar erzielt werden. Neben den ersten beiden Schnitten erfolgte 2014 ein dritter Schnitt mit 19,8 dt Trockenmasse je Hektar, weshalb auch der Gesamtertrag für 2014 deutlich höher ausfiel.

In der Abbildung 2 ist beispielhaft die Entwicklung der einzelnen Tiergewichte während der Weideperiode 2014 dargestellt. Die Streuung innerhalb der Gruppe wird sichtbar, ebenso deutlich zeigen sich schwankende Zunahmen je nach Kalenderwoche.

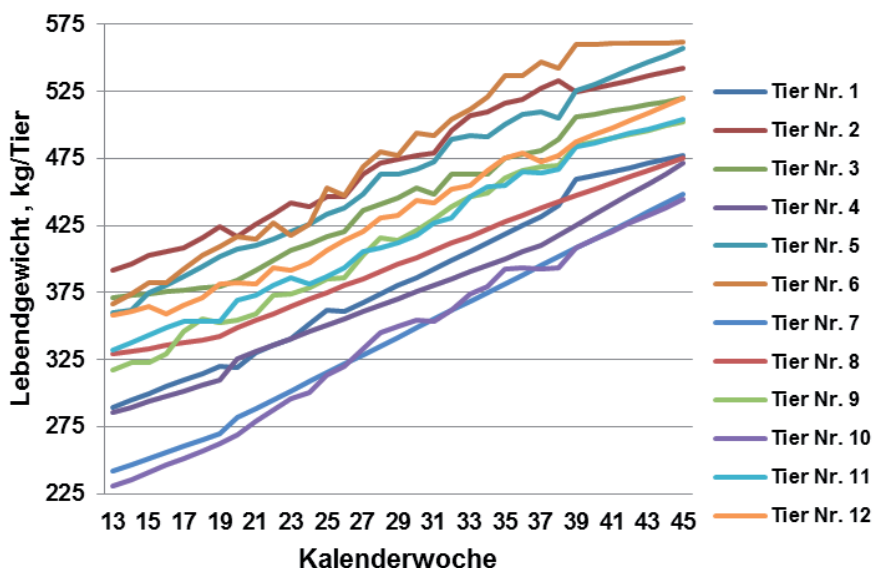


Abb. 2: Entwicklung der Tiergewichte 2014

In der Abbildung 3 sind die mittleren Tageszunahmen der jeweiligen Jungrindergruppe in allen drei Jahren je Weidemonat dargestellt. Die Tageszunahmen der Jungrinder unterlagen in jedem Jahr starken Schwankungen. Besonders signifikant ist hierbei der sprunghafte Anstieg der Tageszunahmen 2012 vom April

zum Mai. In jedem Versuchsjahr wurden zum Ende der Weideperiode hin abfallende Tageszunahmen gemessen, wobei die Tageszunahmen 2013 ab Oktober besonders gering ausfielen.

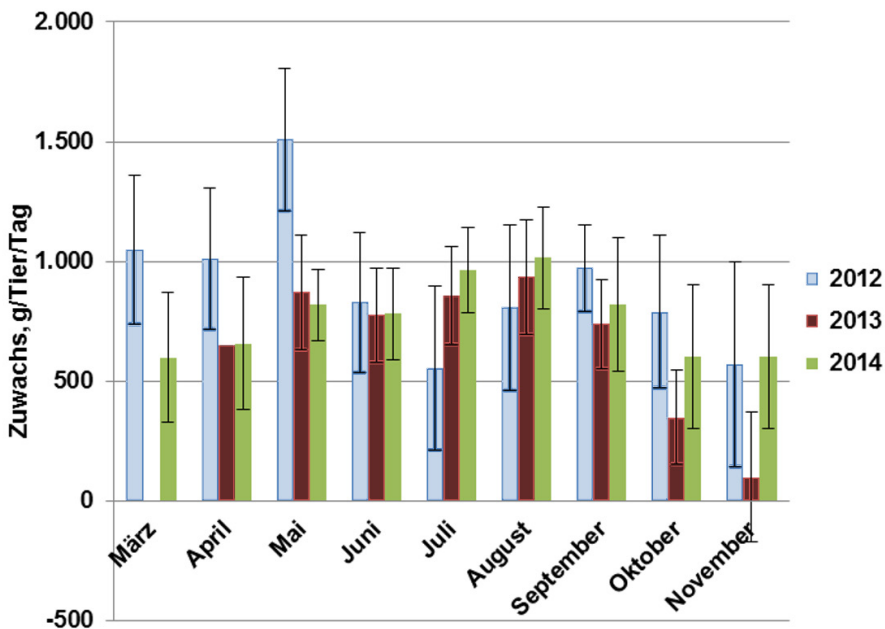


Abb. 3: Mittlere Tageszunahmen 2012-14

Im Durchschnitt der drei Versuchsjahre sind Zuwachsleistungen von deutlich über 800 g bei ausschließlicher Weidefütterung von Jungrindern erzielt worden. Tabelle 2 zeigt, dass im zentralen Weidezeitraum von der 17. bis 41. KW im Mittel nahezu 900 g TZ realisiert werden konnten. Auffällig zeigt sich der Herbst 2013 mit nasskalter Witterung und deutlich sinkenden Zuwachsleistungen bei den Tieren, so dass auf die gesamte Weideperiode 2013 bezogen nur 720 g TZ im Schnitt erreicht werden konnten.

Tab.2 Mittlere Tageszunahmen, g/Tier/Tag

Versuchsjahr	2012	2013	2014	MW
Kalenderwoche 17 bis 41	965	831	848	881
Gesamte Weideperiode	921	720	799	813

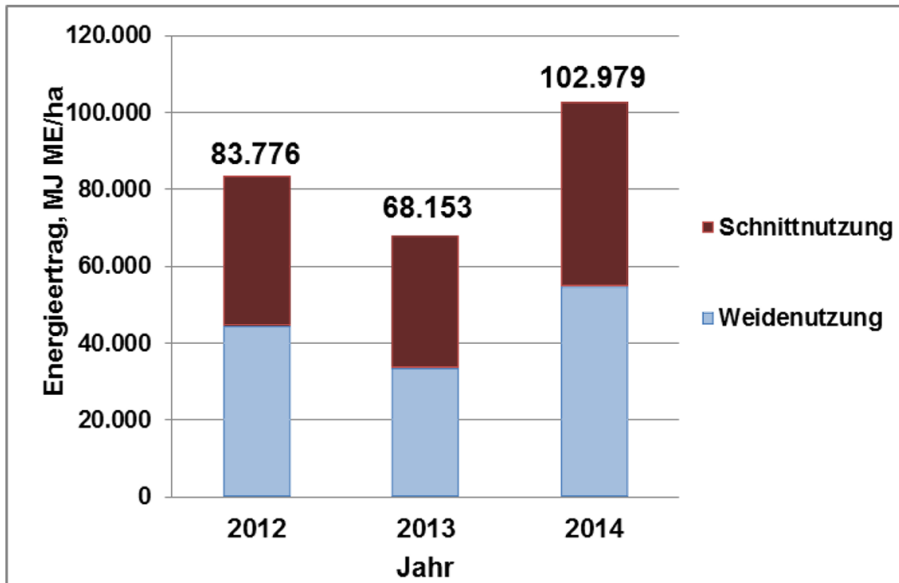


Abb. 4: Energieertrag aus Weide- und Schnittnutzung

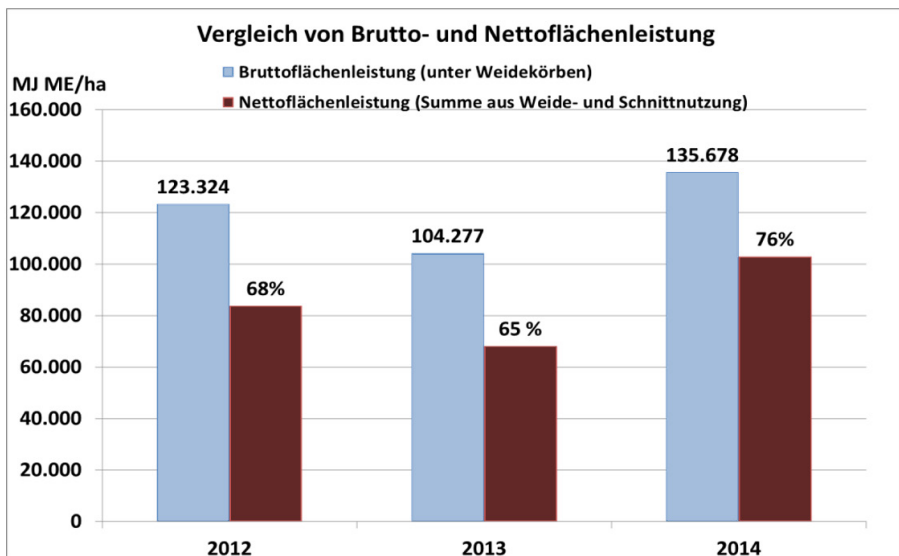


Abb. 5: Vergleich von Brutto- und Nettoflächenleistung

Die Flächenleistung aus anteiliger Schnitt- und Weidenutzung variierte zwischen 68 153 MJ ME und 102 979 MJ ME je Hektar (Abb. 4). 2012 und 2014 über-

wog der durch Weidenutzung gewonnene Energieanteil mit 53,1 % den Anteil der Schnittnutzung. 2013 wurde mit 49,5 % etwas weniger als die Hälfte der Energie durch Weidenutzung gewonnen.

Ein Vergleich der Brutto- und Nettoflächenleistung zeigt, dass zwischen 65 und 76 % des Bruttoweidefutterangebotes über Weide- und Schnittnutzung ausgeschöpft wurden (Abb. 5). Die Verluste können folglich mit Werten zwischen 24 und 36 % beziffert werden.

Die Analyse der Mischkotproben ergab 2012 einen mittelgradigen Befall mit Magen-Darm-Wurm-Eiern, 2013 sogar einen hochgradigen Befall. Im Versuchsjahr 2014 wurde kein hochgradig befallenes Tier mehr erfasst.

4. Diskussion

Die Schwankungen der mittleren Tageszunahmen können mit den Witterungsverhältnissen und den daraus resultierenden Trockenmassezuwachsraten sowie teilweise mit der Weideführung erklärt werden. Als Beispiel können hierfür die Tageszunahmen im November 2013 genannt werden (s. Abb. 3). Diese fielen aufgrund von nasskalter Witterung mit 102 g besonders niedrig aus. Insgesamt können die Tageszunahmen von 813 g als Mittelwert der jeweilig gesamten Weideperiode aller drei Versuchsjahre als vergleichsweise hoch eingeordnet werden. Angesichts eines geringen Aufwandes erscheint die Jungrinderaufzucht auf einer Kurzrasenweide kostengünstig. Die schwankenden Flächenleistungen der einzelnen Versuchsjahre ist natürlich grundsätzlich abhängig von den Witterungsbedingungen der jeweiligen Jahre. Es stellt sich dennoch die Frage, ob und wie sich eine knappere Weideflächenzuteilung und damit geringere Wuchshöhen auf Einzeltierleistungen und Flächenleistung auswirken würden mit dem klaren Ziel der Verlustreduktion.

Die Ergebnisse der tierindividuellen Kotanalysen im Weidejahr 2014 zeigen die Wirkung der monatlichen homöopathischen Abrotanum-Kuren, so dass eine chemisch-synthetische Behandlung mit Anthelmintika nicht erforderlich war.

5. Schlussfolgerungen

Folgende Schlussfolgerungen lassen sich ableiten:

- Im Mittel der Jahre sind sehr hohe mittlere Tageszunahmen von 881 g je Tier auf der Kurzrasenweide möglich bei einer Spannweite von 831 g im Jahr 2013 und 965 g im Jahr 2012. Der Zuwachs der Tiere ist stark witterungsabhängig. Hitzeperioden im Sommer und nasskühle Herbstwitterung bremsen den Zuwachs.
- Die Spannweite im Bruttoertrag (unter Weidekörben) von 95,3 dt/ha im Jahr 2013 bis 127,6 dt/ha im Jahr 2014 begründet auch eine analoge Abstufung in der Nettoflächenleistung von 68 153 MJ ME/ha im Jahr 2013 bis 102 979 MJ ME/ha im Jahr 2014.
- Die geringere Ausschöpfung der Bruttoflächenleistung von 68 % im Jahr 2012 und 65 % im Jahr 2013 resultiert aus vermindertem Zuwachs der Tiere im Sommer 2012 und im Herbst 2013.
- Jungrinderaufzucht ist auf der Kurzrasenweide auch mit jungen Tieren (<1 Jahr) sehr gut möglich.

6. Literaturangaben

GfE, 2001: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder 2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.

Untersuchungen zu Silierbarkeit und Futterwert von Sojabohnen-Ganzpflanzensilage

J. Ostertag¹, T. Etle¹, M. Schuster², H. Spiekers¹

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub, ²Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Grub

1. Zielstellung

Mit der vorliegenden Untersuchung sollten zur Verbesserung der derzeit lückenhaften Datenlage (Mustafa und Seguin, 2003) Erkenntnisse über die Silierbarkeit der gehäckselten Sojabohnen-Ganzpflanze zu unterschiedlichen Ernteterminen, die Wirksamkeit von Siliermitteln und den Futterwert der erzeugten Silagen gewonnen werden. Die Ergebnisse sollen zur Entscheidungsfindung hinsichtlich der Nutzungsform von Sojabohnenbeständen beitragen.

2. Material und Methoden

Als Ausgangsmaterial wurden Sojabohnenpflanzen der Versuchsstation Grub herangezogen. Das Material stammte aus den Jahren 2013 und 2014. Die Versuchsstation besaß zu diesem Zeitpunkt bereits mehrjährige Erfahrung mit dem Anbau der Sojabohne.

Die Versuchsfläche wurde im Jahr 2013 zu 3 Terminen (24.08., 11.09., 13.10.) mit der Sense gemäht und das Erntegut möglichst schmutzarm geborgen. Ein Anwelken war nicht vorgesehen um eine Direkternte bestmöglich widerspiegeln zu können. In Tabelle 1 sind charakteristische Kennwerte für den Pflanzenbestand und das geerntete Material aufgeführt. Wichtige Parameter zur Einschätzung der Silierbarkeit sind in Tabelle 2 dargestellt. Die Vergärbarkeit des Ausgangsmaterials war besonders beim ersten Erntetermin als ungünstig zu bewerten.

Das mit einem Versuchshäcksler (Landtechnik Weihenstephan) zerkleinerte Erntegut wurde in drei Partien aufgeteilt, wovon eine als unbehandelte Kontrolle diente. Die beiden anderen wurden mit einem biologischen (homofermentativ, DLG-Gütezeichen in Wirkungsrichtung (WR) 1b) bzw. einem chemischen Silier-

mittel (DLG-Gütezeichen in WR 1a) nach Herstellerangaben beaufschlagt. Die Silierversuche wurden nach den Vorgaben der aktuellen DLG-Prüfrichtlinien durchgeführt (DLG, 2015). Die Lagerung der Laborsilos erfolgte über den gesamten Versuchszeitraum lichtgeschützt in Konstanttemperaturräumen bei 25 °C (+/-1 °C).

Die erzeugten Versuchssilagen wurden im LfL-Labor, Grub unter Verwendung von VDLUFA-Methoden (VDLUFA, 1976) auf den Gehalt der Rohnährstoffe Rohasche (XA; Methode 8.1), Rohprotein (XP; 4.1.2), Rohfett (XL; 5.1.1) und Rohfaser (XF; 6.1.1) untersucht. Die Gärparameter pH-Wert, Gärsäuregehalte und Ammoniak-N-Anteil am Gesamt-N wurden mit validierten Hausmethoden bestimmt.

Tab. 1: BBCH-Code¹ und Rohnährstoffgehalte des Ausgangsmaterials zu den Ernteterminen

Erntetermin	BBCH-Stadium	TM g/kg	XA	XP	XL g/kg TM	XF	NfE ²
24.08.13	81	326	101	123	30	231	515
11.09.13	94	407	100	139	52	254	455
13.10.13	99	582	84	113	36	330	438
21.08.14	84	262	78	216	70	233	403
21.08.14 ³	84	362	85	183	67	227	438

¹Biologische Bundesanstalt, **B**undessortenamt und **C**hemische Industrie-Code, ²NfE = N-freie Extraktstoffe, ³angewelktes Erntegut

Tab. 2: Kenngrößen der Silierbarkeit des Ausgangsmaterials zu den Ernteterminen

Erntetermin	TM g/kg	WLK ¹ g/kg TM	PK ²	NO ₃ mg/kg TM	VK ³	MSB ⁴ KBE _{log} /g
24.08.13	326	69	94	55	38	<2,3
11.09.13	407	46	89	55	45	6,0
13.10.13	582	33	61	54	62	6,2
21.08.14	262	110	99	52	35	<5,3
21.08.14 ⁵	362	114	97	52	46	<5,3

¹WLK = Wasserlösliche Kohlenhydrate (Anthon), ²Verbrauch an Milchsäure bis zum Erreichen vom pH-Wert 4 in g/kg TM, ³Errechnet nach der Formel $VK = TM (\%) + 8 * WLK/Pufferkapazität$, ⁴MSB = Milchsäurebakterien, ⁵angewelktes Erntegut

Darüber hinaus wurde im LKV-Labor, Lichtenwalde am getrockneten Material (Mischprobe aus drei Laborsilagen) eine chemische Fraktionierung des Rohproteins (verändert nach Licitra et al., 1996) vorgenommen.

Im Jahr 2014 wurde die Versuchsfläche am 21.08. mit einem Versuchshäcksler im Direktschnittverfahren beerntet. Eine Teilfläche wurde mit der Sense gemäht und das gewonnene Material auf einer Silofolie angewelkt. Die Vergärbarkeit des Ausgangsmaterials war insgesamt als ungünstig zu bewerten (Tab. 2). Die Applikation der Siliermittel, Befüllung und Lagerung der Laborsilos erfolgte analog zum Vorjahr.

Zusätzlich wurden direkt gehäckselte Sojabohnen-Ganzpflanzen in 300 l Mischefässer einsiliert (Varianten Kontrolle, MSB_{homo}, chemisches Siliermittel). Je Variante wurden 3 Fässer gefüllt. Die Lagerung der Fässer erfolgte in einer geschlossenen, nicht beheizbaren Halle. Mit den erzeugten Silagen wurde nach 6 Wochen Silierdauer ein Verdauungsversuch an je 5 Hammeln nach Vorgaben der GfE (1991) durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Trockenmassegehalte stiegen über die Erntetermine hinweg deutlich an. Die Rohnährstoffgehalte erwiesen sich dabei als vergleichsweise uneinheitlich (Tab. 3). Bei allen Kenngrößen waren markante Unterschiede zu erkennen.

Tab.3: Rohnährstoffgehalte der erzeugten Versuchssilagen (n=3, \bar{x} (s))

Erntetermin, Datum	TM g/kg	XA	XP g/kg TM	XF	XL
1, 24.08.13	291 (13)	102 (6)	177 (9)	211 (12)	67 (11)
2, 11.09.13	405 (21)	106 (10)	193 (13)	237 (20)	72 (7)
3, 13.10.13	592 (19)	78 (3)	201 (20)	322 (78)	65 (8)
1, 21.08.14	246 (12)	85 (4)	227 (7)	242 (10)	90 (15)
1, 21.08.14 ¹	338 (1)	95 (3)	166 (14)	294 (12)	61 (14)

¹angewelktes Erntegut

Eine mögliche Ursache könnte in der Probennahme zu finden sein, da es sich bei Sojabohnen-Ganzpflanzen um ein sehr heterogenes Pflanzenmaterial handelt, welches zudem zur Entmischung neigt.

Die Analyse der Gärparameter zeigte eine, aufgrund der unterschiedlichen Vergärbarkeitskoeffizienten erwartete, große Streuung hinsichtlich des erreichten Gärerfolgs auf (Tab. 4). Auffallend sind die enorm hohen Gehalte an Buttersäure bei gleichzeitig geringen Anteilen von Ammoniak-N am Gesamtstickstoff im ersten Versuchsjahr.

Tab. 4: Vergleichende Zusammenfassung der Gärparameter der erzeugten Versuchssilagen (n=3, \bar{x} (s))

Erntetermin/ Variante	pH-Wert	Milch- säure	Butter- säure	Anteil NH ₃ -N/N _t	DLG- Punkte
2013		g/kg TM		%	
1/Kontrolle	5,5 (0,0)	8 (1)	56 (3)	10,3 (0,2)	0 (0)
1/MSB	5,5 (0,1)	30 (4)	34 (7)	6,8 (0,5)	12 (5)
1/Chem.	4,6 (0,0)	74 (4)	02 (0)	6,4 (0,4)	95 (0)
2/Kontrolle	5,6 (0,0)	6 (1)	37 (2)	5,4 (0,0)	9 (0)
2/MSB	4,8 (0,0)	41 (2)	8 (0)	4,0 (0,8)	66 (3)
2/Chem.	4,6 (0,0)	50 (2)	0 (0)	4,1 (0,1)	95 (0)
3/Kontrolle	5,3 (0,1)	19 (1)	5 (3)	4,1 (0,6)	72 (8)
3/MSB	4,7 (0,1)	38 (2)	1 (1)	3,0 (0,1)	100 (0)
3/Chem.	4,9 (0,0)	31 (4)	0 (1)	4,9 (0,4)	100 (0)
2014					
1/Kontrolle	6,4 (0,1)	0 (0)	49 (3)	14,3 (2,5)	1 (2)
1/Angewelkt	5,6 (0,0)	15 (2)	43 (1)	7,3 (0,6)	10 (1)
1/MSB	6,2 (0,2)	0 (0)	53 (6)	12,0 (3,6)	1 (1)
1/Chem.	4,5 (0,0)	89 (31)	0 (0)	7,3 (2,3)	89 (1)

MSB = Zusatz Milchsäurebakterien (homofermentativ); Chem. = chemisches Siliermittel, NH₃/N_t= Ammoniak-N-Anteil am Gesamtstickstoff

Im zweiten Versuchsjahr korrelierten hohe Buttersäuregehalte wesentlich besser mit hohen Ammoniak-Stickstoff-Anteilen am Gesamtstickstoff. Diese

Beobachtung gilt im zweiten Jahr nicht für die angewelkte Variante. Hier waren geringere Werte zu verzeichnen. Die Beobachtungen unterstützen die These, dass ein hoher Wassergehalt bzw. a_w -Wert im Siliergut für das Ausmaß der Desmolysse von großer Bedeutung ist (McDonald et al., 1991). Die von den Versuchssilagen erreichten DLG-Punkte decken die gesamte Spanne von 0 bis 100 Punkten ab, wobei der Zusatz des chemischen Siliermittels mindestens die Note „gut“ ermöglichte. Durch die Applikation homofermentativer Milchsäurebakterien konnte der Siliererfolg zwar leicht verbessert aber nicht abgesichert werden. Die Ergebnisse der chemischen XP-Fraktionierung sind in Tabelle 5 dargestellt. Aus den Daten wird ersichtlich, dass die Veränderung der Fraktionen zunächst vom Erntetermin und erst an zweiter Stelle vom Siliererfolg abhing.

Tab. 5: Ausgewählte Gärparameter und Veränderung der Rohproteinfraktionen durch Silierung, dargestellt als Differenz zum Ausgangsmaterial (positiver/negativer Wert = Zunahme/Abnahme)

Erntetermin/ Variante	pH- Wert	A	B1	B2	B3	C	UDP5
% des XP							
1/Kontrolle	5,5	23	0	-13	-9	-1	-14
1/MSB	5,5	26	-3	-13	-9	-2	-14
1/Chem.	4,6	29	-2	-17	-9	-2	-16
2/Kontrolle	5,6	13	2	-10	-3	-2	-11
2/MSB	4,8	19	6	-18	-4	-2	-17
2/Chem.	4,6	20	4	-17	-4	-2	-16
3/Kontrolle	5,3	8	3	-1	-5	-5	-22
3/MSB	4,7	2	7	2	-3	-7	-24
3/Chem.	4,9	13	-1	-5	0	-7	-24

MSB = Zusatz Milchsäurebakterien (homofermentativ); Chem. = chemisches Siliermittel; Mittelwerte bzw. Mischproben aus $n = 3$, chemische Fraktionierung: A (N leicht löslich) - C (N unlöslich), UDP5 = ruminal unabbaubares XP bei einer Passerate von $5\% \cdot h^{-1}$

Ob die fortschreitende Abreife und damit Trocknung der Bohnen für diesen Befund ursächlich ist, kann auf Basis der vorliegenden Daten jedoch nicht abschließend beurteilt werden. Insgesamt bleibt festzustellen, dass es durch die Silierung zu einer starken Verschiebung der XP-Fraktionen von den langsa-

mer löslichen hin zu den leicht löslichen Fraktionen kommt. Dadurch nimmt auch der Gehalt an im Pansen nicht abbaubarem Rohprotein bei einer stündlichen Passage von 5 % (UDP5) stark ab und erreicht lediglich noch ein Niveau von 15-20 %.

Neben den Versuchssilagen wurden auch Silagen für Verdauungsversuche mit Hammeln hergestellt. Diese lagerten im Gegensatz zu ersteren in einer nicht beheizbaren Halle über einen Zeitraum von nur 6 Wochen. Beide Faktoren, niedrigere Lagertemperaturen und kurze Lagerdauer könnten dazu geführt haben, dass diese Silagen buttersäurefrei und von sehr guter Qualität waren (Tab. 6, Tab. 7). Die Akzeptanz der Silagen im Verdauungsversuch war folglich gegeben.

Tab.6: Mittlere Rohnährstoffe der in Maischefässern erzeugten Silagen (n=3, \bar{x} (s))

Erntetermin/ Variante	TM g/kg	XA	XP	XF	XL
2014	g/kg TM				
1/Kontrolle	254 (5)	81 (1)	224 (5)	228 (4)	81 (0)
1/MSB	249 (8)	82 (2)	222 (3)	233 (5)	77 (5)
1/Chem.	260 (3)	81 (3)	221 (12)	230 (12)	59 (3)

MSB = Zusatz Milchsäurebakterien (homofermentativ); Chem. = chemisches Siliermittel

Tab.7: Spezifische Parameter zur Beurteilung der Gärqualität der in Maischefässern erzeugten Silagen (n=3, \bar{x} (s))

Erntetermin/ Variante	pH-Wert	Milch- säure	Essig- säure	Butter- säure	NH ₃ -N/N _t
2014			g/kg TM		%
1/Kontrolle	4,8 (0,0)	46 (4)	12 (1)	0 (0)	5,3 (1,2)
1/MSB	4,8 (0,0)	49 (1)	13 (0)	0 (0)	5,0 (1,7)
1/Chem.	4,6 (0,0)	52 (0)	9 (1)	0 (0)	3,7 (0,6)

MSB = Zusatz Milchsäurebakterien (homofermentativ); Chem. = chemisches Siliermittel, NH₃/N_t = Ammoniak-N-Anteil am Gesamtstickstoff

Die Ergebnisse des Verdauungsversuchs sind in Tabelle 8 zusammenfassend dargestellt. Zur Schätzung des nXP-Gehalts wurde ein UDP-Anteil am XP von 25 % angenommen. Die Verdaulichkeiten der organischen Substanz bzw. des organischen Rests lagen mit ca. 72 bzw. 76 % auf hohem Niveau und auch die Rohfaser erreichte einen Verdaulichkeitsquotienten von durchschnittlich 56 %. Die Konzentration an Umsetzbarer Energie wurde auf durchschnittlich 11,1 MJ/kg TM beziffert, wobei zwischen den Silagen trotz sehr ähnlicher Rohnähstoffzusammensetzung (Tab. 6) deutliche Unterschiede erkennbar waren (Tab. 8). Eine wesentliche Ursache dürfte in der Bestimmung des Rohfetts liegen, welches zwischen den Varianten die größte Streuung aufwies.

Tab. 8: Verdaulichkeiten der Inhaltsstoffe der Sojabohnen-GPS-Varianten beim Hammel (n=5, \bar{x} (s))

Erntetermin/ Variante	Verdaulichkeit					nXP	RNB	ME
	OS	XP	XL	XF	OR			
2014	%					g/kg TM	g/kg TM	/kg TM
Kontrolle	72,9 (1,2)	82,3 ^a (0,7)	87,0 ^a (0,3)	56,7 (3,5)	77,1 (0,8)	174	8	11,4
MSB	71,8 (1,3)	80,7 ^a (1,1)	86,5 ^a (0,8)	55,4 (2,4)	76,2 (1,1)	171	8	11,2
Chem.	71,5 (1,5)	77,9 ^b (1,5)	83,0 ^b (1,6)	55,5 (2,5)	76,2 (1,3)	168	9	10,8
\bar{x}	72,0	80,2	85,4	55,8	76,5	171	8	11,1

nXP = geschätzt unter der Annahme 25 % UDP-Anteil am XP; Signifikanzniveau Student-Newman-Keuls-Test = 5 %, MSB = Zusatz Milchsäurebakterien (homofermentativ); Chem. = chemisches Siliermittel

Der Futterwert von Sojabohnen-Ganzpflanzensilagen kann auf Grundlage dieser Untersuchung als hoch beurteilt werden. Ein entscheidender Aspekt für den Einsatz in Futtermitteln dürfte die Sicherstellung einer hohen Gärqualität sein, um eine gute Akzeptanz und damit Futteraufnahme zu ermöglichen. Darüber hinaus muss der hohe Fettgehalt in der Rationsgestaltung berücksichtigt werden.

Hierzu wird der Einsatz chemischer Siliermittel zur Verbesserung der Gärqualität bei schwer silierbaren Futtermitteln (DLG Wirkungsrichtung 1a) ausdrücklich empfohlen. Nicht zuletzt aufgrund der eher verhaltenen Erträge im Versuch von

33 (2013) und 54 (2014) dt TM/ha sollte die Erzeugung druschfähiger Bohnen das primäre Ziel darstellen, die Silierung von Sojabohnenganzpflanzen dagegen lediglich eine Notmaßnahme.

4. Literaturangaben

- Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG), 2015: DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichen-Fähigkeit. Stand Oktober 2013, 64 Seiten.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), 1991: Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern, J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234.
- Licitra, G., Hernandez, T., Van Soest, P., 1996: Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Technol. 57, 347-358.
- McDonald, P., Henderson, A.R., Heron, S.J.E., 1991: The Biochemistry of Silage, 2. Auflage, Chalcombe Publications, ISBN 0948617225.
- Mustafa, A.F., Seguin, P., 2003: Characteristics and *in situ* degradability of whole crop faba bean, pea, and soybean silages. Can. J. Anim. Sci. 83, 793-799.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 1976: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) Band III, die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 3. Auflage einschließlich Ergänzungslieferungen 1-8, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einfluss aerober Lagerung vor und nach der Silierung auf die Qualität von Maissilage

D. Brüning¹, K. Gerlach¹, K. Weiß², K.-H. Südekum¹

¹Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften, Bonn, ²Humboldt-Universität, Lebenswissenschaftliche Fakultät, A. D. Thaer-Institut für Agrar- und Gartenbauwissenschaften, Berlin

1. Einleitung

Werden das Ausgangsmaterial zur Silierung und die Silagen der Luft ausgesetzt, können diese durch die Aktivität unerwünschter Mikroorganismen leicht verderben. Dies kann u. a. einen Verlust an Trockenmasse (TM) und Nährstoffen zur Folge haben. Luft kann insbesondere bei verlängerten Silobefüllzeiten sowie bei der Entnahme der fertigen Silagen in den Futterstock eindringen. Ein weiterer Grund ist in der unzureichenden Verdichtung des Ausgangsmaterials zu sehen, woraufhin es während der anaeroben Gärphase zu aeroben Umsetzungsprozessen kommen kann, da der dann im Silo kurzfristig verbleibende Restsauerstoff von den Mikroorganismen, z. B. den Hefen genutzt wird. Der sofortige Luftabschluss eines Silos führt nach bisherigen Kenntnissen zur Unterbindung des Hefewachstums (Woolford, 1990). Verlängert sich die Sauerstoffzufuhr beispielsweise durch einen verzögerten Verschluss des Silos, können sich Hefen unter nahezu aeroben Bedingungen weiterhin vermehren und nach vollständigem Verschluss in nicht unerheblicher Anzahl die anaerobe Lagerungsphase überdauern (Pahlow et al., 2003). Während dieser Phase können Hefen aus den vorhandenen Zuckern Ethanol bilden, die der gewünschten Milchsäuregärung als Substrat nicht mehr zur Verfügung stehen. Durch die Vermehrung der Hefen besteht ein erhöhtes Risiko für aerobe Instabilität nach Öffnung des Silos. Andererseits können aus dem gebildeten Ethanol Ester gebildet werden. Diese wurden vermehrt in Praxissilagen nachgewiesen und führten laut Praxisbeobachtungen zu einer verringerten Futteraufnahme von Milchkühen (Weiß et al., 2011) sowie von Ziegen unter Versuchsbedingungen (Gerlach et al., 2013).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Einfluss von Luftzufuhr vor und nach der Silierung in Abhängigkeit von zwei unterschiedlichen Verdichtungsstufen auf die chemische und mikrobielle Zusammensetzung, auf TM-Verluste und

die aerobe Stabilität zu prüfen. Zudem sollte untersucht werden, unter welchen Bedingungen bestimmte flüchtige organische Verbindungen wie Ethanol sowie Ethylester wie Ethyllaktat und Ethylacetat gebildet werden.

2. Material und Methoden

Der für den Versuch benötigte Silomais wurde auf der Lehr- und Forschungsstation Frankenforst (Universität Bonn) angebaut. Mit dem Ende der Milchreife wurde eine Menge von 4 t auf einem abgegrenztem Teilstück eines Schlages im September 2013 gehäckselt (theoretische Häcksellänge 6-8 mm, Schnitthöhe 30 cm), vermischt, beprobt und in 120 l Plastikfässer (6 pro Variante) einsiliert, dabei entweder niedrig (Mittel: 194 kg TM/m³) oder hoch (Mittel: 234 kg TM/m³) verdichtet und zeitlich unterschiedlich verschlossen. Die Varianten waren **Lo0** – niedrig verdichtet und sofort verschlossen, **Lo2** – niedrig verdichtet und Verschluss nach 2 Tagen (d), **Lo4** – niedrig verdichtet und Verschluss nach 4 d, **Hi0** – hoch verdichtet und sofort verschlossen, **Hi2** – hoch verdichtet und Verschluss nach 2 d und **Hi4** – hoch verdichtet und Verschluss nach 4 d. Die Silagevarianten lagerten unter gleichen Umgebungstemperaturen in den Fässern und wurden nach 175 d (Lo0/Hi0), 217 d (Lo2/Hi2) und 259 d (Lo4/Hi4) geöffnet. Trockenmasseverluste, die während der Silierung auftreten können, wurden durch Wägung der Fässer vor dem Verschluss und vor der Öffnung erfasst und nach Weißbach (2005) berechnet.

Nach dem Öffnen der Fässer wurden die Silagen einzeln entnommen, durchmischt und jeweils in Form eines quadratischen Einzelhaufens mit konstanter Schichthöhe (12 cm) 6 Tage an der Luft (mittlere Umgebungstemperatur über alle Varianten: 20 ± 1,5 °C) gelagert. Während der aeroben Lagerung wurde die Silage- und Umgebungstemperatur zur Bestimmung der aeroben Stabilität mittels Datenlogger (in Anlehnung an Honig, 1990) gemessen, die sich in der Mitte jedes Haufens befanden. Zusätzlich wurden im zweitägigen Abstand von den Silagen Proben zur Bestimmung der Gärqualität sowie der chemischen Zusammensetzung und pro aerobem Lagerungstag eine Mischprobe der sechs Wiederholungen zur mikrobiologischen Untersuchung entnommen.

Aus dem frischen Ausgangsmaterial zur Silierung wurde die TM (VDLUFA, 1976) ermittelt und nach Weißbach und Strubelt (2008) korrigiert sowie die Gehalte an Hefen, aerob mesophilen Bakterien und Schimmelpilzen bestimmt

(VDLUFA, 2012a). Aus dem gefriergetrockneten und vermahlenden (1 mm Siebdurchgang) Ausgangsmaterial wurden die TM, Rohasche, Rohfett (VDLUFA, 1976), Rohprotein (Verbrennung nach DUMAS), Neutral-Detergenzien-Faser (aNDFom), Säure-Detergenzien-Faser (ADFom), Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) (VDLUFA, 2012c) sowie die wasserlöslichen Kohlenhydrate mittels Anthron und Continuous Flow Analyzer (Yemm und Willis, 1954) analysiert. Die zur Charakterisierung der Gärqualität der Silagen entnommenen und gefrosten Proben wurden mittels Kaltwasserextraktion aufbereitet. Daraus wurden die Gehalte an flüchtigen organischen Verbindungen wie u. a. Ethanol und Ethylester mithilfe der Gaschromatographie bestimmt (Weiß und Sommer, 2012).

Die varianzanalytische Auswertung der Merkmale erfolgte als vollständig randomisierte Anlage mit der Prozedur MIXED des Statistikprogramms SAS 9.4. Damit wurden die Einflussfaktoren Verdichtung, Verschlusszeitpunkt und aerobe Lagerung sowie deren Wechselwirkungen geschätzt. Die Mittelwertvergleiche wurden mit dem Tukey-Kramer-Test mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $P < 0,05$ durchgeführt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die TM sowie die chemische und mikrobielle Zusammensetzung des Ausgangsmaterials zur Silierung ist in Tabelle 1 dargestellt. Zur Ernte des Silomais lag ein TM-Gehalt von rund 28 % vor. Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten betrug 16 % der TM. Insgesamt lag ein gut vergärbares Ausgangsmaterial vor, wenngleich sich die Hefezahlen über dem VDLUFA-Orientierungswert von 10^6 Hefen/g (VDLUFA, 2012b) einordneten.

Die während der gesamten Silierung aufgetretenen TM-Verluste sind in Tabelle 2 aufgezeigt. Demnach wurden diese durch den Verschlusszeitpunkt beeinflusst ($P < 0,001$), wenngleich auch eine Wechselwirkung zwischen den Einflussfaktoren Verdichtung und Verschlusszeitpunkt auftrat. Die höchsten TM-Verluste lagen bei Lo4 (10,7 %) und Hi4 (9,0 %) vor. Diese wurden durch mikrobielle Umsetzungen und Verflüchtigung während der Lagerung der offenen Fässer verursacht. Silagen bzw. Fässer, die erst nach 4 d verschlossen wurden, wiesen eine niedrige aerobe Stabilität auf (47 h (Lo4), 54 h (Hi4)), wo hingegen die sofort verschlossenen Silagen 64 h (Lo0) bzw. 65 h (Hi0) aerob stabil blieben (Tab. 2).

Tab. 1: Trockenmasse, chemische und mikrobielle Zusammensetzung des Ausgangsmaterials zur Silierung (% d. TM, sofern nicht anders angegeben)

Parameter	Silomais, gehäckselt
TM% (korrigiert)	27,7
Rohasche	3,9
Rohprotein	6,9
Rohfett	2,5
aNDFom	44,3
ADFom	22,9
ADL	2,9
Wasserlösliche Kohlenhydrate	16,0
Hefen (\log_{10} KbE/g) ¹	6,0
Schimmel (\log_{10} KbE/g)	5,6
Aerob mesophile Bakterien (\log_{10} KbE/g)	>7,3

¹)Angabe in \log_{10} -transformierten Koloniebildenden Einheiten (KbE) pro Gramm

Tab. 2: Einfluss von Verdichtung und Verschlusszeitpunkt auf TM-Verluste während der Silierung und die aerobe Stabilität (ASTA) von Maissilage

Variante	TM-Verluste (%)	n	ASTA ¹ (h)	n
Lo0	3,7 ^a	6	64 ^{bc}	3
Lo2	5,7 ^a	5	48 ^{ab}	5
Lo4	10,7 ^b	5	47 ^a	6
Hi0	5,5 ^a	6	65 ^c	6
Hi2	5,8 ^a	5	57 ^{ac}	4
Hi4	9,0 ^b	5	52 ^{ac}	5
SEM ²	0,3-0,7		3,1-4,4	
D ³	NS		NS	
V	<0,001		0,016	
DxV	0,018		NS	

¹) Definiert als Anzahl an Stunden, die die Silage stabil bleibt, bevor ein Temperaturanstieg von 2 K gegenüber der Umgebungstemperatur auftritt, ²) Standardfehler des Mittelwertes, ³) D = Einflussfaktor Verdichtung, V = Einflussfaktor Verschlusszeitpunkt, D x V = Wechselwirkungen der Einflussfaktoren, ^{a-c}) Mittelwerte in einer Spalte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander ($P \leq 0,05$), NS = nicht signifikant ($P > 0,05$)

Eine dreifaktorielle Auswertung der mikrobiologischen Daten (nach Verdichtung, Verschlusszeitpunkt, aerobe Lagerung) war nicht möglich, da jeweils nur eine Sammelprobe aus den 6 Haufen pro Tag und Variante vorlag. Die zweifaktorielle Auswertung nach Verdichtung und Verschlusszeitpunkt (über alle Tage der aeroben Lagerung) ergab keine signifikanten Effekte, so dass die Auswertung einfaktoriell nach aerobem Lagerungstag vorgenommen wurde. In Abbildung 1 ist das Ergebnis dieser Auswertung dargestellt.

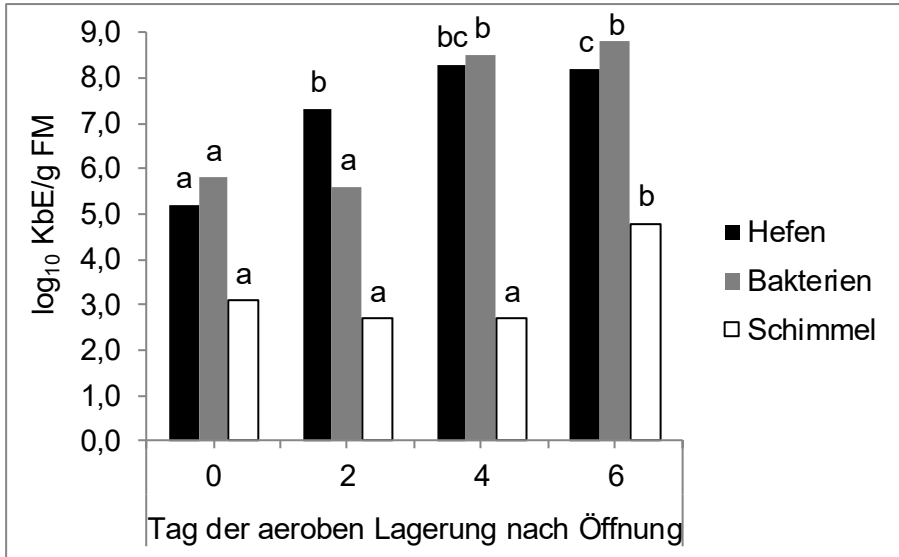


Abb. 1: Einfluss aerober Lagerung auf mittlere Zellzahlen von Hefen, aerob mesophilen Bakterien (Bakterien) und Schimmelpilzen (Schimmel; $n = 6$ pro Lagerungstag, Angaben in \log_{10} koloniebildenden Einheiten/g), ^{a-c} Mittelwerte innerhalb einer Mikrobenpopulation mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich voneinander ($P \leq 0,05$)

Demnach ergab sich ein mittlerer Hefengehalt von $5,2 \log_{10}$ KbE über alle Varianten am Tag der Öffnung (Tag 0), der unter dem des Ausgangsmaterials (vgl. Tab. 1) lag. Nach zweitägiger Lagerung der Silagen an der Luft, erhöhten sich die Hefenzahlen signifikant auf rund $7,3 \log_{10}$ KbE. Danach stiegen die Hefezahlen weiter an und erreichten am Tag 6 einen Wert von $8,2 \log_{10}$ KbE. Die Bakterienzahlen blieben auch nach zweitägiger aerober Lagerung im Vergleich zum Tag der Öffnung (Tag 0) auf gleichem Niveau, um dann anzusteigen ($5,6 \log_{10}$ KbE

am Tag 2 vs. $8,5 \log_{10}$ KbE am Tag 4). Die Schimmelpilzzahlen veränderten sich bis zum Tag 4 der aeroben Lagerung nicht, stiegen danach aber sprunghaft an. Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit denen von Dolci et al. (2011), die, in Abhängigkeit der Art der Mikroorganismen, ebenfalls unterschiedliche Wachstumszunahmen nach aerober Lagerung von Maissilagen beobachteten.

Erste Auswertungen zur Gärqualität der sofort verschlossenen Silagen wiesen höhere Gehalte an Ethanol (17 g/kg TM) und Ethyllaktat (~400 mg/kg TM) in den hoch verdichteten Silagen am Tag der Öffnung (Tag 0 der aeroben Lagerung) gegenüber den niedrig verdichteten Silagen aus. Ethanol sowie Ethyllaktat und Ethylacetat nahmen nach mehrtägiger aerober Lagerung signifikant ab. Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Weiß et al. (2011) überein.

4. Fazit

Mit längerer Lufteinwirkung vor (Verdichtung, Verschlusszeitpunkt) und nach der Silierung (aerobe Lagerung) ließ sich eine Verschlechterung der Maissilagequalität hinsichtlich TM-Verlusten, aerober Stabilität, mikrobiellem Status und dem Auftreten unerwünschter flüchtiger organischer Verbindungen feststellen. Luftzutritt muss durch geeignete Maßnahmen in jedem Falle unterbunden werden. Die Bedingungen, die zur Bildung flüchtiger organischer Verbindungen führen, sollten weiterhin intensiv untersucht werden.

5. Literaturangaben

- Dolci, P., Tabacco, E., Cocolin, L., Borreani, G., 2011: Microbial dynamics during aerobic exposure of corn silage stored under oxygen barrier polyethylene films. *App. Environ. Microbiol.* 77, 7499-7507.
- Gerlach, K., Roß, F., Weiß, K., Büscher, W., Südekum, K.-H., 2013: Changes in maize silage fermentation products during aerobic deterioration and effects on dry matter intake by goats. *Agric. Food Sci.* 22, 168-181.
- Honig, H., 1990: Evaluation of aerobic stability. In: Lindgren, S., Petterson, K.L. (Hrsg.) *Proceedings of the EUROBAC Conference, Uppsala, 1986. Grovfoder Grass and Forage Reports* 3, 76-82.

- Pahlow, G., Muck, R.E., Driehuis, F., Oude Elferink, S.J.W.H., Spoelstra, S.F., 2003: Microbiology of ensiling. In: Buxton, D.R., Muck, R.E., Harrison, J.H. (Hrsg.). *Silage Science and Technology*. Madison, WI, USA: ASA, CSSA, SSSA, 31–93.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 3.1, Feuchtigkeit, Methode 8.1, Rohasche, Methode 5.1.1, Rohfett. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012a: Methode 28.1.2, Bestimmung der Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012b: Methode 28.1.4, Verfahrensanweisung zur mikrobiologischen Qualitätsbeurteilung. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012c: Methode 6.5.1, Neutral-Detergenzien-Faser (aNDFom), Methode 6.5.2, Säure-Detergenzien-Faser (ADFom), Methode 6.5.3, Säure-Detergenzien-Lignin (ADL). In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Weiß, K., Sommer, G., 2012: Bestimmung von Estern und anderen flüchtigen organischen Substanzen (VOC) in Silageextrakten mit Hilfe der Gaschromatographie. *VDLUFA-Schriftenreihe* 68, 561-569.
- Weiß, K., Gerlach, K., Südekum, K.-H., 2011: Flüchtige Substanzen in Maissilagen in Abhängigkeit von Silierbedingungen und aerober Lagerungsdauer. *VDLUFA-Schriftenreihe* 67, 534-540.

- Weissbach, F., 2005: A simple method for the correction of fermentation losses measured in laboratory silos. In: Park, R.S., Stronge, M.D. (Hrsg.) Silage production and utilization (Proc. 14th Int. Silage Conf.). Wageningen Academic Publishers, Wageningen: 278.
- Weissbach, F. und Strubelt, C., 2008: Correcting the dry matter content of maize silage as a substrate for biogas production. Landtechnik 63, 82-83.
- Woolford, M.K., 1990: The detrimental effects of air on silage. A review. J. Appl. Bacteriol. 68, 101-116.
- Yemm, E.M., Willes, A.J., 1954: The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochem. J. 57, 85-97.

Nebenprodukte der Fasergewinnung aus Hanf – Futtermittel im Sinne eines ganzheitlichen Produktionssystems

B. Wagner, M. Spolders, H. Schafft, M. Lahrssen-Wiederholt
Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

1. Einleitung

Hanf ist eine der ältesten Kulturpflanzen der Welt. In der Vergangenheit wurde die Pflanze als Faserlieferant angebaut und die Faser für die Herstellung von Bekleidung, Seilen, Segeltüchern und Papier verwendet. Durch den technologischen Fortschritt, beispielsweise die Erfindung von Spinnmaschinen für Baumwolle und die Umstellung der Schifffahrt auf Dampfkraft, sowie die Möglichkeit, billige Fasern zu importieren, nahm die Bedeutung des Hanfanbaus in Europa ab. Im Laufe des 20. Jahrhunderts untersagten schließlich diverse Länder den Anbau von Hanf, da die Pflanze den psychoaktiven Wirkstoff Tetrahydrocannabinol (THC) enthält (Carus et al., 2008). Dieser wird über harzproduzierende Drüsenhaare auf nahezu der gesamten Pflanze verteilt (Lachenmeier, 2004). Erst durch die Züchtung THC-armer Faserhanfsorten und das neuerliche Interesse von Landwirtschaft und Industrie am Rohstoff Hanf kam es zur Wiederentdeckung der alten Nutzpflanze und ihrer verschiedenen Einsatzmöglichkeiten (Carus et al., 2008).

Hanf und Hanfprodukte stellen traditionell wertvolle Futtermittel in der Tierernährung dar. Hanffuttermittel sind sowohl im Katalog der Einzelfuttermittel (VO (EU) Nr. 68/2013) als auch in der Positivliste für Einzelfuttermittel gelistet. Hanf darf beim Anbau, entsprechend der geltenden rechtlichen Bestimmungen, maximal 0,2 % der psychoaktiven Substanz THC enthalten. Im Folgenden wird dieser Hanf als „Nutzhanf“ bezeichnet. Im Zuge der Diskussion um die Freigabe von Cannabis kam auch die Frage auf, ob psychoaktive Substanzen aus Nutzhanf Futtermitteln in Lebensmittel tierischer Herkunft übergehen können und möglicherweise die Gesundheit des Verbrauchers bei Verzehr solcher Lebensmittel beeinträchtigen könnten. Bei der Faserproduktion aus Hanf werden die Blätter der Pflanze bisher selten genutzt, obwohl eine Verwertung als Futtermittel generell möglich ist. Mit Blick auf den vorsorgenden gesundheitlichen Verbraucherschutz ist zu prüfen, inwieweit der Einsatz von Hanfblättern als Futtermittel für Wiederkäuer ein gesundheitliches Risiko für den Verbraucher darstellen könnte.

2. Die Hanfpflanze

Die Hanfpflanze (*Cannabis sativa* L.) ist eine einjährige Pflanze, die als anspruchslos gilt (Herer et al., 2008) und für deren Anbau in der Regel keine Pflanzenschutzmittel nötig sind (Carus et al., 2008). Sie besteht aus einem Stängel mit einer inneren holzigen Kernröhre, die von einer äußeren faserhaltigen Bast­schicht umgeben ist, sowie handförmig geteilten Blättern (BfR, 2012). Die Hanfpflanze bildet Samen aus, die zu den Nüssen zählen (Carus et al., 2013).

3. Rechtlicher Rahmen

Der Anbau THC-armer Hanfsorten ist in allen europäischen Ländern zulässig. Die Grundlage dafür ist in den Verordnungen (EU) Nr. 1307/2013 und (EG) Nr. 1782/2003 festgelegt. In Deutschland, wo der Anbau von Faserhanf seit 1996 wieder zulässig ist, werden die europäischen Vorschriften durch das Gesetz über den Verkehr mit Betäubungsmitteln (BtMG) und durch die Verordnung über die Durchführung von Stützungsregelungen und des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoSV) ergänzt.

Ziel der Vorschriften ist es, den illegalen Anbau von Drogenhanf zu verhindern. Zum Anbau darf ausschließlich zertifiziertes Saatgut von zugelassenen Sorten verwendet werden, deren THC-Gehalt 0,2 % nicht übersteigt. Der Anbau von Hanf muss zudem bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) angezeigt werden. Weiterhin müssen die verwendeten Sorten im gemeinsamen Sortenkatalog für landwirtschaftliche Pflanzenarten aufgeführt sein. Die Sortenliste wird jährlich aktualisiert und gelistete Sorten können vom Anbau ausgeschlossen werden, wenn ihr THC-Gehalt in zwei aufeinanderfolgenden Anbaujahren den zulässigen Maximalgehalt von 0,2 % überschritten hat.

4. Verwendung der Hanffaser und der Koppelprodukte

Für die Fasergewinnung werden die faserigen Anteile der Stängel der Pflanze verwendet. Aus den gewonnenen Fasern werden Spezialzellstoffe (vorrangig für Zigarettenpapier), Dämmstoffe und Verbundwerkstoffe hergestellt. Bei den Verbundwerkstoffen handelt es sich fast ausschließlich um Formpress­teile für die Automobilindustrie. Weitere Nutzungsmöglichkeiten ergeben sich

durch die Herstellung von Papieren, Textilien, Seilen, Teppichen oder Kresse-Anzuchtvliesen (Carus et al., 2008).

Aus dem holzigen Kern des Stängels werden als Koppelprodukt sogenannte Schäben gewonnen. Diese finden vorrangig als Einstreu für Haus- und Nutztiere Verwendung. Weiterhin werden sie als Zuschlagstoff im Kalk- und Lehmputz, als schüttbare Dämmstoffe und zur Herstellung von Leichtbauplatten verwendet. Eine Verbrennung der Schäben zur Energieerzeugung ist ebenfalls möglich (Carus et al., 2008).

Hanfsamen werden in der Tierfütterung hauptsächlich als Vogelfutter eingesetzt. Nur geringe Mengen der Samen oder des aus ihnen gewonnenen Hanföls werden zur Herstellung von Lebensmitteln verwendet (Carus et al., 2008).

Carus et al. (2008; 2013) verdeutlichen, dass in den kommenden Jahren bei verschiedenen Nutzungsrichtungen der Hanfpflanze (Herstellung von Verbundwerkstoffen, Nutzung der Schäben im Baubereich, Nutzung der Samen) ein Marktwachstum zu erwarten ist. Damit einhergehend könnte es auch in Deutschland zu einer Zunahme der Hanfanbaufläche und der Nutzung der ganzen Hanfpflanze oder von Teilen der Pflanze als Futtermittel kommen.

Eine Nutzung der Blätter der Hanfpflanze findet bisher, bis auf wenige Ausnahmen, nicht statt, obwohl der Anteil der Blattmasse an der Gesamtpflanze, je nach Vegetationsstadium, bis zu 24 % der Gesamtpflanzentrockenmasse ausmachen kann. Dies steht im Widerspruch zu einer wünschenswerten und von der Gesellschaft geforderten nachhaltigen Wirtschaft. Beim klassischen Verfahren der Hanffasergewinnung, welches mit einer längeren Feldliegezeit der gemähten Pflanzen einhergeht, verbleiben die Blätter als organischer Dünger auf dem Feld oder werden anschließend entsorgt. Beim Verfahren der Feuchtgutlinie werden die Blätter in den Prozess der Fasergewinnung einbezogen, jedoch beeinträchtigen sie die Qualität der daraus entstehenden Faserprodukte (Neumann, 2014). In einigen Hanfanbaugebieten findet jedoch eine Verfütterung der Blätter an Kühe und Schweine statt (Carus et al., 2008). Eine Nutzung der Blätter als Futtermittel im Sinne eines ganzheitlichen Produktionssystems ist daher denkbar.

5. Hanf als Futtermittel

Da es sich bei Hanf um eine traditionelle Futterpflanze in der Wiederkäuerernährung handelt, die historisch in den Anbauregionen verfüttert wurde und auch gegenwärtig in den Niederlanden als Futtermittel für Milchkühe genutzt wird, ist eine Verwendung der Hanfblätter als Futtermittel eine naheliegende Möglichkeit (Neumann, 2014).

In der Verordnung (EU) Nr. 68/2013 der Kommission vom 16. Januar 2013 zum Katalog der Einzelfuttermittel sind Hanfsaat, Hanfkuchen, Hanföl, Hanfmehl und Hanffaser als Futtermittel gelistet, wobei, mit Ausnahme von Hanfsaat, keine Einschränkungen bezüglich des THC-Gehaltes vermerkt sind. Der THC-Gehalt der Pflanzen wird auf europäischer Ebene durch die Beschränkung des Anbaus auf zugelassene Sorten mit einem maximalen THC-Gehalt von 0,2 % reguliert. In der deutschen Positivliste für Einzelfuttermittel ist Hanfkuchen mit einem maximalen THC-Gehalt von 0,2 % gelistet. Unter Berücksichtigung der allgemeinen Anforderungen an Futtermittel nach Verordnung (EG) Nr. 178/2002 und Verordnung (EG) Nr. 767/2009 ist außerdem die Verfütterung der ganzen Pflanze oder von Teilen der Pflanze möglich.

Die Gesamtpflanze ist ein energiearmes und rohproteinreiches Futtermittel. Im gesamten Alpenraum und in der Schweiz wurde die Hanfpflanze bis zu ihrem Verbot im Ganzen oder in Teilen traditionell in der Rinder- und Milchviehfütterung eingesetzt (Neumann, 2014; Maurer, 2005). Einer Nutzung von Hanf als Futtermittel wird nach der Legalisierung des Anbaus nur eingeschränkt nachgegangen. In den Niederlanden wird seit einigen Jahren Hanf als Futtermittel angebaut, zu Ballensilagen verarbeitet und an Milchkühe verfüttert (De Telegraaf, 2011, Gusovius, 2015, Neumann, 2014). Der Hanf wird nach Berichten der niederländischen Landwirte mit einem Anteil von bis zu 14 % (TM) der Gesamtmischung zugesetzt. Darin dient er zum einen als Rohfaserkomponente und zum anderen ist das Rohprotein der Hanfpflanze für Wiederkäuer von hoher Verdaulichkeit (Neumann, 2014).

Zur Zusammensetzung von Hanfblättern liegen derzeit nur wenige Arbeiten vor.

Hansamen sind mit ihrem hohen Fettgehalt von über 30 % und ihrem Proteingehalt von 25 % energie- und proteinreiche Futtermittel. Sie sind zudem, ähnlich wie Getreide, mineralstoffreich, mit einem hohen Gehalt an Phosphor, aber

einem geringen Gehalt an Calcium (Callaway, 2004). Aufgrund des hohen Anteils an schwefelhaltigen Aminosäuren und des hohen Anteils an ungesättigten Fettsäuren sind Hanfsamen, neben der Verwendung als Ziervogelfutter und Fischköder (Carus et al., 2008), auch in der Geflügelfütterung einsetzbare Futtermittel (BfR, 2012).

Das Hanföl kann aus den Samen abgepresst werden. Es wird bei Pferden, Vögeln und Kleintieren zur Verbesserung des Feder- und Haarkleides sowie zur Stärkung des Tieres in Stresssituationen beworben.

Die Nebenprodukte der Hanfölgewinnung, Hanfkuchen und Hanfmehl, können bei Kühen, Schweinen und Pferden in der Ration proteinreiche Futtermittel, wie beispielsweise Rapsextraktionsschrote, ersetzen (EFSA, 2011; EFSA, 2015). Bei Kühen sind sie eine hervorragende Quelle für pansengeschütztes Protein mit einer hohen postruminalen Verdaulichkeit (Mustafa et al., 1999).

6. Aktueller Stand der Forschung

Wie bereits eingangs erwähnt, produziert die Hanfpflanze eine Substanz, welche psychotrope Wirkungen vermittelt. Diese Substanz, das Tetrahydrocannabinol (THC), gehört zur Gruppe der Cannabinoide. Diese werden auf der gesamten Oberfläche der Pflanze, außer an Samen und Wurzeln, über harzproduzierende Drüsenhaare abgesondert. In der Pflanze kommt THC zu bis zu 90 % in Form seiner psychoinaktiven Vorstufe THCA vor. Diese psychoinaktive Vorstufe kann jedoch durch nichtenzymatische Decarboxylierung in psychoaktives THC umgewandelt werden (Lachenmeier, 2004).

Die Zucht von Nutzhanfsorten mit einem maximalen THC-Gehalt von 0,2% gelang, jedoch wurden in der Vergangenheit Bedenken laut, ob sich bei Verfütterung von nutzhanfhaltigen Futtermitteln die psychoaktive Substanz in tierischen Lebensmitteln wiederfinden und beim Verzehr dieser Lebensmittel die Gesundheit von Verbrauchern gefährden könnte. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) hat sich in den vergangenen Jahren in Form zweier Stellungnahmen mit der Thematik beschäftigt und weitreichende Datenlücken festgestellt (EFSA, 2011; EFSA, 2015). Auch dem Bundesinstitut für Risikobewertung war aufgrund der geringen Studienzahl nur eine worst-case-Betrachtung zum Transfer von THC aus Futtermitteln in Lebensmittel tierischen Ursprungs möglich (BfR, 2012).

Bekannt ist, dass THC nach oraler und inhalativer Aufnahme in die Milch verschiedener Spezies gelangen und sich aufgrund seiner lipophilen Eigenschaften im Fettgewebe anreichern kann. Es gibt zurzeit keine Studien zum Übergang von THC aus dem Futter in tierische Gewebe oder Eier und nur einzelne Studien zum Übergang von THC aus dem Futter in die Milch von Kühen (EFSA, 2011; EFSA, 2015). Die offizielle Analyseverfahren nach Verordnung (EG) Nr. 1122/2009 zur Überprüfung der Einhaltung des maximal zulässigen THC-Gehalts in Hanfpflanzen beruht auf einem gaschromatografischen Verfahren. Hierbei wird, durch die hohen Temperaturen im Injektor der Apparatur, das psychoinaktive THCA vollständig in psychoaktives THC überführt. Eine Unterscheidung der psychoinaktiven Vorstufe vom psychoaktiven THC ist nicht möglich; stattdessen wird das sogenannte Gesamt-THC erfasst (EFSA, 2011). Für die Berechnung des Übergangs von psychoaktivem THC aus dem Futtermittel in die Milch können nur zwei Studien herangezogen werden. Zum einen handelt es sich dabei um eine Studie an einer Milchkuh, welche in Form einer kurzen Mitteilung publiziert wurde (Guidon und Zoller, 1999). Der Kuh wurden 625 mg THC in Form einer Gelatine kapsel verabreicht und der Übergang des THC in die Milch quantifiziert. Zum anderen zitiert die EFSA in ihren Stellungnahmen von 2011 und 2015 eine unveröffentlichte Studie an 80 Milchkühen, die täglich 3250 mg THC über Pellets aus der ganzen Hanfpflanze erhielten. Auch hier wurde der Übergang des THCs in die Milch erfasst. Bei beiden Studien kamen als Analysemethoden zur Erfassung des THC-Gehalts gaschromatografische Verfahren zum Einsatz. Aus der Publikation von Guidon und Zoller (1999) geht nicht eindeutig hervor, ob eine Unterscheidung der psychoinaktiven Vorstufe THCA vom psychoaktiven THC vorgenommen wurde. Die von der EFSA zitierte unveröffentlichte Studie erfasste nur den Gesamt-THC-Gehalt. Auf Grundlage dieser Studien können daher keine Aussagen darüber getroffen werden, welche Mengen an psychoaktivem THC über nutzhaltiges Futter in die Milch übergehen können und beim Verzehr dieser Milch die Gesundheit der Verbraucher gefährden könnten.

7. Forschung am Bundesinstitut für Risikobewertung

Am Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) soll die Fragestellung des Übergangs von psychoaktivem THC aus nutzhaltigen Futtermitteln mit einem maximalen THC-Gehalt von 0,2% in die Milch von Kühen im Rahmen eines Forschungsprojektes untersucht werden. Hierfür sollen nutzhaltige Futterra-

tionen erstellt und auf dem Versuchsgut des BfR an laktierende Milchkühe verfüttert werden. Während des Versuchs werden Milchproben gewonnen und auf ihren Gehalt an psychoaktiven THC und THC-Kongeneren untersucht.

Die Futtermittel für den Fütterungsversuch werden vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e. V. zur Verfügung gestellt. Die getrennte Analytik von psychoinaktivem THCA und psychoaktivem THC in nutzhanfhaltigen Futtermitteln und der Milch der Kühe wird durch das Chemische und Veterinäruntersuchungsamt Münsterland-Emscher-Lippe (CVUA) durchgeführt.

Erste Ergebnisse des Projektes sind im kommenden Jahr zu erwarten.

8. Literaturangaben

- BfR- Bundesinstitut für Risikobewertung, 2012: THC in Futtermitteln aus Hanf und Hanferzeugnissen im Hinblick auf die Tiergesundheit und den Carry over in Lebensmittel tierischen Ursprungs. Stellungnahme Nr. 044/2012 des BfR vom 18. September 2012.
- Callaway, J.C., 2004: Hemseed as a nutritional resource: An overview. *Euphytica*, 140, 65-72.
- Carus, M., Gahle, C., Pendarovski, C., Vogt, D., Ortmann, S., Grotenhermen, F., Breuer, T., Schmidt, C., 2008: Gülzower Fachgespräche. Band 26. Studie zur Markt- und Konkurrenzsituation bei Naturfasern und Naturfaserwerkstoffen (Deutschland und EU).
- Carus, M., Karst, S., Kauffmann, A., Hobson, J., Bertucelli, S., 2013: The European Hemp Industry: Cultivation, processing and applications for fibres, shivs and seeds. <http://eiha.org/media/2014/10/13-06-European-Hemp-Industry.pdf> (Zugriff am 01.10.2015).
- De Telegraaf, 2011: Steeds meer melkkoeien aan de hennep. http://www.telegraaf.nl/dft/ondernemen/20241063/___Koeien_aan_de_hennep___.html (Zugriff am 01.10.2015).
- EFSA – Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2011: Scientific Opinion on the safety of hemp (*Cannabis* genus) for use as animal feed. *EFSA Journal*, 9(3).

- EFSA – Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit, 2015: Scientific Opinion on the risks for human health related to the presence of tetrahydrocannabinol (THC) in milk and other food of animal origin. EFSA Journal, 13(6).
- Guidon D., Zoller, O., 1999: Übergang von THC in die Kuhmilch. Mitteilungen aus dem Gebiet der Lebensmitteluntersuchung und -hygiene, 90, 373-373.
- Gusovius, H.-J., 2015: persönliche Mitteilung am 31.03.2015.
- Herer, J., Bröckers M., 2008: Die Wiederentdeckung der Nutzpflanze Hanf, 41. Auflage, Nachtschatten, Solothurn.
- Lachenmeier D.W., 2004: Hanfhaltige Lebensmittel – ein Problem? Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 100(12), 481-490.
- Mauer, U., 2005: Kein Hanf mehr für Kühe. <http://www.swissinfo.ch/ger/kein-hanf-mehr-fuer-kuehe/4378156>.
- Mustafa, A.F., McKinnon, J.J., Christensen, D.A. 1999: The nutritive value of hemp meal for ruminants. Canadian Journal of Animal Science, 79, 91-95.
- Neumann, J., 2014: Bewertung der Futtermitteleignung von Hanfblättern. Masterarbeit, Humbolt-Universität, Berlin.

Keimbelastung von Erbsen und Bohnen aus den Landessortenversuchen

W. Wagner

LTZ Augustenberg, Karlsruhe

1. Hintergrund der Studie

Die vorliegende Studie beschreibt die mikrobiologische Belastung von Futtererbsen und Ackerbohnen aus den Landessortenversuchen (LSV) in Baden-Württemberg. Hierbei wurden Proben aus den Jahren 2011-2014 mikrobiologisch und teilweise molekularbiologisch untersucht und die Ergebnisse in Hinblick auf den Einsatz als Futtermittel statistisch ausgewertet.

In der amtlichen Futtermittelkontrolle werden repräsentative Orientierungswerte zur mikrobiologischen Beurteilung von Futtermitteln benötigt, die im AK Mikrobiologie der Fachgruppe VI des VDLUFA aus einem bundesweiten Datenpool erarbeitet werden. Die Ergebnisse dieser Studie tragen dazu bei, die Etablierung von bislang noch fehlenden offiziellen Orientierungswerten für Erbsen und Bohnen zu unterstützen.

Die definierten Bedingungen der LSV lassen es im Gegensatz zu üblichen Untersuchungsproben zu, viele relevante Einzelheiten der Proben zurückzufolgen und mögliche Unterschiede einzelner Kategorien zu erkennen. Auf diese Weise wurden 26 Erbsensorten an 7 Standorten mit insgesamt 216 Proben untersucht und ausgewertet. Bei Bohnen waren es 23 Sorten, 9 Standorte und 148 Proben. Verglichen wurden klimatische Regionen, Sorten, Lagerungsdauer, sowie der Unterschied zwischen konventionellen und ökologischen Anbauverfahren.

2. Material und Methoden

In den Jahren 2011-2014 wurden Futtererbsen (*Pisum sativum*) und Ackerbohnen (*Vicia faba*) von repräsentativen Standorten in Baden-Württemberg im Rahmen der LSV untersucht, die folgenden Boden-Klima-Räumen zuzuordnen sind: a) Wärmelagen (Rheinebene und Nebentäler: >9,1 °C; Grötzingen,

Orschweier); b) Mittellagen (Hochrhein-Bodensee, Oberes Gäu: 8-9,1 °C Boxberg, Hohenheim, Beuerlbach/Ilshofen); c) Höhenlagen (Schwäbische Alb, Baar: <8 °C Döggingen, Maßhalderbuch, Eiselau).

Unterschiedliche Sorten wurden konventionell oder ökologisch angebaut, d. h. unter Verzicht synthetischer Düngemittel oder Pflanzenschutzmittel. Nach der Ernte wurden repräsentative Proben unmittelbar ans LTZ Augustenberg geschickt und dort bis zur Untersuchung unterschiedlich lange eingelagert.

Die Bestimmung der Keimgehalte erfolgte mit der VDLUFA-Methode MB III 28.1.2; ebenso die morphologische Differenzierung der in MB III 28.1.3 definierten 7 Keimgruppen (KG). Für statistische Ableitungen eigneten sich nur die häufig auftretenden KG, nämlich KG1 (produkttypische Bakterien), KG4 (produkttypische Pilze) und KG7 (Hefen). Daneben gibt es KG2 (Verderb anzeigende Bakterien), KG3 (Verderb anzeigende Streptomycceten), KG5 (Verderb anzeigende Pilze) und KG6 (Verderb anzeigende Mucorales). Von typischen einzelnen Bakterienkolonien wurden Artdifferenzierungen mittels Sequenzierung der 16S rDNA durchgeführt. Die statistischen Ableitungen erfolgten mit Excel und SigmaPlot13.

3. Keimbelastung und Artenspektrum

Erbsen und Bohnen zeigten in ihrer Keimbelastung eine weitgehende Übereinstimmung hinsichtlich ihrer Keimgehalte und des vorkommenden Artenspektrums an Bakterien und Pilzen. Die Bakterien wurden stichprobenartig sequenziert.

In über 95 % der Proben wurden produkttypische Bakterien nachgewiesen (Tab. 1). Es handelt sich dabei überwiegend um Gelbkeime wie *Pantoea* spp. und *Enterobacter* spp., sowie vereinzelt um Pseudomonaden und weitere Enterobacteriaceae wie *Erwinia* spp. und *Escherichia* spp. (Abb. 1). Nur ca. 15 % der Proben waren mit Verderb anzeigenden Bakterien wie *Bacillus* spp., *Paenibacillus* spp., *Enterococcus* spp., etc. belastet. Aus dem Spektrum der Pilze wurden in erster Linie produkttypische Schwärzepilze und Hefen nachgewiesen, die jeweils in ca. Dreiviertel der Proben vorkamen. Von untergeordneter Bedeutung erwiesen sich die Verderb anzeigende Aspergillen/Penicillien oder Mucorales, die zwar in bis zu einem Viertel der Proben auftraten, aber von ihrer Keimzahl meist zu vernachlässigen waren.

Tab. 1: Mediane der Keimgehalte aller Keimgruppen bei Erbsen und Bohnen in KBE/g (koloniebildende Einheiten pro g) und ihre relativen Häufigkeiten.

Keimgruppe	LSV Erbsen, n=216	LSV Bohnen, n=148	VDLUFA Erbsen +Bohnen, n=65
KG1	380 000 (99,1%)	250 000 (95,9%)	120 000 (90,8%)
KG2	90 000 (13,4%)	68 000 (14,9%)	27 000 (58,5 %)
KG3	- (0%)	- (0%)	3 500 (10,8 %)
KG4	2 400 (80,1%)	1 800 (69,6%)	1 500 (66,2%)
KG5	1 200 (19,9%)	1 300 (23,0%)	2 200 (64,6 %)
KG6	300 (2,3%)	300 (11,5%)	670 (18,5 %)
KG7	3 600 (72,2%)	4 200 (79,1%)	2 000 (67,7%)

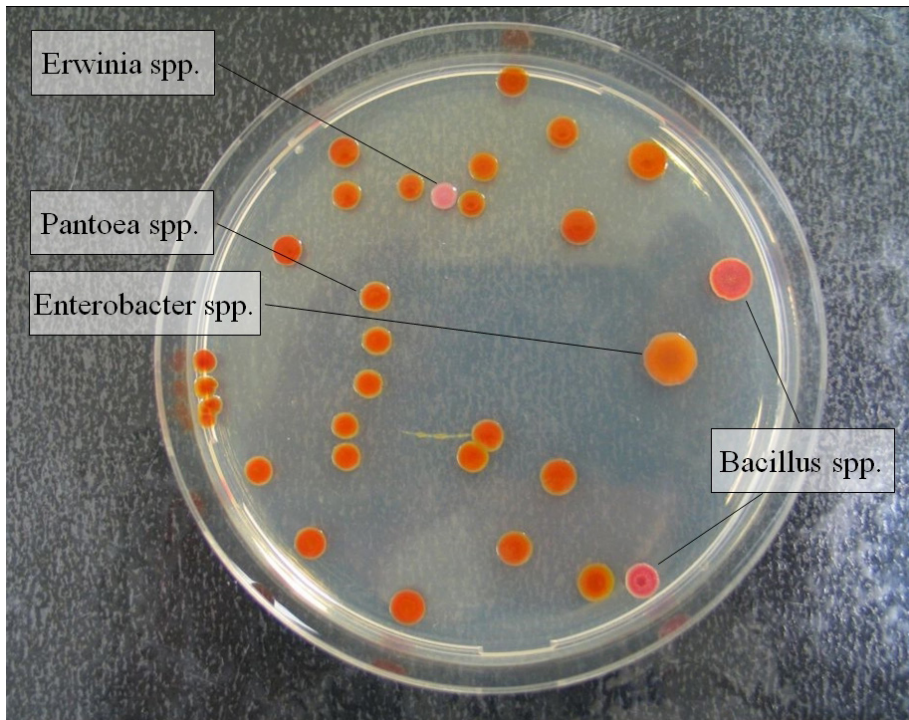


Abb. 1: Bakterienkolonien auf der Keimzählplatte einer Erbsenprobe und stichprobenhafte molekularbiologische Differenzierung

Ein Vergleich mit anderen Futtermitteln zeigt, dass die Keimzahlen insgesamt in einem Bereich liegen, der Erbsen und Bohnen als eindeutig keimarme Futtermittel kennzeichnen.

3. Vergleich von Erbsen und Bohnen

Die Kollektive aller Erbsen- und Bohnenproben wurden hinsichtlich ihrer Keimgehalte verglichen. Diese sind annähernd logarithmisch normalverteilt. (Dies gilt auch für die Kollektiv-Betrachtungen der folgenden Kapitel.)

Die produkttypischen Bakterien zeigen dabei eine Verteilung, die bei Erbsen und Bohnen übereinstimmt (Abb. 2, KG1). Gleiches gilt für die Hefen (KG7, ohne Abb.). Nur bei den produkttypischen Pilzen liegt der Keimgehalt von Bohnen signifikant niedriger (Abb. 2, KG4).

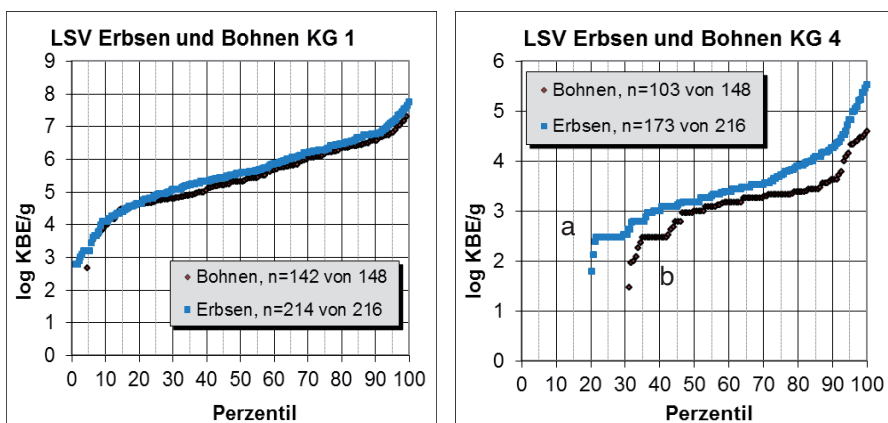


Abb.2: Darstellung der Keimgehalte aller Proben in Form von Perzentilen, getrennt nach Erbsen und Bohnen. KG1 = Keimgruppe 1 (produkttypische Bakterien), KG4 = Keimgruppe 4 (produkttypische Pilze).

4. Lagerzeit

Einen entscheidenden Einfluss auf den Keimgehalt hat insbesondere bei Erbsen die Zeitspanne zwischen Ernte und dem Beginn der Laboruntersuchung. Miteinander verglichen wurden hierfür kurze (0-3 Wochen), mittlere (4-6 Wochen), lange (7-9 Wochen) und sehr lange Zeiträume (10-34 Wochen).

Die Erbsen zeigen hierbei eine signifikante Abnahme der Keimgehalte nach 6 Wochen. Dies gilt für alle drei untersuchten Keimgruppen (Abb. 3, KG1,4,7) gleichermaßen.

Bei Bohnen ist in dieser Hinsicht kein eindeutiger Trend erkennbar.

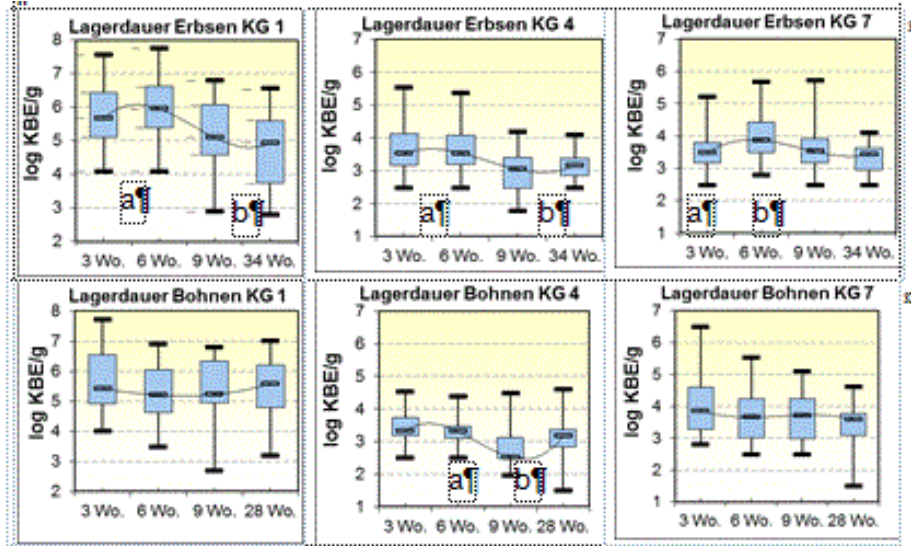


Abb. 3: Keimzahlen von Erbsen und Bohnen in Abhängigkeit ihrer Lagerungsdauer (Angabe der Wochenobergrenze). Dargestellt sind Boxplots verschiedener Keimgruppen mit Medianwerten, oberem und unterem Quartil, Minimal- und Maximalwerte, sowie Trendlinien. Probenverteilung je Gruppe: Erbsen $n=70, 66, 34, 46$; Bohnen $n=27, 48, 20, 53$

Die Veränderung der Keimzahlen fällt im Vergleich zum Reifeprozess bei erntefrischem Heu oder bei Silagen weitaus geringer aus, nämlich nur im Bereich von etwa einer Zehnerpotenz. Dennoch empfiehlt es sich insbesondere bei Erbsen, nach der Ernte eine Wartezeit von mindestens 6 Wochen bis zur Verfütterung einzuhalten bis sich die mikrobiellen Prozesse stabilisiert haben.

5. Einfluss von Klima und Standort

Von Jahr zu Jahr und von Einzelstandort zu Einzelstandort ergaben sich Variationen in den Keimzahlverteilungen, die jedoch bei Betrachtung aller Keimgruppen ohne einheitliche Tendenz ausfielen (ohne Abb.).

Bündelt man jedoch die Standorte nach ihren Boden-Klima-Räumen, wird deutlich, dass die Abhängigkeit der Keimzahlen hiervon von untergeordneter Bedeutung ist. Lediglich bei einer einzigen Keimgruppe (KG1 bei den Erbsen) treten in Wärmelagen signifikant niedrigere Keimzahlen auf in Mittel- und Höhenlagen (Abb. 4).

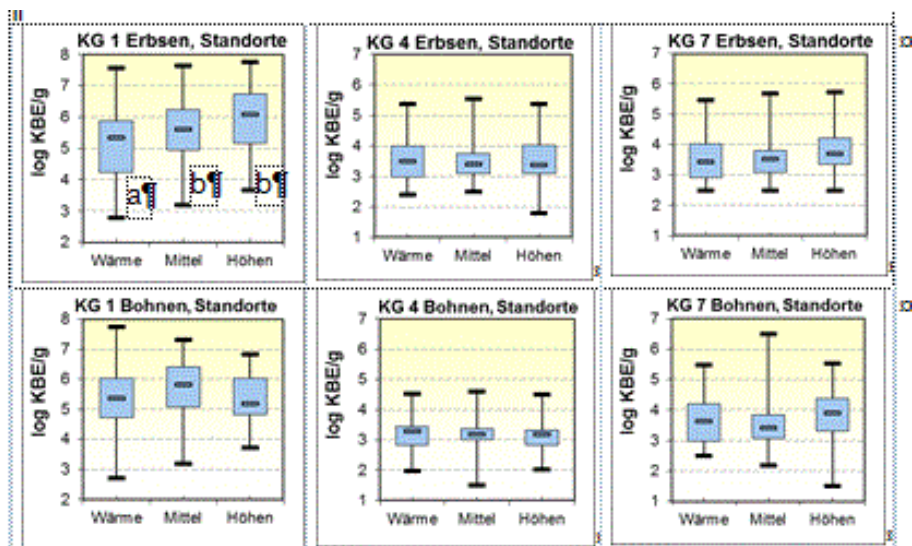


Abb. 4: Einfluss des Standorts (gebündelt nach Wärme-, Mittel- und Höhenlagen) auf die Keimzahlen von Erbsen und Bohnen. Probenverteilung je Gruppe: Erbsen n=61, 107, 48; Bohnen n=39, 56, 46

6. Ökologischer Anbau und Sorten

Die Keimzahlen ökologisch angebauter Sorten fallen im Vergleich zum konventionellen Anbau je nach Keimgruppe relativ ähnlich aus. Die produkttypischen Bakterien (KG1, Abb. 5) und die produkttypischen Pilze (KG4, ohne Abb.) beider Kulturarten weisen nahezu identische Verteilungen auf. Im Falle der Erbsen gilt dies auch für die Hefen (KG7, Abb. 5). Die Ausnahme bildet hier der Hefebesatz bei Bohnen, der nach ökologischem Anbau signifikant niedriger ausfällt.

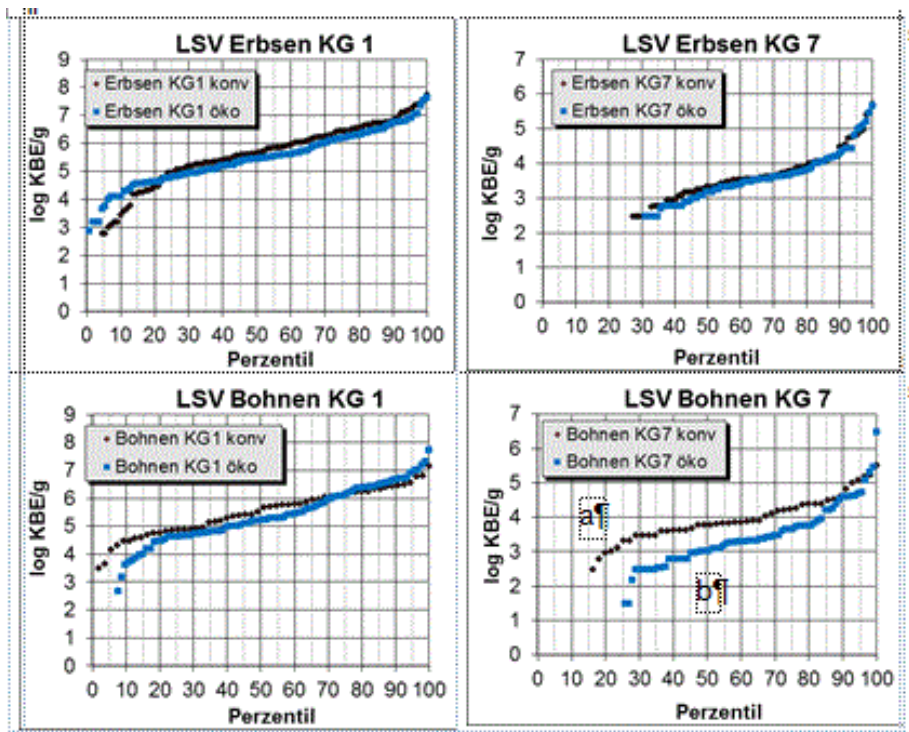


Abb. 5: Konventioneller (n = 07 Proben) und ökologischer Anbau (n = 109) im Vergleich. Produkttypische Bakterien (KG1) und Hefen (KG7).

Der Vergleich aller 26 Erbsen- und 23 Bohnensorten untereinander zeigt keine nennenswerten Auffälligkeiten. Die Mediane der einzelnen Keimgruppen streuen relativ gering in einem Bereich von einer Zehnerpotenz (ohne Abb.). Es kann somit keine Sorten mit besonders guter oder schlechter mikrobiologischer Qualität herausgehoben werden.

7. Einordnung der Ergebnisse

Im VDLUFA wurden in den letzten 10 Jahren bundesweite Ergebnisse von 65 Planproben an Erbsen und Bohnen aus der amtlichen Futtermittelkontrolle zusammengetragen. Verglichen mit der vorliegenden Studie stimmen die Keimzahlen der Hefen und der produkttypischen Keimgruppen 1 und 4 gut miteinander überein (Tab 1). Auffällig ist jedoch beim VDLUFA-Kollektiv ein deutlich höherer Anteil an Proben mit den Verderb anzeigenden Keimgruppen 2, 3, 5 und

6. Als Ursache kommen vielfältige qualitätsmindernde Faktoren beim Anbau, bei der Ernte, bei der Lagerung und im Handel in Frage.

Es muss auch betont werden, dass die hier untersuchten Proben aus den LSV in Baden-Württemberg nicht die nord- und ostdeutschen klimatischen und bodenphysikalischen Bedingungen mitrepräsentieren.

8. Literaturangaben

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.2, Bestimmung der Keimgehalte an Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Futtermittel, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Methode 28.1.3, Verfahrensanweisung zur Identifizierung von Bakterien, Hefen, Schimmel- und Schwärzepilzen als produkttypische oder verderbanzeigende Indikatorkeime. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Futtermittel, 8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Fütterung heimischer Körnerleguminosen als thermisch behandeltes Gemisch bei langsam wachsenden Masthähnchen

C. Nülken¹, U. Abraham², H. Kluth¹

¹Professur für Tierernährung, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), ²Börde-Kraftkorn-Service GmbH, Gröningen

1. Einleitung

Verfügbare Eiweißfuttermittel sind im ökologischen Landbau gemäß der EG-Verordnungen Nr. 834/2007 und Nr. 889/2008 nur bedingt einsetzbar. Kombinierbare legume Eiweißträger verfügen über eine suboptimale Aminosäurenqualität. Die derzeit unzulässige Ergänzung mit synthetischen Aminosäuren (AS) zur bedarfsdeckenden Versorgung limitierender AS beim Bio-Geflügel (v. a. Methionin) führt bei einem zu hohen Leguminoseneinsatz zu einer Überversorgung mit Rohprotein (XP).

Starke Verwendung findet derzeit Bio-Sojakuchen (Witten et al., 2014). Da hier vor allem auf überregionale Importe zurückgegriffen wird und dabei Restriktionen (z.B. gentechnisch verändertes Material) nicht auszuschließen sind, soll Sojakuchen soweit wie möglich durch ökologisch nachhaltige regionale Substitute ersetzt werden.

Für eine effiziente Rationsgestaltung können heimische Körnerleguminosen einen wichtigen Beitrag leisten. Zu welchen Anteilen ein Gemisch aus nativen (LEGUMI-mix, LGM) bzw. getoasteten Körnerleguminosen (LEGUMI-therm[®], LGT) einer Broilerration unter Einsparung von Sojakuchen (SK) zugesetzt werden kann, soll aus dieser Untersuchung abgeleitet werden.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsmischungen

LGT bezeichnet eine thermisch behandelte (Feuchteconditionierung, Toastung im Hochtemperatur-Kurzzeit-Verfahren) Variante des nativen Gemisches

ökologisch erzeugter Erbsen, Süßlupinen und Ackerbohnen zu gleichen Teilen, hergestellt durch die Börde-Kraftkorn-Service GmbH (D-39397 Gröningen). Das Toasten hat polyfaktorielle Wirkungen an und im Leguminosenkorn.

Tab. 1: Gehalte an Rohnährstoffen und Aminosäuren [g/kg]

	LGM	LGT
Trockenmasse	893	925
Rohasche	31	31
Rohprotein	250	246
Rohfett	21	19
Rohfaser	101	89
Arginin/Cystin/Isoleucin	26,2/3,1/11,4	25,0/3,1/11,3
Leucin/Lysin/Methionin	19,3/17,0/1,9	19,3/16,5/1,9
Phenylalanin/Threonin	11,5/9,4	11,5/9,6
Tryptophan/Valin	2,3/12,5	2,3/12,2

Es wurden 5 pelletierte Versuchsmischungen erstellt (3 mm Matrize). Einer Kontrollvariante mit SK als Hauptproteinquelle wurden 2 Versuchsmischungen gegenübergestellt, die LGT in den Zulagestufen 20 und 30 % enthielten (Tab. 2). Zur Überprüfung des Behandlungseffektes wurde in 2 weiteren Versuchsmischungen LGM in identischen Anteilen zugelegt. Die bedarfsangepassten Zielwerte der Mischungen orientierten sich an den Vorgaben von Schmidt und Bellof (2008).

Tab. 2: Zusammensetzung der Versuchsmischungen je Phase [%]

Phase	Aufzucht			Mast I			Mast II		
LGM/LGT	0	20	30	0	20	30	0	20	30
Weizen	8	0	0	11	6	1	31	16	11
Roggen	0	0	0	5	5	5	10	10	10
Mais	35	31	28	35	30	30	20	25	25
SBK	40	30	23	30	19	13	18	7	2
SBLK	5	5	5	8	8	8	10	10	10
Weitere ¹⁾	13	14	14	14	14	14	14	14	14

¹⁾Maiskleber (5%), Sojaöl (3-4%), Mineralfutter (5%)

LGM: LEGUMI-mix, LGT: LEGUMI-therm®, SBK: Sojabohnenkuchen, SBLK: Sonnenblumenkuchen

2.2 Versuchstiere und Haltung

Für den Versuch wurden 410 Bio-Eintagsküken (Hubbard(ISA)JA757, männlich) in Bodenhaltung aufgestellt. Jeder Versuchsmischung wurden zufällig 10 Versuchsabteile á 7 Tiere sowie ein Reserveabteil á 12 Tiere zugeordnet. Die Fütterung erfolgte in drei Phasen *ad libitum*: Aufzucht (Tag 1-28), Mast I (Tag 29-56), Mast II (Tag 57-84).

2.3 Datenerhebung, Analysen und statistische Auswertung

Die Erfassung der Futteraufnahme und Lebendmasse erfolgte wöchentlich abteilweise. Die Roh Nährstoff- und Aminosäureanalytik wurde nach etablierten Methoden durchgeführt (VDLUFA, 1976). Die Angaben zu den Leistungsparametern (Futteraufnahme, Lebendmasse und Futteraufwand) wurden auf signifikante Mittelwertdifferenzen zwischen der Kontrolle und der jeweiligen Fütterungsvariante über den Dunnett-Test (2-seitig) mit $p < 0,05$ als Signifikanzgrenze geprüft (Statistica für Windows, Version 10.0).

3. Ergebnisse und Diskussion

Während der Aufzucht schwankte die tägliche Futteraufnahme für die Kontrollvariante in einem üblichen Bereich von durchschnittlich 48 g (Tab. 3). Ein vergleichbares Futteraufnahmeniveau wurde für nahezu alle Varianten mit den Körnerleguminosen ermittelt. Eine Ausnahme bildete die Fütterungsvariante mit 30 % des nativen LGM. Hier ergab sich anfänglich eine signifikante ($p < 0,05$) und bis zur Mast I eine tendenziell geminderte Futteraufnahme.

Insgesamt zeigten sich bis auf eine Ausnahme keine signifikanten Differenzen, sodass von einem einheitlichen Futteraufnahmeniveau von 146-154 und 183-194 g/d in der Mast I und Mast II ausgegangen werden kann. Der phasenweise Vergleich wies eine signifikant verbesserte Futteraufnahme in der Mast II für die Variante mit 20 % des getoasteten LGT aus ($p < 0,05$, Tab. 3). Auch Schmidt und Bellof (2008) ermittelten für die ersten beiden Phasen identische tägliche Futteraufnahmemengen; ein höheres Niveau zeigte sich für die Mast II. Ungünstige klimatische Bedingungen in der 11. Woche führten zu einem Rückgang der Futteraufnahme und hohen Tierverlusten (8 %). Betroffene Abteile wurden durch Tiere aus entsprechenden Reserveabteilen aufgefüllt.

Tab. 3: Futteraufnahme [g/d], Lebendmasse [g] und Futteraufwand [kg/kg] in Abhängigkeit von der Fütterungsvariante (Mittelwert, s, n = 10)

Parameter	Kontrolle	20%LGM	20%LGT	30%LGM	30%LGT	p-Wert
Futteraufnahme						
Aufzucht	48	2,4	48	45*	1,8	0,002
MastI	147	7,9	154	146	5,3	0,080
MastII	183	12,1	194*	187	3,3	0,068
Lebendmasse						
Tag 1	41	1,1	41	41	0,9	0,796
Tag 28	903	31,8	881	842*	35,4	<0,001
Tag 56	2823	80,1	2793	2681*	86,5	<0,001
Tag 84	4404	215,2	4451	4307	98,4	0,012
Futteraufwand						
Aufzucht	1,56	0,026	1,50*	1,57	0,028	<0,001
MastI	2,14	0,047	2,20	2,23*	0,048	0,005
MastII	3,26	0,134	3,23	3,23	0,145	0,492
gesamt	2,43	0,044	2,45	2,49*	0,043	0,050

* kennzeichnend signifikanten Unterschied zur Kontrolle ($p < 0,05$)

LGM: LEGUMI-mix, LGT: LEGUMI-therm®

Für die Kontrollvariante wurden in der Aufzuchtphase Lebendmassen zwischen 41 und 903 g ermittelt (Tab. 3). Die anfänglich geringere Futteraufnahme bei 30 % LGM bewirkte bis zur Mast II auch die geringsten Lebendmassen. Dies änderte sich nicht mehr bis zum Versuchsende, auch wenn die Futteraufnahme z. T. tendenziell verbessert war.

Beim Einsatz von 20 % des getoasteten LGT steht der positive Trend in der Futteraufnahme in Übereinstimmung mit einer verbesserten Lebendmasseentwicklung.

Die Variante mit 30 % des getoasteten LGT führte nicht zu der erwarteten Erhöhung der Lebendmasse. Ursachen dafür können aus dem vorliegenden Fütterungsversuch nicht abgeleitet werden.

Der Futteraufwand lag auf einem vergleichsweise geringen Niveau bei einer erwartungsgemäßen Erhöhung mit voranschreitender Mast von 1,56 auf 3,26 kg/kg für die Kontrollvariante. Während sich für die phasenweise Betrachtung verglichen mit der Kontrolle der Futteraufwand bei Zusatz der Legumino-sengemische z. T. verminderte ($p < 0,05$), war ein gegenteiliger Effekt vor allem bei der 30 %-igen Zulage in der Mast I zu erkennen (Tab. 3). Den gesamten Versuchszeitraum betrachtend, ergab lediglich die Erhöhung der Zulage der Gemische auf 30 % einen signifikanten Anstieg des Futteraufwands um 0,06 kg/kg (Tab. 3).

Farrell et al. (1999) prüften zu welchen Anteilen Erbsen, Süßlupinen oder Ackerbohnen einer Broilerration maximal zugesetzt werden können, ohne nachteilige Effekte auf die Leistung hervorzurufen. Die Autoren halten 30 % Erbsen, 20 % Ackerbohnen sowie weniger als 10 % Süßlupinen im Alleinfutter für empfehlenswert.

Olkowski et al. (2005) wiesen bei 40 % Lupinen in der Ration eine Verringerung von Futteraufnahme und Wachstum bei Broilern nach, wobei eine Verbesserung des letzteren über eine Schälung erreicht werden konnte. Antinutritive Inhaltsstoffe können die Fütterungstauglichkeit vermindern (Jeroch et al., 2013). Zusätzlich zur mechanischen Behandlung sind Tannine, Trypsininhibitoren sowie Oligosaccharide nach Khat tab und Arntfield (2009) über eine hydrothermische Behandlung deutlich reduzierbar und ermöglichen eine Verbesserung der Fütterungstauglichkeit.

4. Fazit

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass ein Einsatz von 20% des Leguminosengemisches aus Erbsen, Süßlupinen und Ackerbohnen, unabhängig von der Behandlung, möglich ist. Die thermische Behandlung führte nur bei 20% LEGUMI-therm® im Alleinfutter zu signifikant höheren Futteraufnahmen und Lebendmassen. Allerdings hatte dies keine Wirkung auf den Futteraufwand.

Der Sojakuchen in den Kontrollvarianten konnte zu Anteilen von bis zu 42% in der Aufzucht und bis zu 59% in der Mast bei vergleichbaren Tierleistungen eingespart werden.

5. Literaturangaben

- Farrell, D.J., Perez-Maldonado, R.A., Mannion, P.F., 1999: Optimum inclusion of field peas, faba beans, chick peas and sweet lupins in poultry diets. II. Broiler experiments. *Brit. Poult. Sci.* 40, 674-680.
- Jeroch, H., Simon, A., Zentek, J., 2013: Geflügelernährung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, S. 166.
- Khattab, R.Y., Arntfield, S.D., 2009: Nutritional quality of legume seeds as affected by some physical treatments 2. Antinutritional factors. *LWT - Food Science and Technology* 42, 1113-1118.
- Olkowski, B.I., Classen, H.L., Wojnarowicz, C., Olkowski, A.A., 2005: Feeding high levels of lupine seeds to broiler chickens: Plasma micronutrient status in the context of digesta viscosity and morphometric and ultrastructural changes in the gastrointestinal tract. *Poult. Sci.* 84: 1707-1715.
- Schmidt, E., Bellof, G., 2008: Rationsgestaltung und Eignung unterschiedlicher Herkünfte für die ökologische Hähnchenmast. <http://forschung.oekolandbau.de> (BÖL-Bericht-ID 15871).
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 3.1 Feuchtigkeit. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 4.1.1 Rohprotein, Kjeldahlabschluss. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., 3. Ergänzungslieferung 1993, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 5.1.1 Rohfett. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., 2. Ergänzungslieferung 1988, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 6.1.1 Rohfaser. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., 3. Ergänzungslieferung 1993, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 8.1 Rohasche. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methode 4.11.1 Bestimmung von Aminosäuren. In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., 4. Ergänzungslieferung 1997, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Witten, S., Paulsen, H.M., Weißmann, F., Bussemas, R., 2014: Praxisbefragung zur Aminosäurelücke und praktische Möglichkeiten zur Verbesserung der Eiweißversorgung der Monogastrier in der Fütterung im Ökologischen Landbau. <http://www.ti.bund.de> (DOI:10.3220/WP_23_2014).

6. Danksagung

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

Untersuchungen zur Methioninwirksamkeit im Masthähnchenfutter – I. Einfluss steigender Methioningehalte und veränderter Methionin zu Cystin-Verhältnisse

A. Sünder, C. Wecke, F. Liebert

Georg-August-Universität, Department für Nutztierwissenschaften, Tierernährungsphysiologie, Göttingen

1. Einleitung

Es gibt nur sehr wenige Studien, die sich schlüssig mit dem optimalen Verhältnis der schwefelhaltigen Aminosäuren (SAA) Methionin (Met) und Cystein (Cys) zueinander auseinandersetzen. Vorliegende Arbeiten variieren in ihren Aussagen erheblich (Kalinowski et al., 2003). Während Baker et al. (1996) einen höheren Cys-Anteil empfehlen (52 %) präferieren sowohl Wheeler und Latshaw (1981) als auch das NRC (1994) einen höheren Met-Anteil (57 % bzw. 53 %). Weiterhin ist aus älteren Studien bekannt, dass Broilerküken in den ersten sechs Wochen zirka 10 % ihrer täglichen Protein- bzw. AA-Versorgung für die Ausbildung des Federkleides benötigen (Stilborn et al., 1994; Hancock et al., 1995). Ebenso bekannt ist ein sehr hoher Cys-Verbrauch für die Federbildung (Fisher et al., 1981; Stilborn et al., 1997), resultierend aus der AA-Zusammensetzung des Federproteins (6,87 g Cys/16 g N; 0,47 g Met/16 g N) beim 36 Tage alten Masthähnchen (Wecke et al., 2015). Ein Defizit in der Cys-Versorgung bewirkt aber eher eine Verminderung des Brustfleischansatzes als verminderte Ausbildung des Federkleides (Kalinowski et al., 2003). Daraus lässt sich auf eine hohe nutritive Priorisierung der Federproteinsynthese und in Konsequenz auch auf einen verstärkten Katabolismus von Met zu Cys schließen. Damit wiederum steht Met in geringerem Umfang für andere Körperproteinsynthesen zur Verfügung.

Ziel der durchgeführten Studie war die Ermittlung der Met-Wirksamkeit bei Masthähnchen in Abhängigkeit von Met-Gehalt und Met:Cys-Verhältnis im Futter.

2. Material und Methoden

Es wurden ein **Wachstumsversuch (Exp. 1)** mit insgesamt 210 männlichen Masthähnchen der Genetik Ross 308 in vier Gruppen mit sechs (Basisdiät I) bzw. 12 Wiederholungen (Diäten II–IV) sowie fünf Tieren pro Wiederholung über eine Mastdauer von 35 Tagen sowie ein **N-Bilanzversuch (Exp. 2)** mit jeweils 36 Tieren durchgeführt. Beide Experimente unterteilten sich in eine Starter-Phase (Exp. 1: Tag 1-20, Exp. 2: Tag 10-20) und eine Grower-Phase (Exp. 1: Tag 21-35, Exp. 2: Tag 25-35). Die Basisdiät I für beide Experimente war Met-limitierend auf Grundlage von Mais, Erbsen, Sojaextraktionsschrot, Sojaproteinkonzentrat gestaltet (Tab. 1).

Tab. 1: Zusammensetzung [%] der Basisdiät für Starter- und Grower-Phase

Futterkomponenten	Starter	Grower
Mais	47	43,24
Erbsen	15	13,8
Sojaextraktionsschrot	15	13,8
Sojaproteinkonzentrat	8	7,36
Sojaöl	3,5	5,6
Monocalciumphosphat	1,15	1,058
CaCO ₃	1,38	1,05
Prämix ¹	1	1
NaCl	0,14	0,13
Weizenstärke	7,558	12,572
L-Lys·HCl	0,241	0,222
L-Thr	0,002	0,026
L-Trp	0,029	0,004

¹Premix (kg⁻¹ Futtermischung): 2,1 g Ca, 0,8 g Na, 5 000 IU Vitamin A, 1 000 IU Vitamin D₃, 30 mg Vitamin E, 2,6 mg Vitamin B₁, 4,8 mg Vitamin B₂, 3,2 mg Vitamin B₆, 20 µg Vitamin B₁₂, 3 mg Vitamin K₃, 50 mg Nikotinsäure, 10 mg Ca-Pantothentat, 0,9 mg Folsäure, 100 µg Biotin, 1 000 mg Cholinchlorid, 50 mg Fe, 15 mg Cu, 120 mg Mn, 70 mg Zn, 1,4 mg I, 0,28 mg Se, 0,55 mg Co, 100 mg Butylhydroxytoluol

Weizenquellstärke diente als Austauschkomponente für die Met-Supplementationen. Die Zusammensetzung in der Grower-Phase resultiert aus der Anpassung an die Protein- und Energieversorgung für diesen Mastabschnitt (Starter-Phase: 19,6% XP, 12,7 MJ/kg; Grower-Phase: 18,1% XP, 13,3 MJ/kg). Steigende Met-Gaben sowie eine Cys-Zulage ergaben für die vier Versuchsgruppen im Mittel für Starter- und Grower-Phase gestaffelte Met:Cys-Verhältnisse (Tab. 2) nahe der eingangs zitierten Studien.

Tab. 2: Met- und Cys-Konzentrationen sowie Met:Cys-Verhältnisse der Versuchsdiäten (Diät I-IV) für Starter- und Grower-Phase (gemittelt)

Futtermischung		I	II	III	IV
Met/Cys-Zulage	[%]	-/-	0,075/-	0,15/-	0,15/0,16
Met/Cys-Konz.	[%]	0,27/0,29	0,34/0,29	0,41/0,29	0,41/0,45
Met/Cys-Konz.	[g/16g N]	1,4/1,5	1,8/1,5	2,2/1,5	2,2/2,4
Met:Cys-Verhältnis	[%]	48:52	54:46	59:41	48:52

Während des Wachstumsversuches erfolgte die wöchentliche Erfassung von Futteraufnahme (FI) und Lebendmasse (LM) woraus tägliche Lebendmassenzunahme (LMZ) und Futteraufwand (FA) kalkuliert wurden. Im N-Bilanzversuch wurde die tägliche tierindividuelle Futteraufnahme erfasst sowie die tierindividuellen Exkremete zweimal täglich gesammelt. Nach Abschluss des Versuches wurde in Futter und Exkrementen der N-Gehalt mittels Dumas-Methode (VDLUFA, 2004) analysiert.

Mit Hilfe des exponentiellen N-Verwertungsmodells (Liebert, 2015, Wecke und Liebert, 2013) wurden aus den N-Bilanzdaten die Proteinqualität (b), die Met-Wirksamkeit (bc^{-1}) sowie relative Veränderungen für die verschiedenen Met:Cys-Verhältnisse ermittelt.

$$NR = NR_{\max} T(1 - e^{-bNI})$$

$$ND = NR_{\max} T(1 - e^{-bNI}) - NMR$$

$$b = [\ln NR_{\max} T - \ln(NR_{\max} T - NR)] / NI$$

mit:

NR =	tägliche N-Retention (N-Bilanz + NMR)	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]
ND =	tägliche N-Bilanz	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]
NMR =	täglicher N-Erhaltungsbedarf	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]
NR _{max} T =	theoretisches, maximales tägliches N-Retentionsvermögen	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]
NI =	tägliche N-Aufnahme	[mg/LM _{kg} ^{0,67}]
b =	Anstieg der N-Retentionsfunktion (Modellparameter für die Proteinqualität, unabhängig von NI)	
e =	Basis des natürlichen Logarithmus (ln)	
c =	AA-Konzentration	[g/16 g N]

Auf der Basis früherer Studien (Wecke und Liebert, 2013) wurde für die Berechnung von b ein NMR = 221 [mg/LM_{kg}^{0,67}] (altersunabhängig) sowie ein NR_{max}T = 3 884 [mg/LM_{kg}^{0,67}] in der Starter-Phase und ein NR_{max}T = 2 972 [mg/LM_{kg}^{0,67}] in der Grower-Phase zugrunde gelegt.

Für eine exakte Einstellung der AA-Gehalte erfolgte vor Versuchsbeginn in den Einzelfuttermitteln eine Analyse der AA-Gehalte und nach Fertigstellung der Mischungen eine analytische Kontrolle der Zulage an kristallinen AA (VO(EG)152_2009). Die statistische Auswertung erfolgte mittels einfaktorier ANOVA (IBM SPSS Statistics, Vers. 23; Signifikanzgrenze: p < 0,05).

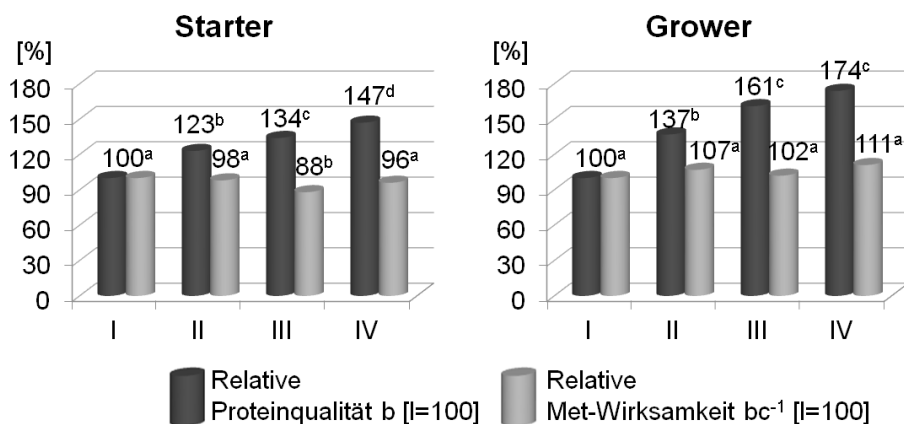
3. Ergebnisse und Diskussion

Im Wachstumsversuch (kumulativ über alle fünf Versuchswochen) zeigte sich bei allen Leistungsparametern erwartungsgemäß ein signifikanter Anstieg mit steigenden Met-Konzentrationen (Diät I-III). Dagegen hatte die Cys-Zulage (Diät IV) bei der Futteraufnahme keinen, bei der Endlebensmasse und Lebendmassezunahme nur einen numerischen Effekt. Bei der Futtermittelverwertung konnte eine signifikante Verbesserung durch die Zulage von Cys festgestellt werden (Tab. 3).

Tab. 3: Leistungsparameter des Wachstumsversuches (kumulativ) in Abhängigkeit von Met-Zulage und Met:Cys-Verhältnis

	FI [g/d]	LM [g]	LMZ [g/d]	FA [g/g]
Diät I	63,3±7,1 ^a	1057±198 ^a	28,7±5,7 ^a	2,25±0,25 ^a
Diät II	89,4±6,9 ^b	1894±216 ^b	52,6±6,2 ^b	1,71±0,11 ^b
Diät III	101,5±2,8 ^c	2403±89 ^c	67,2±2,5 ^c	1,51±0,03 ^c
Diät IV	101,3±3,5 ^c	2499±85 ^c	69,9±2,4 ^c	1,45±0,04 ^d

Noch deutlicher zeigte sich der Einfluss auf die relative Proteinqualität (b; Diät I = 100 %; Abb. 1). Sowohl in Starter- als auch Grower-Phase konnte die Proteinqualität durch die Met-Zulage signifikant verbessert werden. Auch die Cys-Zulage zeigte in der Starter-Phase eine weitere, signifikante Verbesserung der Proteinqualität. In der Grower-Phase war nur noch eine Tendenz zu besserer Proteinqualität erkennbar.

Abb. 1: Relative Proteinqualität (b) und relative Met-Wirksamkeit (bc⁻¹) in Abhängigkeit von Met-Zulage und Met:Cys-Verhältnis

Auffällig ist der signifikante Rückgang der relativen Met-Wirksamkeit (bc⁻¹; Diät I = 100 %; Abb. 1) in der Starter-Phase in Diät III. In Diät III liegt offensichtlich ein suboptimales Verhältnis der SAA zueinander (Met:Cys = 59:41) vor. Met könnte verstärkt zur Cys-Bedarfsdeckung herangezogen worden sein. Dass dieser Effekt in der Grower-Phase nicht zu beobachten war, legt die Vermutung nahe, dass entgegen der Aussage von Stilborn et al. (1994) und Hancock et al. (1995) nicht in den ersten sechs Wochen, sondern vor allem in den ersten drei Wochen vermehrt Cys für die Federproteinsynthese benötigt wird. Diese Ver-

mutung steht nicht ganz im Einklang mit aktuellen Studien (Wecke et al., 2015), die auch in den Wochen vier und fünf eine weitere Zunahme des prozentualen Anteils des Federkleides am Gesamttier feststellten.

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Met-Zulage erwartungsgemäß zu einer Leistungsverbesserung und besseren Proteinqualität geführt hat. Eine Ergänzung der Diät mit Cys führte zu einer weiteren signifikanten Reduktion des Futteraufwandes sowie einer signifikant verbesserten Proteinqualität in der Starter-Phase und einer tendenziell verbesserten Proteinqualität in der Grower-Phase. Ein Rückgang der Met-Wirksamkeit bei einem Met:Cys-Verhältnis von 59:41 legt die Schlussfolgerung nahe, dass ein suboptimales Verhältnis der SAA zueinander vorlag. Dass sich dieser Effekt in der Grower-Phase nicht signifikant zeigte, bedarf weiterer Klärung.

5. Literaturangaben

- Baker, D.H., Fernandez, S.R., Webel, D.M., Parsons, C.M., 1996: Sulfur amino acid requirement and cystine replacement value of broiler chicks during the period three to six weeks posthatching. *Poult. Sci.* 75, 737-742.
- Fisher, M.-L., Leeson, S., Morrison, W.D., Summers, J.D., 1981: Feather growth and feather composition of broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.* 61, 769-773.
- Hancock, C.E., Bradford, G.D., Emmans, G.C., Gous, R. M., 1995: The evaluation of the growth parameters of six strains of commercial broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 36, 247-264.
- Kalinowski, A., Moran, E.T. Jr., Wyatt, C.L., 2003: Methionine and Cystine Requirements of Slow- and Fast-Feathering Broiler Males from Three to Six Weeks of Age. *Poult. Sci.* 82, 1428-1437.
- Liebert, F., 2015: In: *Nutritional Modelling for Pigs and Poultry*, CABI Publ. Wallingford, Oxfordshire, UK, 73-87.
- NRC, National Research Council, 1994: *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.
- Stilborn, H.L., Moran, E.T., Jr., Gous, R.M., Harrison, M.D., 1994: Experimental data for evaluating broiler models. *J. Appl. Poult. Res.* 3, 379-390.

- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2004: Methode 4.1.2 Bestimmung von Rohprotein mittels Dumasverbrennungsmethode In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. , 3. Aufl., VDLUFA-Verlag Darmstadt.
- VO(EG)152_2009; Anh. III, F: Bestimmung des Gehalts an Aminosäuren (außer Tryptophan).
- Wecke, C., Khan, D.R., Sünder, A., Liebert, F., 2015: Aminosäuregehalte im Körperprotein von Masthähnchen in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter. 13. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Wittenberg, im Druck.
- Wecke, C., Liebert, F., 2013: Improving the Reliability of Optimal In-Feed Amino Acid Ratios Based on Individual Amino Acid Efficiency Data from NBilanz Studies in Growing Chicken. *Animals* 3, 558-573.
- Wheeler, K.B., Latshaw, J.D., 1981: Sulfur amino acid requirements and interactions in broilers during two growth periods. *Poult. Sci.* 60, 228-236.

Untersuchungen zur Methioninwirksamkeit im Masthähnchenfutter – II. Einfluss steigender Cystin-Gehalte bei konstantem Methionin zu Cystin-Verhältnis

C. Wecke, A. Sünder, F. Liebert

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Nutztierwissenschaften, Lehrstuhl für Tierernährung, Göttingen

1. Einleitung

Bei der Umsetzung ressourcenschonender und umweltverträglicher Fütterungskonzepte in Betrieben der Geflügelhaltung kommt es zunehmend darauf an, die Aminosäuren(AS)-Versorgung durch Vermeidung von Mangel bzw. durch Minimierung von Überschüssen einzelner AS so zu gestalten, dass sie den Bedarfsanforderungen der Tiere möglichst punktgenau gerecht werden. Durch computergestützte Optimierung besteht die Möglichkeit, die verfügbaren wirtschaftseigenen und Zukaufsfuttermittel in Verbindung mit supplementierten Futter-AS so zu kombinieren, dass im Endergebnis AS-Gehalte in der gewünschten Mischung vorliegen, die dem gegenwärtigen Kenntnisstand zum AS-Bedarf und zu den idealen AS-Relationen im Broilermastfutter (Wecke und Liebert, 2013a) in quantitativer Hinsicht sehr nahe kommen. Auf diese Weise lassen sich – wie bereits berichtet (Liebert und Wecke, 2012; Wecke und Liebert, 2013b) – nicht nur die Proteingehalte im Futter deutlich absenken und beachtliche Mengen an Eiweißfuttermitteln einsparen, sondern auch Stoffwechselbelastungen der Tiere einschränken (Tierwohl) einschließlich Umweltbelastungen durch reduzierte tierische N-Ausscheidungen erheblich minimieren.

Exakte Kenntnisse zum AS-Bedarf in Abhängigkeit von Genotyp, Geschlecht, Alter und Leistung (Proteinansatz) sowie zu den AS-Gehalten in den Futterkomponenten und hergestellten Mischungen sind hierbei erforderlich, ebenso wie Kenntnisse über Faktoren, die die Wirksamkeit von Futter-AS auf den Ebenen von Verdaulichkeit und intermediärer Verwertung einschränken.

2. Hintergrund

In der Geflügelfütterung sind neben Lysin vor allem die schwefelhaltigen Aminosäuren (SAS) Methionin (Met) und Cystin (Cys) von besonderer Bedeutung. Die in der Literatur mitgeteilten Angaben zum Met- bzw. SAS-Bedarf sowie zum Met:Cys-Verhältnis (Wecke und Liebert, 2013a; Khan et al., 2015; Sünder et al., 2015) unterliegen einer erheblichen Schwankungsbreite und standen bisher nicht im näheren Focus unserer Untersuchungen. Bekanntlich ist Cys mit relativ hohem Anteil im Federprotein vertreten (Wecke et al., 2015). Somit kann, den stoffwechselphysiologischen Gesetzmäßigkeiten folgend davon ausgegangen werden, dass bei zu geringem Cys-Gehalt im Geflügelfutter Met abgebaut und für die Cys-Bereitstellung verwendet wird. Demnach steht weniger Met sowohl für sonstige Körperproteinsynthesen als auch für weitere metabolische Funktionen zur Verfügung. Ergänzend zu unserem ersten Versuchsteil (Sünder et al., 2015) sollte in vorliegenden Untersuchungen geprüft werden, welchen Einfluss steigende Cys-Zulagen auf die Futterproteinqualität, die Met-Wirksamkeit und die biologischen Leistungen von Masthähnchen haben.

3. Material und Methoden

Durchgeführt wurden N-Bilanz- und Wachstumsversuche an männlichen Masthähnchen (ROSS 308) während der Starter- und Growerperiode mit einer Met-limitierten Futtermischung (I) aus Mais, Erbsen, Sojaschrot und Sojaproteinkonzentrat, die stufenweise mit Cys und L- bzw. DL-Met unter Beibehaltung eines konstanten Met:Cys-Verhältnisses (Mischungen I-III) ergänzt wurde (Tab. 1). Darüber hinaus sollte untersucht werden, ob sich eine zusätzliche Erhöhung des Cys-Gehaltes in Mischung IV auf den N-Stoffwechsel und die Mastleistung der Tiere auswirkt. Da sich bei den Ergebnissen innerhalb beider Versuche und Altersperioden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Met-Quellen nachweisen ließen (Liebert et al., 2015), wurden die Daten je Met-Zulagestufe zusammengefasst. Weitere Ergänzungen von Futteramino-säuren wurden vorgenommen, um die Relationen der wichtigsten unentbehrlichen AS in den Mischungen beider Wachstumsperioden an die ideale AS-Verhältnisse (Wecke und Liebert, 2013; Wecke et al., 2013) anzupassen und gleichzeitig

Tab. 1: Zusammensetzung der Futtermischungen (g/kg)

Futtermischung	Starterperiode (1.-3. Lebenswoche)				Growerperiode (4.-5. Lebenswoche)			
	I 45:55	II 45:55	III 45:55	IV 40:60	I 45:55	II 45:55	III 45:55	IV 40:60
Met:Cys	470	470	470	470	432,4	432,4	432,4	432,4
Mais	150	150	150	150	138,0	138,0	138,0	138,0
Erbsen	150	150	150	150	138,0	138,0	138,0	138,0
Sojaschrot	80	80	80	80	73,6	73,6	73,6	73,6
SPC ¹	35	35	35	35	56,0	56,0	56,0	56,0
Sojaöl	73,79	71,69	69,59	67,89	123,98	121,89	116,84	118,24
Weizenquellstärke	36,70	36,70	36,70	36,70	32,38	32,38	32,38	32,38
Prämix ²	3,70	3,70	3,70	3,70	3,50	3,50	3,50	3,50
L-Lysin·HCl	-	0,75	1,50	1,50	-	0,75	1,50	1,50
L-/DL-Methionin	0,50	1,85	3,20	4,90	0,46	1,80	3,10	4,70
L-Cystein·HCl x H ₂ O	0,02	0,02	0,02	0,02	0,26	0,26	0,26	0,26
L-Threonin	0,29	0,29	0,29	0,29	0,04	0,04	0,04	0,04
L-Tryptophan	-	-	-	-	1,38	1,38	1,38	1,38
L-Valin	12,77	12,75	12,74	12,73	13,36	13,34	13,29	13,32
ME (MJ/kg)	196,5	197,6	198,6	199,5	181,8	182,9	184,0	184,8
Rohprotein	13,50	13,50	13,50	13,50	12,50	12,50	12,50	12,50
Lysin	2,75	3,49	4,23	4,23	2,53	3,27	4,01	4,01
Methionin	3,33	4,24	5,16	6,32	3,06	3,97	4,86	5,94
Cystin	7,50	7,50	7,50	7,50	7,13	7,13	7,13	7,13
Threonin	2,35	2,35	2,35	2,35	1,94	1,94	1,94	1,94
Tryptophan								

¹Sojaproteinkonzentrat, ²Mineralische Einzelfuttermittel plus Spurenelement-Vitamin-Vormischung

sicher zu stellen, dass Met als limitierende AS eingestellt war. In der Growerperiode konnte das Mischungsverhältnis der Einzelfuttertkomponenten durch Verdünnung der Startermischungen mit Weizenquellstärke konstant gehalten werden.

Die N-Bilanzversuche (5-tägige Vorperiode und zwei konsekutive Exkrement-Sammelperioden zu je 5 Tagen) wurden vom 5. bis 20. Lebenstag (Starterperiode) bzw. vom 20. bis 35. Lebenstag (Growerperiode) an jeweils 36 Tieren nach den allgemein gültigen Standards durchgeführt. Die Bewertung der Futterproteinqualität (b) und Met-Wirksamkeit (bc^{-1}) erfolgte auf der Grundlage eines exponentiellen N-Verwertungsmodells (Liebert, 2015).

In den Wachstumsversuchen kamen insgesamt 210 Tiere (42 Gruppen á 5 Tiere, 6 Wiederholungen mit Mischung I und je 12 Wiederholungen mit Mischungen II-IV) vom 1.-36. Lebenstag zum Einsatz. Alle Tiere wurden zu Versuchsbeginn einzeln gewogen und zufällig auf die Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Masthähnchen hatten unter Bodenhaltungsbedingungen mit Einstreu (Sägespäne) freien Zutritt zu Futter und Tränkwasser. Die Kontrolle von individueller Lebendmasse(LM)-Zunahme und Futteraufnahme je Gruppe erfolgte wöchentlich. Die statistische Signifikanzprüfung der Messdaten wurde mittels einfaktorieller ANOVA unter Verwendung des Tukey-Tests mit einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ vorgenommen. In den Ergebnistabellen werden signifikante Differenzen zwischen den aufgeführten Mittelwerten durch unterschiedliche Indizes gekennzeichnet.

4. Ergebnisse

Während der N-Bilanzversuche wurde die Aufnahme des semi-ad-libitum angebotenen Futters nach stufenweiser Ergänzung beider schwefelhaltiger Aminosäuren signifikant verbessert (Tab. 2). Im Vergleich zur Kontrollgruppe I erhöhte sich der Trockensubstanz (TS)-Verzehr in den Gruppen II und III um ca. 90 % (Starterperiode) bzw. um mehr als 60 % (Growerperiode). In deren Folge reagierten die Tiere mit gesteigertem Wachstum, belegt durch signifikant höhere mittlere Lebendmassen. Die zusätzliche Anhebung der Cys-Konzentration in Mischung IV hatte dagegen in beiden Wachstumsperioden keinen Effekt auf Futterverzehr und LM-Entwicklung der Masthähnchen.

Durch den abgestuften SAS-Zusatz wurde der Modellparameters b als Bewertungsmaßstab für die Futterproteinqualität in beiden Altersperioden signifikant aufgewertet. Dabei war der Effekt, gemessen an der relativen Erhöhung gegenüber Mischung I (100 %), in der Growerperiode (165 %) deutlicher ausgeprägt als in der Starterperiode (127 %). Die zusätzliche Erhöhung der Cys-Konzentration (Mischung IV gegenüber III) führte in beiden Versuchsperioden zu keiner weiteren Proteinqualitätsverbesserung.

Tab.2: Ergebnisse der N-Bilanzversuche an Masthähnchen

Futtermischung	I	II	III	IV
Met:Cys(% der SAS)	45:55	45:55	45:55	40:60
Met-Gehalt (g/16gN)	1,4	1,8	2,2	2,2
Cys-Gehalt (g/16gN)	1,7	2,2	2,6	3,2
<i>Starterperiode</i>				
Mittlere LM (g)	253 ^a	489 ^b	519 ^b	511 ^b
TS-Verzehr (g/Tag)	30,1 ^a	56,9 ^b	58,0 ^b	59,2 ^b
Proteinqualität (b)	256 ^a	304 ^b	326 ^c	328 ^c
	(100)	(119)	(127)	(128)
<i>Met-Wirksamkeit (bc⁻¹)</i>	183 ^a	172 ^b	153 ^c	155 ^c
	(100)	(94)	(84)	(85)
<i>Growerperiode</i>				
Mittlere LM (g)	1054 ^a	1561 ^b	1570 ^b	1544 ^b
TS-Verzehr (g/Tag)	79,1 ^a	130,1 ^b	128,3 ^b	124,9 ^b
Proteinqualität (b)	340 ^a	487 ^b	560 ^c	556 ^c
	(100)	(143)	(165)	(164)
<i>Met-Wirksamkeit (bc⁻¹)</i>	245 ^a	272 ^b	257 ^{ab}	256 ^{ab}
	(100)	(111)	(105)	(104)

In der Starterperiode wurde ein signifikanter Rückgang der Met-Wirksamkeit (bc^{-1}) um 6 % (Mischung II) bzw. 16 % (Mischung III) mit Erhöhung der SAS-Zulagen beobachtet. Demgegenüber konnte in der Growerperiode ein signifikanter (Mischung II) bzw. numerischer Anstieg (Mischung III) der Met-Wirksamkeit festgestellt werden. In Übereinstimmung mit den anderen Ergebnisdaten wirkte sich der erhöhte Cys-Gehalt in Mischung IV ebenfalls nicht auf die gemessene Met-Wirksamkeit aus.

Die aus den durchgeführten Wachstumsversuchen abgeleiteten Daten bestätigten die Ergebnisse der N-Bilanzversuche. Demnach wurden die Leistungs-

parameter der Broiler im Verlauf der gesamten Mastperiode (1.-36. Lebenstag) mit zunehmender Konzentration beider SAS in den Mischungen **I-III** signifikant verbessert (Tab. 3). Die zusätzliche Anhebung des Cys-Gehaltes in Mischung **IV** beeinflusste weder den Futterverzehr noch die Zunahmen und den Futteraufwand ($p > 0,05$). Im Vergleich zu Mischung **III** wurden in der Tendenz eher ungünstigere Werte erhalten.

Tab. 3: Ergebnisse der Wachstumsversuche an Masthähnchen

Futtermischung	I	II	III	IV
Met : Cys (% der SAS)	45:55	45:55	45:55	40:60
Met-Gehalt (g/16gN)	1,4	1,8	2,2	2,2
Cys-Gehalt (g/16gN)	1,7	2,2	2,6	3,2
Anfangsmasse (g)	52,1	52,0	52,0	52,0
Endmasse (g)	1143 ^a	2379 ^b	2529 ^c	2464 ^{bc}
Futterverzehr (g/Tag)	61,1 ^a	102,6 ^b	102,0 ^b	100,2 ^b
LM-Zunahme (g/Tag)	31,2 ^a	66,5 ^b	70,8 ^c	68,9 ^{bc}
Futteraufwand (kg/kg)	1,96 ^a	1,54 ^b	1,44 ^c	1,45 ^c

5. Diskussion

Die in beiden Altersabschnitten nachgewiesene Verbesserung der Futterproteinqualität als Folge der Anhebung der SAS-Konzentration im Versuchsfutter belegt die limitierende Stellung der SAS, insbesondere von Met als unentbehrliche AS. Der im Starterbereich beobachtete Rückgang der Met-Wirksamkeit in den Mischungen **II-IV** mit Met:Cys-Verhältnissen von 45:55 bzw. 40:60 deutet darauf hin, dass für diesen Altersabschnitt offensichtlich ein Überangebot an Cys vorliegt. Nach unseren aktuellen Versuchsergebnissen (Khan et al., 2015; Sünder et al., 2015) waren in Met limitierten Futtermischungen bei Cys-Anteilen zwischen 46 und 52 % der Gesamt-SAS dagegen keine nachteiligen Auswirkungen auf die Met-Wirksamkeit festzustellen. In mehreren Publikationen (Khan et al., 2015) wird von negativen Effekten auf Wachstum und Futterverwertung berichtet, wenn der Cys-Anteil im Starterfutter bei 60 % und höher liegt. Hinsichtlich der Versorgung mit Cys werden von den jüngeren Broilern offenbar geringere Anforderungen gestellt als von den älteren Tieren, die über einen beachtlich höheren Federanteil am Gesamtkörper verfügen (Wecke et al., 2015). Da Cys im Federprotein vergleichsweise zu Met um ein Vielfaches erhöht ist, sind demzufolge Verschiebungen im Met:Cys-Verhältnis zu Güns-

ten von Cys im Verlauf des Wachstums zu erwarten. Wie bereits in unseren vorangehenden Untersuchungen (Khan, et al., 2015; Sünder et al., 2015) und den darin diskutierten Literaturbefunden zum Ausdruck kam, wirkte sich ein den Met-Gehalt übertreffender Cys-Gehalt im Growerfutter vorteilhaft auf die Met-Wirksamkeit und die zootechnischen Leistungen der Masthähnchen aus.

6. Schlussfolgerungen

1) Die altersabhängigen Anforderungen der Masthähnchen an die Versorgung mit Met und Cys im Hinblick auf die optimalen prozentualen Anteile beider AS an der Summe der SAS sind nach derzeit vorliegenden Untersuchungsergebnissen nicht als konstant anzunehmen.

2) Bei den jüngeren Broilern im Starterbereich (bis 2./3. Lebenswoche) wird offensichtlich zunächst ein höherer Met-Anteil für die intensive Körperproteinsynthese beim Wachstum (Verzehnfachung der LM nach 14-16 Tagen) benötigt.

3) Die älteren Tiere stellen dagegen – bedingt durch das ab 2./3. Lebenswoche zunehmende Wachstum des Federkleides – höhere Ansprüche an die Cys-Bereitstellung.

4) Aus unseren bisher durchgeführten Studien sollte nach vorläufiger Einschätzung der Met-Anteil im Starterfutter mindestens 55 % betragen und der Cys-Anteil 45 % nicht unterschreiten. Mit zunehmendem Alter sollte der Cys-Anteil auf max. 55 % (Met:Cys = 45:55) angehoben werden.

5) Weitere klärende Untersuchungen zum Met- bzw. SAS-Bedarf in Abhängigkeit von Alter und Met:Cys-Verhältnis sind unbedingt erforderlich.

7. Literaturangaben

Khan, D.R., Wecke, C., Liebert, F., 2015: An elevated dietary cysteine to methionine ratio does not impact on dietary methionine efficiency and the derived optimal methionine to lysine ratio in diets for meat type chicken. Open J. Anim. Sci. 5, im Druck.

- Liebert, F., 2015: Basics and applications of an exponential nitrogen utilization model ("Goettingen approach") for assessing amino acid requirements in growing pigs and meat type chickens based on dietary amino acid efficiency. In: Sakomura, N.K., Gous, R., Kyriazakis, I., Hauschild L. (Hrsg.): Nutritional Modelling for Pigs and Poultry. CABI Publ. Wallingford, Oxfordshire, UK, 73-87.
- Liebert, F., Wecke, C., 2012: Zur Modellierung von N-Stoffwechselfparametern als Basis für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Ausschöpfungsstrategien für Wachstumspotentiale bei Masthähnchen und Mastschweinen. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 68, 753-759, Kongressband 2012 Passau, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Liebert, F., Wecke, C., Sünder, A., 2015: Besteht Korrekturbedarf bei der optimalen Versorgung von Masthähnchen mit schwefelhaltigen Aminosäuren? Tagungsband 13. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Lutherstadt Wittenberg, im Druck.
- Sünder, A., Wecke, C., Liebert, F., 2015: Untersuchungen zur Methioninwirksamkeit im Masthähnchenfutter – I. Einfluss steigender Methioningehalte und veränderter Methionin zu Cystin-Verhältnisse. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongressband 2015 Göttingen, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, im Druck.
- Wecke, C., Liebert, F., 2013a: Improving the reliability of optimal in-feed amino acid ratios based on individual amino acid efficiency data from N balance studies in growing chicken. *Animals*, 3, 558-573.
- Wecke, C., Liebert, F., 2013b: Umweltverträgliche Protein- und Aminosäureversorgung von Geflügel und Schwein nach dem Konzept des Idealproteins. VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 69, 695-702, Kongressband 2013 Berlin, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Wecke, C., Pastor, A., Liebert, F., 2013: Ideal in-feed amino acid ratios for growing broiler chicken based on individual amino acid efficiency data derived from N balance studies. In: Proceedings of the 19th European Symposium on Poultry Nutrition, Potsdam, File 180, PPII-15, 1-5.
- Wecke, C., Khan, D.R., Sünder, A., Liebert, F., 2015: Aminosäuregehalte im Körperprotein von Masthähnchen in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter. Tagungsband 13. Tagung Schweine- und Geflügelernährung, Lutherstadt Wittenberg, im Druck.

Sortenvergleich von Körnererbsen aus Thüringen für die Schweinefütterung

A. Heinze, K. Rau, E. Herzog

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

Der Einsatz von großkörnigen heimischen Leguminosen wird in der Rinder- und Schweinefütterung als eine Möglichkeit zur Reduzierung der Sojaimporte angesehen und deshalb durch die Anbauförderung im Rahmen der neuen EU-Förderperiode (Greening, KULAP) unterstützt. So konnte in Thüringen die in den letzten Jahren gering ausfallende und stagnierende Anbaufläche dieser Leguminosen von einem Prozent auf diesjährig drei Prozent ausgedehnt werden. Dabei sind die Körnererbsen mit über zwei Drittel Flächenanteil die dominierende Leguminose (TLS, 2015).

Im Nährstoffgehalt der Körnererbsen lassen die lediglich zum Rohprotein (XP) vorliegenden Ergebnisse der Landessortenversuche (Guddat und Schreiber, 2014) beträchtliche Differenzen zwischen einzelnen Sorten erkennen. Die Gehalte liegen zugleich unter den aktuell veröffentlichten Angaben der DLG-Futtermwerttabellen / Schweine (DLG, 2014) und könnten so zur Unterversorgung beim Protein besonders in der Schweinemast durch Einsatzempfehlungen bis zu 40 % in der Endmastration (Hoffmann und Steinhöfel, 2010) führen. Da in der Schweinefütterung die Proteinversorgung auf der ausreichenden Bereitstellung der essentiellen Aminosäuren basiert, war es erforderlich, die in der Praxis angebauten Erbsensorten hinsichtlich dieser Aminosäuren und auch weiterer Inhaltsstoffe zu untersuchen. Von Interesse war außerdem die Ermittlung der Sortenverteilung im Anbau, um davon ausgehend die zu erwartende Futterqualität am Markt abzuleiten.

1. Lösungsweg

In die Untersuchungen wurden Erbsenproben der Erntejahre 2012 bis 2014 aus Praxisbetrieben, verteilt über Thüringen, einbezogen. Dabei kamen insgesamt 68 Erbsenproben zur Auswertung. Nach ggf. erforderlicher Reinigung erfolgte die Analytik der Inhaltsstoffe mit Ermittlung der Umsetzbaren Energie (ME) sowie der beiden Faserfraktionen Neutrale Detergenzfaser (aNDFom) und

Saure Detergenzfaser (ADFom) im Labor der TLL nach VDLUFA Methodenbuch, Band III, Methoden 6.5.1 und 6.5.2. Zur Angabe der Sortenverteilung fand eine Erhebung für den Anbau im Jahr 2014 statt, da hier, anders als 2015, durch ausreichende Saatgutverfügbarkeit eine frei Sortenwahl erfolgte.

2. Ergebnisse

Aus der Erhebung zum sortenbezogenen Anbau ergibt sich für den erfassten Flächenanteil von 70 % der Thüringer Körnererbsenfläche die in Abbildung 1 aufgezeigte Verteilung. Dabei konzentriert sich der Anbau mit nahezu 90 % auf lediglich drei Sorten. Von diesen wird die Sorte Rocket mit etwa der Hälfte des Gesamtflächenanteiles aus ackerbaulicher Sicht bevorzugt. Demgegenüber erfolgte der Anbau sonstiger Sorten (Metaxa, Navarro und Salamanca) auf lediglich 11 % und von Wintererbsen auf nur 1 % der Erbsenfläche.

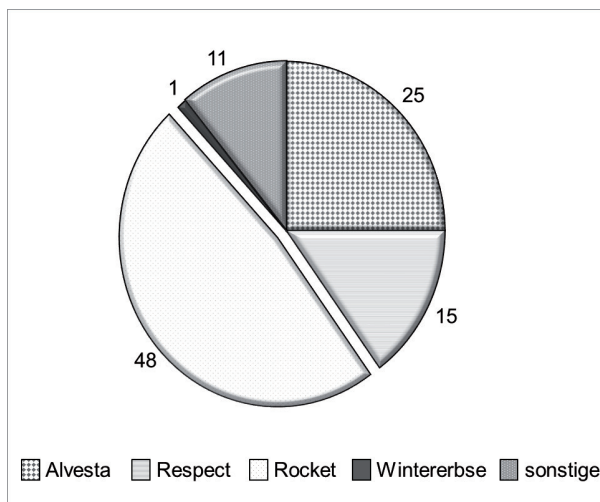


Abb. 1: Sortenverteilung (%) im Thüringer Erbsenanbau für das Jahr 2014

Die ausgewiesenen Vorzugssorten wurden auch am häufigsten bei der betrieblichen Beprobung erfasst und analysiert. Die Tabelle 1 gibt einen Überblick zu den Gehalten an wichtigen Inhaltsstoffen nach Anbaujahren.

Tab.1: Inhaltsstoffe von Erbsensorten (g/kg mit 88 % Trockensubstanz, Mittelwerte)

Sorte	Rocket			Alvesta			Respect		
	Erntejahr	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013
Probenanzahl	10	14	10	3	6	9	3	4	4
Trock.subst.	877	871	872	855	855	867	864	854	860
Rohprotein	181	180	184	194	196	186	199	212	207
Lysin	13,5	14,6	14,6	14,6	15,3	14,6	13,8	15,6	15,4
Methionin	1,7	n.a.	1,6	1,7	n.a.	1,6	1,7	n.a.	1,7
Meth./Cystin	4,3	n.a.	4,8	4,5	n.a.	4,9	4,6	n.a.	5,0
Threonin	6,8	n.a.	7,4	7,1	n.a.	7,2	7,0	n.a.	7,8
Stärke	451	446	420	452	437	432	453	448	420
Rohfett	21	20	20	20	19	19	17	20	18
Rohfaser	60	68	56	61	67	55	56	58	53
aNDFom	n.a.	n.a.	149	n.a.	n.a.	159	n.a.	n.a.	141
ADFom	n.a.	n.a.	71	n.a.	n.a.	67	n.a.	n.a.	64
ME _{Schwein} (MJ)	13,5	13,5	13,5	13,7	13,5	13,5	13,6	13,7	13,6
Calcium	n.a.	1,0	1,1	n.a.	1,0	1,1	n.a.	1,0	1,1
Phosphor	n.a.	4,7	4,1	n.a.	4,5	4,4	n.a.	4,6	4,2

n. a. = nicht analysiert

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Sortenversuche weist die Sorte Respect den höchsten, die Sorte Rocket den niedrigsten Rohprotein (XP)-Gehalt auf. Gleichgerichtet dazu sind die Gehalte an Lysin, währenddessen bei den weiteren untersuchten essentiellen Aminosäuren (EAS) die Sortenunterschiede bedingt durch die absolut niedrigeren Gehalte indifferent ausfallen. Beim Stärkegehalt treten keine sortenbedingten, offensichtlich aber leichte jahrgangsbezogene Abweichungen auf. Die ermittelten Gehalte an Umsetzbarer Energie (ME) lassen keine wesentlichen Unterschiede zwischen den ausgewerteten Sorten erkennen.

Für einen besseren Sortenvergleich erfolgte eine Auswertung unabhängig vom Anbaujahr und ergänzt durch die ebenfalls erfassten Sorten mit geringer Probenanzahl.

Zur Einordnung der erzielten Analysewerte wurden den Gehaltsangaben die Werte der DLG-Futterwerttabellen Schweine (DLG, 2014) gegenübergestellt.

Tab.2: Mittelwerte der Inhaltsstoffe nach Sorten im Vergleich zu DLG, 2014 (Angaben je kg mit 88 % Trockenmasse \pm Standardabweichung)

Parameter	Rocket	Alvesta	Respect	sonstige	Mittel	DLG, 2014
Probenanzahl	34	18	11	5	68	
Rohprotein (g)	181 ± 9	191 ± 10	207 ± 9	199 ± 3	189 ± 13	220
Lysin (g)	14,2 $\pm 0,7$	14,9 $\pm 0,7$	15,1 $\pm 0,9$	15,2 $\pm 0,6$	14,6 $\pm 0,8$	15,8
Methionin (g)	1,6 $\pm 0,1$	1,6 $\pm 0,1$	1,7 $\pm 0,1$	1,6 $\pm 0,1$	1,6 $\pm 0,1$	2,1
Methionin/ Cystin (g)	4,6 $\pm 0,3$	4,8 $\pm 0,3$	4,8 $\pm 0,3$	5,0 $\pm 0,1$	4,7 $\pm 0,3$	5,3
Threonin (g)	7,1 $\pm 0,4$	7,2 $\pm 0,3$	7,4 $\pm 0,6$	7,5 $\pm 0,2$	7,2 $\pm 0,4$	7,9
Stärke (g)	440 ± 16	439 ± 14	440 ± 16	433 ± 13	439 ± 15	418
Rohfaser (g)	62 ± 7	59 ± 8	55 ± 4	55 ± 6	60 ± 8	57
aNDFom (g)	149 ± 26	154 ± 34	141 ± 38	165 ± 40	151 ± 32	350
ADFom (g)	71 ± 5	67 ± 4	64 ± 5	71 ± 5	69 ± 5	95
ME _{Schwein} (MJ)	13,5 $\pm 0,1$	13,5 $\pm 0,1$	13,6 $\pm 0,1$	13,6 $\pm 0,1$	13,5 $\pm 0,1$	13,8

Bereits der Vergleich der gemittelten Inhaltsstoffe mit den DLG-Angaben verdeutlicht im XP-Gehalt, den Angaben der erfassten EAS sowie der beiden Faserfraktionen beträchtliche Abweichungen. Diese Differenzen sind für die

vorherrschend angebaute Sorte Rocket mit ihrem sehr niedrigen Proteingehalt und den ebenfalls sehr niedrigeren Gehalten der EAS noch größer.

Zur Verdeutlichung der relativen Abweichung der ermittelten Gehalte der Ernteproben in Bezug auf die derzeitigen Richtwerte wurden wichtige Inhaltsstoffe in Abbildung 2 verglichen.

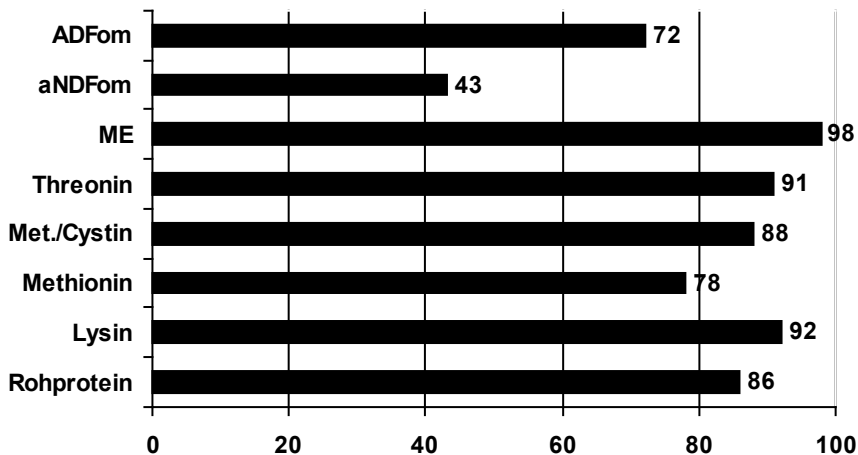


Abb. 2: Relative Abweichung der Praxisdaten aus der Erbsenbeprobung von den DLG-Futterwertangaben (entsprechen 100%)

Die mittleren Gehalte beim XP und den EAS liegen um rund 10 % und beim Methionin um 20 % unter den derzeitigen Richtwertangaben der DLG. Demgegenüber ist die Differenz im Gehalt an umsetzbarer Energie marginal. Bemerkenswert sind die beträchtlichen Unterschiede in den beiden analysierten Faserfraktionen. Diese resultieren offensichtlich nicht aus sortenbedingten Einflüssen, sondern vielmehr aus einer abweichenden Analysenmethodik, möglicherweise früheren Angaben zufolge ohne den Stärkeaufschluss mittels Amylasevorbehandlung.

Beim Erbseneinsatz in der Schweinefütterung und einem praktikablen Rationsanteil von 20 % im Schweinemastfutter kann es bei einer normierten Rationsberechnung aufgrund der aufgezeigten niedrigeren nativen EAS-Gehalte bereits zur anteiligen Unterversorgung mit Nachteilen für die Mast- und Schlachtleistung kommen. Dieses Risiko besteht umso mehr durch die Bevorzugung der ackerbaulich vorteilhaften, aber zugleich im XP-Gehalt schwächeren Sorten beim Anbau.

3. Schlussfolgerungen

- In Thüringen konzentriert sich der Körnererbsenanbau auf wenige ackerbaulich zu bevorzugende Sorten
- Diese Sorten weisen gegenüber aktuellen Tabellenwerten übereinstimmend niedrigere XP- und EAS-Gehalte auf. Das führt in Mastrationen bei den möglichen hohen Rationsanteilen zur anteiligen Unterversorgung mit Leistungsdefiziten
- Bei der Verfütterung sollte, soweit möglich, die Sortenspezifität berücksichtigt werden oder eine Rohproteinanalyse vorangehen. Alternativ wäre mit einem Abschlag von 10 % zu den DLG-Angaben für XP und die erstrangigen EAS beim Erbseneinsatz zu rechnen
- Die Unterschiede in den publizierten Gehaltsangaben zu den Faserfraktionen NDF und ADF erfordern weitere Untersuchungen mit vereinheitlichter Analytik

4. Literaturangaben

DLG, 2014: DLG-Futterwerttabellen Schweine. DLG-Verlag e. V., Frankfurt am Main, 42-43.

Guddat, C., Schreiber, E., 2014: Landessortenversuche in Thüringen – Körnerfuttererbsen – ,Versuchsbericht 2014. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft.

Hoffmann, M., Steinhöfel, O., 2010: Futtermittelspezifische Restriktionen. 5. Auflage, Dt. Landwirtschaftsverlag GmbH.

TLS, 2015: Pressemitteilung 174/2015, Thüringer Landesamt für Statistik.

Einfluss einer intensiven Milchaustauscherfütterung und Buttersäure auf Leistungsparameter von Kälbern der Rasse DH

C. Gerbert¹, D. Frieten², C. Koch³, F.-J. Romberg³, G. Dusel², K. Eder⁴, H.M. Hammon⁵

¹Tierarztpraxis Peter Wagner, Oberthal, ²Fachhochschule Bingen, FB Agrarwirtschaft, Bingen, ³Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Westpfalz (DLR), Hofgut Neumühle, Münchweiler an der Alsenz, ⁴Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie, Justus-Liebig-Universität, Giessen, ⁵Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN), Institut für Ernährungsphysiologie, Dummerstorf

1. Einleitung

Die Kälberaufzucht ist gerade in der Milchviehhaltung immer wieder ein wichtiges Thema, um eine effektive und ökonomische Wirtschaft mit maximalen Gewinnen erreichen zu können. In diesem Zusammenhang wird in den letzten Jahren eine intensive Fütterungsstrategie diskutiert. Grund hierfür ist der positive Zusammenhang zwischen einer hohen Lebendmassezunahme innerhalb der ersten 3-4 Lebenswochen, die nur durch eine intensive Milchversorgung erreicht werden kann, und der späteren höheren Milchleistung der intensiv gefütterten Kälber (Soberon et al., 2012). Zudem wirkt sich eine intensive Milchfütterung positiv auf die Vormagenentwicklung der Kälber und deren Krafftuttaufnahme aus und das Körperwachstum ist beschleunigt (Khan et al., 2011). In weiteren Studien wurde der Einsatz von Buttersäure untersucht. Buttersäure ist eine natürlicherweise in der Milch enthaltene kurzkettige Fettsäure und spielt als Stimulator der Pansen- und Darmzottenentwicklung eine wichtige Rolle (Gorka et al., 2011). Außerdem moduliert Buttersäure die Enzymaktivitäten und Absorptionskapazitäten im Magen-Darm-Trakt und fördert so die Verdaulichkeit und das Wachstum (Guilloteau et al., 2009). Bisher gibt es noch keine Studien, in denen die Effekte einer intensiven Milchfütterung mit denen einer Buttersäurezulage im Milchaustauscher (MAT) kombiniert untersucht wurden.

2. Ziele der Studie

Mithilfe eines Fütterungsversuchs am DLR-Westpfalz, LVAV Hofgut Neumühle in Kooperation mit dem FBN Dummerstorf, der FH Bingen und der JLU Gießen sollten mögliche additive Effekte einer intensiven Milchaustauscherfütterung und Buttersäurezusatz auf die Leistungsparameter von Kälbern der Rasse Deutsche Holstein untersucht werden. Hier standen vor allem die Tränke- und Krafftteraufnahmen, die Gewichtsentwicklungen und Tageszunahmen im Vordergrund der Untersuchungen.

3. Material und Methode

Von Juni 2014 bis Mai 2015 wurden 64 Kälber der Rasse Deutsche Holstein (DH) aus der hofeigenen Nachzucht der Lehr- und Versuchsanstalt Hofgut Neumühle beprobt. Sie wurden in 4 vergleichbare Gruppen zu je 16 Tieren (davon 8 männlich und 8 weiblich) eingeteilt und über einen Zeitraum von 80 Tagen (± 3 d) von Geburt an beobachtet. Die Gruppeneinteilung erfolgte unter Berücksichtigung des Geschlechtes des Kalbes, seinem Geburtsgewicht und der Laktationsnummer des Muttertieres. Die Kälber wurden entweder restriktiv mit 6 Litern Tränke am Tag ($n = 32$) oder ad libitum gefüttert ($n = 32$). Die ersten sechs Mahlzeiten bekamen alle Kälber Vollmilch des jeweiligen Muttertieres, ab der 7. Mahlzeit einen Milchaustauscher der Firma Milkivit auf Magermilchbasis mit einer Konzentration von 125 g MAT/Liter Tränke. In beiden Fütterungsgruppen wurde die Hälfte der Kälber mit buttersäurehaltigem MAT (0,33 % Butyrat im MAT) versorgt. In den ersten 8 Wochen erhielten alle Kälber ihr volles Tränkeniveau. Von Tag 57 bis 71 wurden sie linear abgetränkt, sodass sie ab dem 72. Lebenstag 2 Liter pro Tag bis zum Versuchsende erhielten. Krafftter, Heu und Wasser standen jeweils ad libitum zur Verfügung. Die ersten 7 bis 10 Lebenstage waren alle Kälber im Iglu aufgestallt und wurden dann in einen zweigeteilten Gruppenstall mit Strohstreu umgestallt. Tränke erhielten die Kälber im Iglu via Nuckeleimer und im Gruppenstall via Tränkeautomat der Firma Förster-Technik GmbH, wo sie sie mittels Transponder je nach Anrecht selbständig abrufen konnten. Für die restriktiven Gruppen war das Anrecht auf 6 Liter, für die ad libitum Gruppen auf 25 Liter limitiert. Auch das Krafftter konnte mittels Transponder selbständig bis Versuchsende abgerufen werden. Heu und Wasser wurden über Heuraufen und Selbsttränken durchgehend angeboten. Die Tränke- und Krafftteraufnahmen wurden über die Automaten mit Hilfe des PC-Programmes „Kalb

Manager WIN“ erfasst und gespeichert. Die Tageszunahmen und Gewichtsentwicklungen wurden durch Erfassung des Geburtsgewichtes und wöchentliche Wiegen mit Hilfe einer elektronischen Durchlaufwaage ermittelt. Während des gesamten Versuches wurden von allen Kälbern an definierten Zeitpunkten insgesamt 14 Blutproben und 2 Leberbiopsien je Kalb zur Eruiierung des Leber- und Intermediärstoffwechsels gezogen. Alle weiblichen Kälber wurden entsprechend des Managements des Hofguts Neumühle aufgezogen und sollen bezüglich ihrer Fruchtbarkeit und späteren Milchleistung weiter beobachtet werden. Alle männlichen Kälber wurden am 80. Lebenstag (± 3 Tage) einer Ruminozentese zur Gewinnung von Pansensaft unterzogen und anschließend geschlachtet. Bei der Schlachtung wurden verschiedene Organ- und Gewebeproben (Magen-Darm-Trakt, Pankreas, Leber) gewonnen, um deren Entwicklung und Funktionalität bzw. die Regulation des Energiestoffwechsels in Abhängigkeit von der jeweiligen Fütterung untersuchen zu können.

Tab. 1: Fütterungsregime

	Gruppe A Res ohne BS	Gruppe B ad libitum ohne BS	Gruppe C Res mit BS	Gruppe D ad libitum mit BS
MAT-Konzentration (je Liter Tränke)	125g/l	125g/l	125g/l	125g/l
Tränkemenge	6 Liter /Tag	Ad libitum	6 Liter /Tag	Ad libitum
Krafftutter	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum
Heu	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum
Wasser	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum	Ad libitum

Res = restriktiv; BS = Buttersäure; MAT = Milschaustauscher

Statistik

Die statistische Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm SAS. Es wurden alle 64 Versuchstiere in die Auswertung einbezogen. Nachfolgendes statistisches Modell wurde benutzt:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \lambda_l + \omega_m + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei:

Y_{ijkl} Beobachtungswert der abhängigen Variablen

μ Mittelwert

α_i fixer Effekt der Fütterung; $i = 1, 2$

β_j	fixer Effekt der Butyratzulage; $j=1,2$
γ_k	fixer Effekt der Lebenswoche; $k=1,2,3,\dots,11$
λ_l	fixer Effekt des Geschlechts; $l=1,2$
ω_m	zufälliger Effekt des Tieres; $m=1,2,3,\dots,64$
ε_{ijkl}	zufällige Resteffekte

Unterschiede zwischen den Gruppen wurden mit Hilfe des Tukey-Tests bestimmt und solche mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5 % als signifikant gekennzeichnet

4. Ergebnisse und Diskussion

Nachfolgend sind die Ergebnisse der Leistungsparameter im Vergleich dargestellt.

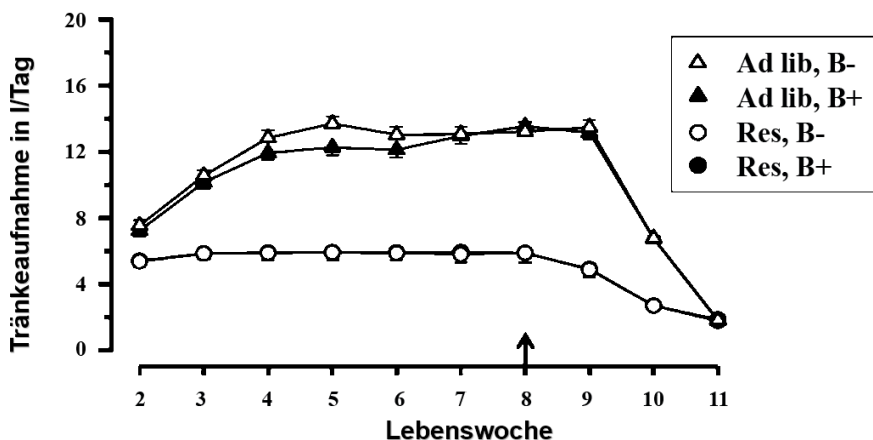


Abb. 1: Tränkeaufnahmen

Die Grafik zeigt die durchschnittliche Tränkeaufnahme pro Tag aller Versuchsgruppen am Tränkeautomaten. Die restriktiven Gruppen haben ihr Anrecht von 6 Litern je Tag über die gesamte Versuchsperiode vollständig abgerufen. In den Ad libitum-Gruppen lag die durchschnittliche Tränkeaufnahme von 12-14 Litern pro Tag von der 4. bis 9. Lebenswoche auf einem signifikant höheren Niveau im Vergleich zu den restriktiv gefütterten Gruppen. Der Pfeil markiert den Beginn des Abtränkens ab der 8. Lebenswoche. In der letzten Versuchsperiode haben alle Kälber ihr noch bestehendes Anrecht von 2 Litern je Tag abgerufen. In

Bezug auf die Tränkeaufnahme hat nur die Fütterung einen signifikanten Unterschied erbracht. Die Buttersäurezulage dagegen hatte keinen signifikanten Einfluss. Ähnlich verhielt es sich mit der Krafftutteraufnahme.

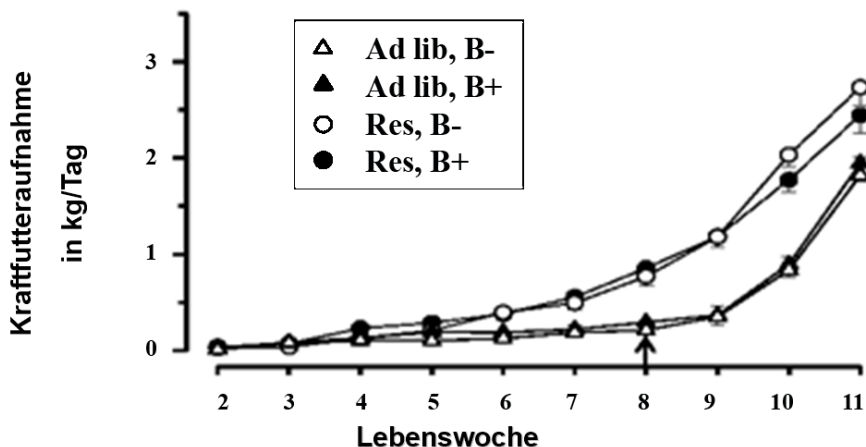


Abb. 2: Kraftfutteraufnahme

Bei der Kraftfutteraufnahme zeigten sich Differenzen ab der 4. Lebenswoche zwischen den restriktiven und den ad libitum Gruppen. In den restriktiven Gruppen war die KF-Aufnahme signifikant höher als in den ad libitum Gruppen, obwohl sich letztere nach Beginn des Abtränkens (Pfeil) den Restriktivgruppen wieder annähern. In allen Gruppen stieg die KF-Aufnahme nach dem Abtränken deutlich an. Auch hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der Fütterung, aber nicht durch die Buttersäure.

Zu den Leistungsparametern gehört ebenso die Gewichtsentwicklung, wie in Abbildung 3 dargestellt. Bei der Gewichtsentwicklung sind Unterschiede bereits ab der ersten Lebenswoche zwischen den Gruppen ersichtlich. Die intensiv gefütterten Kälber zeigen eine deutlich höhere Entwicklung im Gewicht und demzufolge auch ein höheres Endgewicht, hier im Mittel 120 kg, als die restriktiv gefütterten Kälber, obwohl sie ein mittleres Geburtsgewicht von 42,2 kg (Gruppe A), 44,0 kg (Gruppe B), 42,8 kg (Gruppe C) und 43,2 kg (Gruppe D) hatten.

Dennoch entwickelten sich auch die Kälber der Restriktivgruppen gut und erreichten am Ende des Versuchs ein mittleres Gewicht von 106,8 kg. Auch in der Abtränkphase nahmen die Kälber aller Gruppen weiter an Gewicht zu.

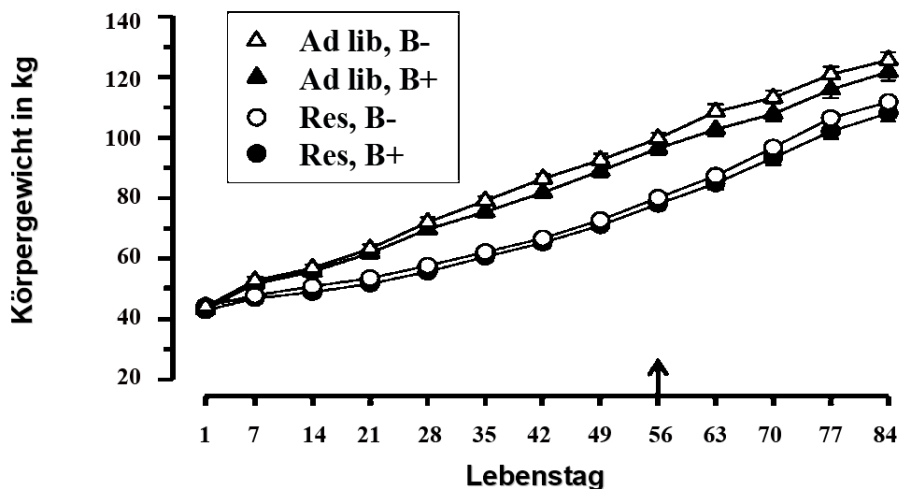


Abb. 3: Gewichtsentwicklung

Entsprechend der Gewichtsentwicklung waren die Tageszunahmen der ad libitum gefütterten Kälber signifikant höher als die der restriktiv gefütterten.

Interessanterweise hatten die intensiv gefütterten Kälber eine höhere Gesamtgewichtsentwicklung als die der Vergleichsgruppen, obwohl die Kraftfutteraufnahme über die Tränkeperiode geringer war. Wie bei der Tränke- und Kraftfutteraufnahme hat auch bei der Gewichtsentwicklung und den Tageszunahmen nur die Fütterung, nicht aber die Butterzulage einen signifikanten Einfluss gezeigt.

5. Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Fütterung (ad libitum vs. restriktiv) einen wesentlichen Einfluss auf die Leistungsparameter der Kälber zu haben scheint, hingegen die Buttersäurezulage bisher keinen Effekt gezeigt hat. Auch ist noch nicht klar, inwieweit und ob überhaupt sich die gesteigerte Gewichtsentwicklung und Tränkeaufnahme positiv auf die Entwicklung des Magen-Darm-Traktes und den Gesamtstoffwechsel des Kalbes auswirken. Durch weitere Untersuchungen (Blut-, Leber-, Organanalysen) soll geklärt werden, wie sich Pansen- und Darmepithelien entwickelt haben und der Leber- und Intermedi-

ärstoffwechsel beeinflusst worden sind. Außerdem soll geklärt werden, ob die Buttersäurezulage, wie in anderen Studien beschrieben, sich nicht doch entscheidend auf Wachstum und Entwicklung zusätzlich zur intensiven Milchaustauscherfütterung auswirkt. Des Weiteren sind weitere Beobachtungen der weiblichen Kälber in der Milchviehherde des Hofguts Neumühle erforderlich, um die spätere Fruchtbarkeit und Milchleistung eruieren zu können.

6. Literaturangaben

- Gorka, P., Kowalski Z.M., Pietrzak, P., Kotunia, A., Jagusiak, W., Holst, J.J., Guilloteau, P., Zabielski, R., 2011: Effect of method of delivery of sodium butyrate on rumen development in newborn calves. *J. Dairy Sci.* 94, 5578-5588.
- Guilloteau, P., Savary, G., Jaquelin-Peyrault, Y., Romé, V., Le Normand, L., Zabielski, R., 2010: Dietary sodium butyrate supplementation increases digestibility and pancreatic secretion in young milk-fed calves. *J. Dairy Sci.* 93, 5842-5850.
- Khan, M.A., Weary D.M., von Keyserlingk, M.A.G., 2011: Invited review: Effects of milk ration on solid feed intake, weaning, and performance in dairy heifers. *J. Dairy Sci.* 94, 1071-1081.
- Soberon, F., Raffrenato, E., Everett, R.W., Van Amburgh M.E., 2012: Prewaning milk replacer intake effects on long-term productivity of dairy calves. *J. Dairy Sci.* 95, 783-793.

Detergenzienfaser-Analyse: Erfahrungen, Besonderheiten und Ausblick. Gerätespezifische Einflüsse

S. Kehraus, K.-H. Südekum

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Institut für Tierwissenschaften,
Bonn

1. Einleitung

Die Analyse der Detergenzienfaser-Fractionen ist spätestens seit 2012 durch die Methodenvorschrift des VDLUFA (2012) in den meisten Futtermittel-Laboren etabliert. Die Detergenzienfaser-Fractionen umfassen die Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser (aNDF) (Methode 6.5.1; VDLUFA, 2012), der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) (Methode 6.5.2; VDLUFA, 2012) und des Säure-Detergenzien-Lignin (ADL) (Methode 6.5.3; VDLUFA, 2012). Im Rahmen des vom VDLUFA angebotenen Detergenzienfaser-Workshops (Universität Bonn) wurden immer wieder Fragen zur Vorgehensweise diskutiert. Diese Fragen bezogen sich zum einen auf methodische Dinge, aber auch futtermittel- und gerätespezifische Probleme wurden aufgegriffen. Die im Rahmen des Workshops diskutierten Fragen und Probleme haben uns veranlasst, die unterschiedlichen Analysengeräte und deren Vorgehensweisen zu betrachten.

2. Material, Methoden und Ergebnisse

Die Detergenzienfaser-Analyse ist eine Konventionsmethode und dementsprechend sollten alle Vorgaben genau eingehalten werden. Im Rahmen der detaillierten Betrachtung der Analyse wurden folgende Faktoren gewählt, die Einfluss auf das Ergebnis haben können:

- Methodenspezifisch
 - Entfernen von Fett, Pektin und Protein
 - Einsatz von α -Amylase
 - Verwendung von Na-Sulfit
 - Bestimmung und Berücksichtigung des Blindwertes
 - Mahlfeinheit (Sieblochgröße in Verbindung mit der Mühlenart)

- Futtermittelspezifisch
 - Gehalte an Protein oder Pektin
- Gerätespezifisch
 - Porengröße (Filter, Fritte, Bag)
 - Mahlfeinheit
 - Blindwert
 - Verwendete Filtrationshilfe
 - Vorgehensweise bei stärkereichen Futtermitteln

In diesem Beitrag sollen die gerätespezifischen Einflussfaktoren, vor allem der Einfluss des Blindwertes und der Mahlfeinheit behandelt werden. Die methoden- und futtermittelspezifischen Faktoren sind in einem weiteren Beitrag in diesem Kongressband ausführlich dargestellt.

2.1 Gerätespezifische Faktoren

Für die Betrachtung der gerätespezifischen Einflussfaktoren werden folgende Geräte berücksichtigt:

- Fibertec™ (Foss)
- Fibretherm (Gerhardt)
- Fiber Analyzer (Ankom)

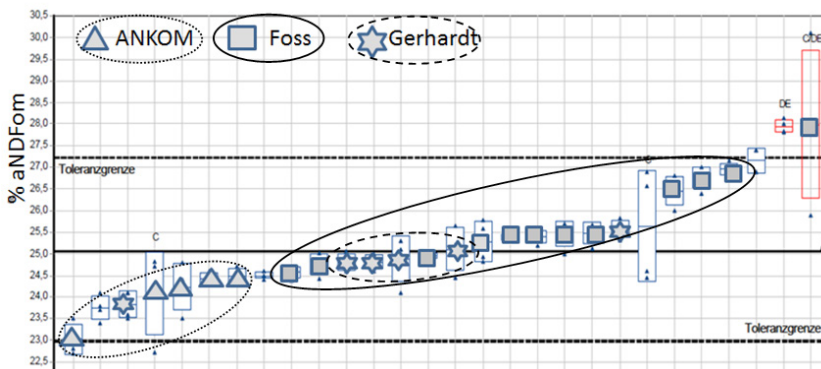


Abb. 1: Geräteeinfluss auf aNDFom-Gehalt (Milchleistungsfutter)

Die Enquete-Auswertung des aNDFom-Gehaltes in Abhängigkeit von den verwendeten Geräten ist in Abbildung 1 dargestellt. Die verwendeten Gerätschaften sind, soweit bekannt, entsprechend an den Wertebalken markiert. Es ist

deutlich zu erkennen, dass für das Ankom-System die Werte im unteren, für das Gerhardt-System im mittleren und für das Foss-System im mittleren und für das Foss-Gerät im mittleren bis oberen Bereich liegen.

Betrachten wir nun die Auswertung in Abhängigkeit von den verwendeten Geräten für ADFom (Abb. 2), so liegen die Ergebnisse mit dem Gerhardt-System im mittleren bis oberen Bereich und die Ergebnisse, die mit dem Foss-System analysiert wurden, im unteren Bereich bis knapp über dem Mittelwert; d. h., letztendlich wären nur 3 Werte mit Foss analysiert, die höher als der in dieser Enquete ermittelte Mittelwert lagen.

Für Ergebnisse mit dem Ankom-System kann nicht wirklich ein Trend beobachtet werden.

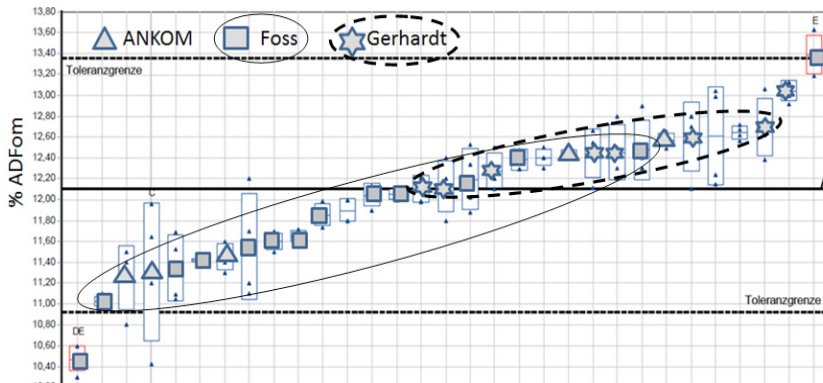


Abb. 2: Geräteeinfluss auf ADFom-Gehalt (Milchleistungsfutter)

Die Auswertung einer anderen Enquete für Rohfaser und Detergenzienfaser weisen ebenfalls Geräteabhängigkeiten auf (ohne Abb.).

Diese Auswertung zeigt, wie das Ergebnis und damit die Bildung des Mittelwertes einer Enquete auch vom verwendeten System abhängig sein können.

2.2 Offene geräteabhängige Fragen

Nach dieser Auswertung ergab sich bei folgenden, nicht nur gerätespezifischen Punkten, ein Klärungsbedarf:

- Verwendete Sieblochgröße beim Mahlen und Mühlenart

- Berechnung aNDFom bzw. ADFom
- Berücksichtigung des Blindwertes, vor allem bei Foss-Geräten
- Berechnung des Blindwertes
- Verwendung von Filtrationshilfen

Für die aNDFom waren noch offene Fragen:

- Verwendung von Na-Sulfit, was letztendlich zu niedrigeren Ergebnissen führen kann, da es Lignin und fasergebundenes Rohprotein lösen kann
- Zugabe von Amylase - generell oder nur bei stärkereichen Proben und wie erfolgt die Zugabe (in heiße oder kalte Lösung)
- Amylase: Hersteller, Produkt
- Durchführung einer Amylase-Vorbehandlung (McQueen und Nicholson, 1979)

Eine Amylase-Vorbehandlung wäre bei stärkereichen Proben beim Ankom- und gegebenenfalls auch beim Gerhardt-System zu empfehlen, da bei Anwendung dieser Systeme teilweise zu hohe aNDFom-Gehalte beobachtet wurden. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die Stärke in den Säckchen oder Bags verkleistert und die Poren von innen zusetzt. Das Neutral-Detergenz und die Amylase können dann nicht mehr optimal in die Säckchen gelangen, so dass die Stärke nicht gelöst bzw. das Lösen von Nichtfaserbestandteilen nicht vollständig erfolgen kann.

Um Antworten auf diese offenen Fragen zu bekommen, haben wir eine detaillierte Abfrage zu aNDFom und ADFom bei den Enquete-Teilnehmern durchgeführt.

2.2.1 Verwendete Sieblochgröße

Die Abfrage zur verwendeten Sieblochgröße beim Mahlen (Abb. 3) ergab, dass jeweils 3 der Foss-Gerät-Anwender eine Sieblochgröße von 1 mm bzw. $\leq 0,5$ mm und einer 0,75 mm verwendet haben (2 ohne Angabe). Für die Gerhardt-Geräte-Anwender scheint es einheitlicher zu sein, hier haben 4 von 5 durch die Sieblochgröße 1 mm gemahlen (1 ohne Angabe).

Aufgrund der geringen Rückmeldung wurden die Ankom-Geräte-Anwender bei dieser Frage nicht berücksichtigt.

Der mit dem Foss-System analysierte aNDFom-Gehalt scheint von der Mahfeinheit abhängig zu sein (Abb. 3). Ganz eindeutig kann man dies jedoch nicht der Mahfeinheit zuordnen, da zufälligerweise die Nichtberücksichtigung des Blindwertes (siehe 2.2.2) und das Mahlen durch 1 mm Sieblochgröße auf die gleichen Foss-Gerät-Anwender fällt, d. h. die Differenz der aNDFom-Gehalte zwischen 1 mm- und $\leq 0,5$ mm-Ergebnissen ist relativ groß, was auch auf die Nichtberücksichtigung des Blindwertes zurückzuführen ist.

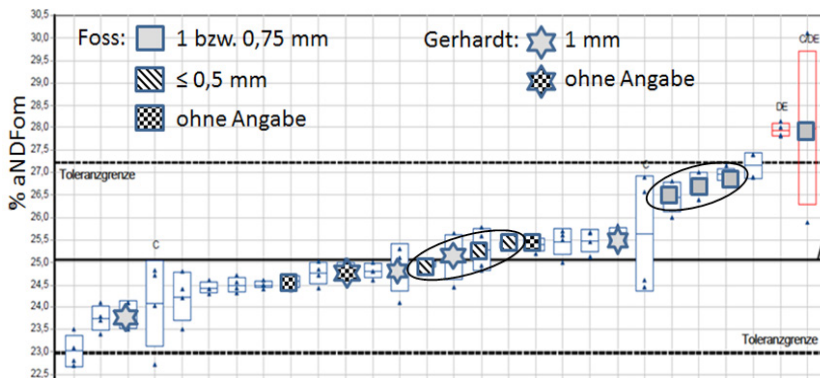


Abb.3: Geräteabhängiger Einfluss der Sieblochgröße (mm) auf aNDFom-Gehalt (Milchleistungsfutter)

Der größte Einfluss der Mahfeinheit ist auf Grund der größeren Porengröße der Tiegel (Tab. 1) demnach bei der Verwendung von Foss-Systemen zu erwarten.

Tab. 1: Porengröße der Glasfiltertiegel, Bags bzw. Filter

Gerät	Filter	Porengröße (μm)
Foss	Glasfiltertiegel P2	40-90
Gerhardt	FibreBag	28
Ankom	Filter Bag	25
Whatman 54	Filter	20-25

In Abbildung 4 ist der geräteabhängige Einfluss der Sieblochgröße auf den ADFom-Gehalt abgebildet.

Nicht ganz so deutlich wie bei aNDFom, aber auch hier liegen die mit dem Foss-System erzielten Ergebnisse mit $\leq 0,5$ mm unter denen mit 0,75 bzw. 1 mm Sieblochgröße.

Letztendlich zeigt die Auswertung, dass ein Einfluss der Mahlfeinheit je nach verwendetem Gerät mehr oder weniger ausgeprägt ist, ein Einfluss der Mühlenart konnte nicht beobachtet werden. Die Tendenz „je feiner vermahlen, desto niedriger der Fasergehalt“ ist zu beobachten. Dies wurde in der Literatur auch schon häufig beschrieben (Mertens, 1992).

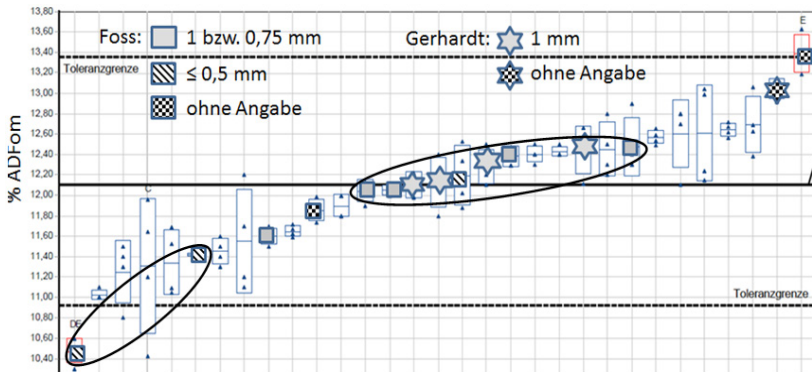


Abb. 4: Geräteabhängiger Einfluss der Sieblochgröße (mm) auf ADFom-Gehalt (Milchleistungsfutter)

2.2.2 Einfluss des Blindwertes

Einen weiteren sehr wichtigen Einflussfaktor stellt der Blindwert dar. Auffällig für die Foss-Geräte-Ergebnisse ist (Abb. 5), dass Ergebnisse ohne Blindwert wesentlich höher sind als mit Blindwert.

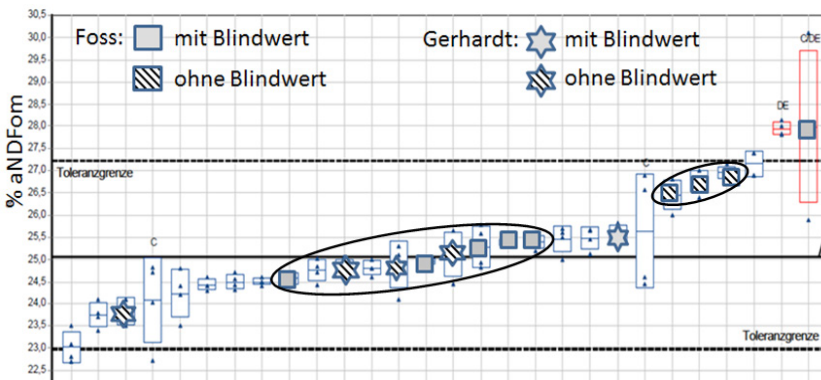


Abb. 5: Geräteabhängiger Einfluss des Blindwertes auf aNDFom-Gehalt (Milchleistungsfutter)

Die Berücksichtigung bzw. Nichtberücksichtigung des Blindwertes kann zu einer Verschiebung des Mittelwertes führen, v. a. bei der Anwendung von Foss-Geräten. In Tabelle 2 ist aufgeführt, wie sich ein Blindwert je nach verwendetem Gerät auf den aNDFom- bzw. ADFom-Gehalt auswirkt.

Ausgehend davon, dass bei Anwendung von Ankom-Geräten der Blindwert berücksichtigt wird (wie es im Formblatt von Ankom zur Berechnung der aNDFom vorgegeben ist), könnte das ein Grund für die niedrigeren Ankom-Ergebnisse im Vergleich zu Gerhardt- und Foss-Geräten sein. Die Blindwerte beim Ankom-Gerät sind relativ hoch und konstant. Ein weiterer Grund könnte auch die im Gerät programmierte verlängerte Kochzeit sein, worauf im Rahmen dieses Beitrags jedoch nicht weiter eingegangen wird.

Tab.2: Geräteabhängiger Einfluss des Blindwertes auf den Gehalt an aNDFom bzw. ADFom (% absolut = $X_{\text{Blindwert}} / \text{Einwaage}_{\text{Probe}} * 100$)

Gerät	aNDFom	ADFom
Ankom	ca. 0,6	ca. 0,6
Gerhardt	-0,03	-0,14
Foss	0,02-0,3 (Ø 0,2-0,3)	0,06-0,9 (Ø 0,2-0,3)

Der Blindwert für aNDFom beim Gerhard-System scheint relativ gering zu sein. Aus der Abfrage liegt leider nur ein Wert vor, mit dem hier kalkuliert wurde; er beträgt -0,3 mg Rohasche, was eher als Wägefehler zu sehen ist und somit nicht so großen Einfluss auf das Ergebnis hat. Es ist also zu berücksichtigen, dass die Blindwerte im Mittel evtl. in einer anderen Größenordnung liegen können, vgl. -1,4 mg Rohasche bei ADFom.

Die Blindwerte, die mit dem Foss-System erzielt wurden, unterliegen einer relativ großen Streuung, sowohl laborintern als auch zwischen den Laboren. Daher sollte in den Laboren mit Foss-Geräten nochmals überdacht werden, wie häufig ein Blindwert gemacht werden soll. In den meisten Fällen lag der Blindwert im Mittel bei 0,2-0,3 % absolut.

Eine Frage bleibt offen: Wie wird in Zukunft mit negativen Blindwerten umgegangen? Hierbei wäre für eine einheitlich Vorgehensweise interessant, geräteabhängig die Größenordnung (im Bereich des Wägefehlers oder größer?) der negativen Blindwerte zu ermitteln.

2.2.3 Weitere nicht ausschließlich gerätespezifische Einflussgrößen

Berechnung der Detergenzienfaser:

Bei der detaillierten Abfrage zur Berechnung konnten keine Unstimmigkeiten entdeckt werden.

Filtrierhilfsmittel (nur für Foss-Geräte):

Ein Einfluss des Filtrierhilfsmittels auf das Ergebnis war nicht zu erkennen. Hier ist anzumerken, dass alle Labore einen Sand (Seesand, Quarzsand verschiedener Hersteller) mit der gleichen Partikelgröße von 0,1-0,3 mm verwendet haben, d. h. die Sand-Partikel waren größer als die Porengrößen. Ein Einfluss der Sandmenge war nicht zu beobachten.

Amylase:

Die meisten Labore verwenden die Amylase von Termamyl, diese wurde richtigerweise in die heiße Lösung geben (siehe methodenspezifische Faktoren). Alle Labore haben angegeben, dass Sie die Amylase unverdünnt verwenden (Ankom-Amylase ohne Angabe).

Ein Einfluss der Amylase (Hersteller oder Produkt) auf den Gehalt an Detergenzienfaser konnte nicht beobachtet werden.

Na-Sulfit:

Es war kein Einfluss der Verwendung von Na-Sulfit auf den Gehalt an Detergenzienfaser zu erkennen.

In Abbildung 6 sind nochmals die Einflussfaktoren in einer „Checkliste“ aufgeführt, die im Labor herangenommen werden kann, um mögliche Auswirkungen auf den Detergenzienfaser-Gehalt abzuleiten. Hier kann auch entnommen werden, welche Modifikationen gekennzeichnet werden sollten.

Einflussfaktoren	Wenn	Foss	Gerhardt	Ankom	kennzeichnen
Mahlfeinheit	kleiner 1 mm	niedriger	niedriger	niedriger	
Porengröße (20-25 µm)	Poren größer	niedriger			
Altern der Fritte	Poren werden größer	niedriger			
Filterhilfsmittel	zu kleine Partikelgröße (sol 40-200 mesh = 0,4-0,08 mm)	niedriger			
	organische Verunreinigungen (inhomogen)	höher			
Blindwert	weglassen	höher	höher	höher	
Blindwert	negativ berücksichtigt	höher	höher	höher	
Probe : Detergenzien-Lösung	1 g/100 mL; Einwaage kleiner	niedriger	niedriger	niedriger	
Na-Sulfit (aNDFom)	löst Protein (NDF-gebunden), Lignin	niedriger	niedriger	niedriger	x
Amylase (aNDFom)	kalte Lösung (Stärke/Faser)	höher/niedriger	höher/niedriger	nur in kalte Lsg möglich	
	nicht in Waschwasser	höher	höher	höher	
	Stärkereich ohne Vorbehandlung		höher	höher	x
Waschwasser absaugen (nicht bis zur Trockene) vor Acetonzugabe	nicht vollständig	höher	höher	höher	
Waschen (ADFom)	nicht säurefrei	niedriger	niedriger	niedriger	
Fett (aNDFom)	>10% -> vorentfetten	höher	höher	höher	
	Waschwasser <95°C	höher	höher	höher	
	Wasser spülen statt einwirken	höher	höher	höher	
	Aceton spülen statt einwirken	höher	höher	höher	
Protein (aNDFom)	Waschwasser <95°C	höher	höher	höher	
	Wasser spülen statt einwirken	höher	höher	höher	
Protein (ADFom)	sehr proteinreiche Proben	höher	höher	höher	
	sequentiell (ND-Vorbehandlung)	realistisch	realistisch	realistisch	x
Pektine	Waschwasser <95°C (aNDFom)	höher	höher	höher	
	unlöslich in AD-Lösung	höher	höher	höher	
	ADFom sequentiell (ND-Vorbehandlung)	realistisch	realistisch	realistisch	x
Sehr hohe Gehalte an Protein, Pektin, Fett		höher	höher	höher	
		höher	höher	höher	
ND-Lösung kann ausfallen <25°C		höher	höher	höher	

Abb. 6: „Checkliste“ der Einflussfaktoren und deren gerätespezifische Auswirkungen

3. Schlussfolgerungen und Perspektiven

Schlussfolgernd aus dieser Auswertung kann man sagen, dass einzelne Faktoren wenig direkten Einfluss haben, aber die Summe der Faktoren einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis haben kann. Dies ist teilweise auf die Verwendung unterschiedlicher Geräte, aber auch auf fehlende detaillierte Hinweise in den aktuellen VDLUFA-Methoden zurück zu führen (siehe methodenspezifische Faktoren). Für die Zukunft sollten folgende Punkte Beachtung finden:

- Vereinheitlichung der Mahlfeinheit (1 mm Sieblochgröße) ist notwendig.
- Die Berücksichtigung des Blindwertes ist wichtig.
- Je nach verwendetem System und aufgrund der teilweise großen Streuung sollte man überlegen, wie häufig ein Blindwert in einem Labor mitgeführt wird.
- Ermittlung der Größenordnung der negativen Blindwerte, um in Zukunft mit negativen Blindwerten einheitlich umzugehen
- Überarbeitung der aNDFom- und ADFom-Methode (VDLUFA, 2012) ist notwendig.
- Kennlich machen von Modifikationen der Methode im Ergebnis.

Diese Schlussfolgerungen beruhen auf einer relativ geringen Anzahl von Beobachtungen (z. B. Blindwert Gerhardt-System), entsprechend wäre es sinnvoll, in Zukunft weitere (Enquete-)Auswertungen bezüglich dieser gerätespezifischen Faktoren zu betrachten.

4. Literaturangaben

- Mertens, D.R., 1992: Critical conditions in determining detergent fiber. Pages C1-C8 in Proceedings of NFTA Forage Analysis Workshop, Denver, CO. National Forage Testing Association, Omaha, NE, USA.
- McQueen R.E., Nicholson, J.W.G. 1979: Modification of neutral-detergent fiber procedure for cereals and vegetables by using α -amylase. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 62, 676-680.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Detergenzienfaser-Analyse: Erfahrungen, Besonderheiten und Ausblick. Methoden- und futtermittelspezifische Einflüsse

S. Kehraus, K.-H. Südekum

Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, Bonn

1. Einleitung

Die Analyse der Detergenzienfaser-Fractionen ist spätestens seit 2012 durch die Methodenvorschrift des VDLUFA (2012) in den meisten Futtermittel-Laboren etabliert. Die Detergenzienfaser-Fractionen umfassen die Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser (aNDF) (Methode 6.5.1; VDLUFA, 2012), der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) (Methode 6.5.2; VDLUFA, 2012) und des Säure-Detergenzien-Liginin (ADL) (Methode 6.5.3; VDLUFA, 2012). Im Rahmen des vom VDLUFA angebotenen Detergenzienfaser-Workshops (Universität Bonn) wurden immer wieder Fragen zur Vorgehensweise diskutiert. Diese Fragen bezogen sich zum einen auf methodische Dinge, aber auch futtermittel- und gerätespezifische Probleme wurden aufgegriffen. Die im Rahmen des Workshops diskutierten Fragen und Probleme haben uns veranlasst, die Vorgehensweise der Detergenzienfaser-Analyse systematisch zu betrachten.

2. Material, Methoden und Ergebnisse

Die Detergenzienfaser-Analyse ist eine Konventionmethode und dementsprechend sollten alle Vorgaben genau eingehalten werden. Im Rahmen der detaillierten Betrachtung der Analyse wurden folgende Faktoren gewählt, die Einfluss auf das Ergebnis haben können:

- Methodenspezifisch
 - Entfernen von Fett, Pektin und Protein
 - Einsatz von α -Amylase
 - Verwendung von Na-Sulfit
 - Bestimmung und Berücksichtigung des Blindwertes
 - Mahlfeinheit (Sieblochgröße in Verbindung mit der Mühlenart)
- Futtermittelspezifisch
 - Gehalte an Protein oder Pektin

- Gerätespezifisch
 - Porengröße (Filter, Fritte, Bag)
 - Blindwert
 - Mahlfeinheit
 - Verwendete Filtrationshilfe
 - Vorgehensweise bei stärkereichen Futtermitteln

2.1 Methodenspezifische Faktoren

Bei der methodischen Vorgehensweise ist das vollständige Entfernen von Fett, Stärke, Pektin und Protein entscheidend, da diese sonst mit dem Faserrückstand mitgewogen werden und somit einen höheren Gehalt an Detergenzienfaser verursachen.

2.1.1 Vorgehensweise bei der aNDF-Bestimmung

Das **Fett** wird durch das heiße Neutral-Detergenz (ND) in Lösung gebracht (Abb. 1), bei hohen Fettgehalten (> 10 %) ist jedoch die Fettlösekapazität des Detergenz erschöpft und die Wirksamkeit der Extraktion wird dadurch reduziert; entsprechend der Methodenvorschrift 6.5.1 (VDLUFA, 2012) ist dann eine Vorextraktion unbedingt notwendig. Fett ist nur in heißem Wasser in Lösung und somit auswaschbar, deshalb muss das Waschwasser sehr heiß sein, in der Literatur wird >95 °C (Mertens, 1992, 2002) beschrieben. Ein Nachwaschen mit Aceton beseitigt dann das restliche Fett.

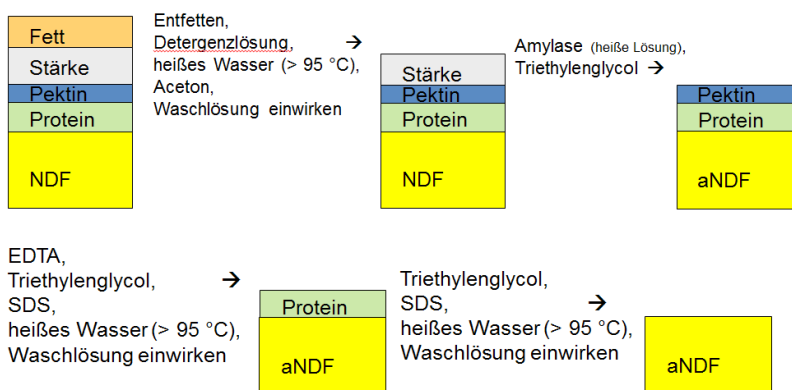


Abb. 1: Methodische Einflussfaktoren bei der aNDF-Bestimmung

Da Faser wie Kapillaren wirken können, muss sowohl das Waschwasser als auch das Aceton eine gewisse Zeit einwirken (mindestens 2-3 Minuten), damit auch im Innern der Faser das Fett und das Detergenz vollständig entfernt werden kann. Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass das Waschwasser entfernt sein muss, bevor man mit Aceton wäscht, da sonst das ND und die darin löslichen Verbindungen nicht vom Rückstand entfernt werden, was letztendlich zu einem höheren aNDF-Wert führen kann. Wenn die beschriebenen Schritte so erfolgen, dann sollte im Rückstand kein Fett mehr enthalten sein.

Zur Beseitigung der **Stärke** wird zum einen Amylase zum Detergenz zugesetzt und zum anderen übernimmt das Triethylenglycol im Detergenz diese Aufgabe. Die hitzestabile Amylase muss in die **heiße** Lösung gegeben werden, dies hat zwei Gründe (Mertens, 2002)

- zum einen verkleistert die Stärke in heißer Lösung und Amylase wirkt effektiver bei verkleisteter Stärke und zum anderen
- können in der Amylase faserabbauende Enzyme vorhanden sein, die in heißer Lösung deaktiviert werden und somit wird ein Faserabbau und damit ein zu niedrigeren aNDF-Wert verhindert.

Ein unvollständiger Stärkeabbau führt u. a. zu Filtrationsproblemen.

Mertens (2002) weist darauf hin, dass es Hinweise gibt, dass eine höhere Amylase-Dosis als das benötigten Minimum (> 5 x) eine Retrogradation der Stärke verursachen kann. Ein laborinterner Vergleich der aNDF-Bestimmung (Uni Bonn) ergab, dass mit verdünnter Termamyl-Amylase (Vorgabe Mertens, 2002) die Probe schlechter zu filtrieren, der aNDFom-Gehalt jedoch nicht unterschiedlich ist.

Die Beseitigung des **Pektins** aus der Probe erfolgt durch die im ND enthaltenden Chemikalien Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA), Triethylenglycol und Natriumlaurylsulfat (SDS). Damit das Pektin kein Gel bildet und Filtrationsprobleme minimiert werden, muss auch hier das Waschen mit sehr heißem Wasser erfolgen und das Waschwasser 2-3 Minuten einwirken.

Bei der Beseitigung des **Proteins** helfen die beiden Chemikalien Triethylenglycol und SDS sowie das Waschen mit heißem Wasser und das Einwirken der Waschlösung. Nach genauer Befolgung dieser Schritte sollte im Rückstand nur noch aNDF enthalten sein.

Die Verwendung von Na-Sulfit (Bemerkung 8.7 in Methode 6.5.1; VDLUFA, 2012) kann zu niedrigeren Ergebnissen führen, da es Lignin und fasergebundenes Rohprotein lösen kann. Die Verwendung von Na-Sulfit sollte im Ergebnis kenntlich gemacht werden (z. B. aNDFom(s)).

Wenn die beschriebene Vorgehensweise nicht einheitlich eingehalten wird, kann es zu Abweichungen im Ergebnis kommen, was letztendlich auch zu relativ großen Streuungen führt, sowohl laborinternen als auch zwischen den Labors.

2.1.2 Vorgehensweise bei der ADF-Bestimmung

Bei der Vorgehensweise zum Entfernen von Fett und Stärke bei der ADF-Bestimmung (Abb. 2) gilt Ähnliches wie bei der NDF-Bestimmung. Das Waschen mit Wasser ist hier u. a. wichtig, um die Säure zu entfernen, da anhaftende Säure beim Trocknen aufkonzentriert wird und zu Verkohlung der Faser, aber auch des Filters bzw. des Bags, und somit zu verfälschten ADF-Gehalten führt.

Das Entfernen von Protein erfolgt durch N-Cetyltrimethyl-Ammoniumbromid, welches im Säure-Detergenz (SD) vorliegt.

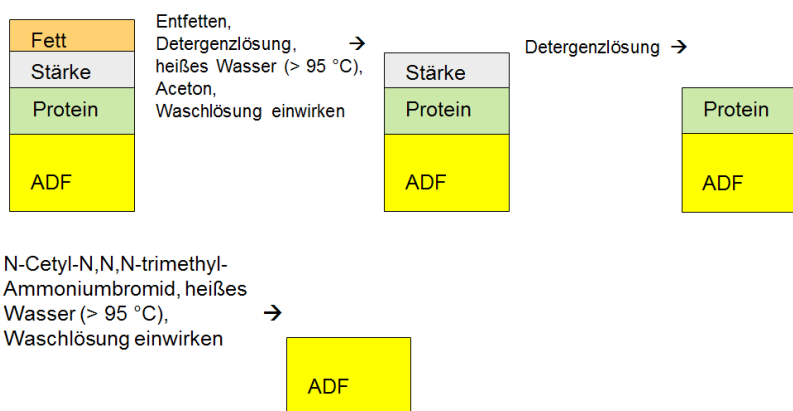


Abb. 2: Methodische Einflussfaktoren bei der ADF-Bestimmung

2.2 Futtermittelspezifische Faktoren

Für Maiskleber mit einem Rohprotein-Gehalt (XP) von 60 % wurde das Problem geschildert, dass teilweise die ADFom-Gehalte über den Gehalten an aNDFom

liegen. Wie in Abb. 3 zu erkennen ist, muss per Definition der aNDFom-Gehalt höher sein als der Gehalt an ADFom.

Die Vermutung war, dass die Proteinlösekapazität des N-Cetyltrimethyl-Ammoniumbromid im SD ausgeschöpft ist und das Protein nicht vollständig durch das SD entfernt wurde.

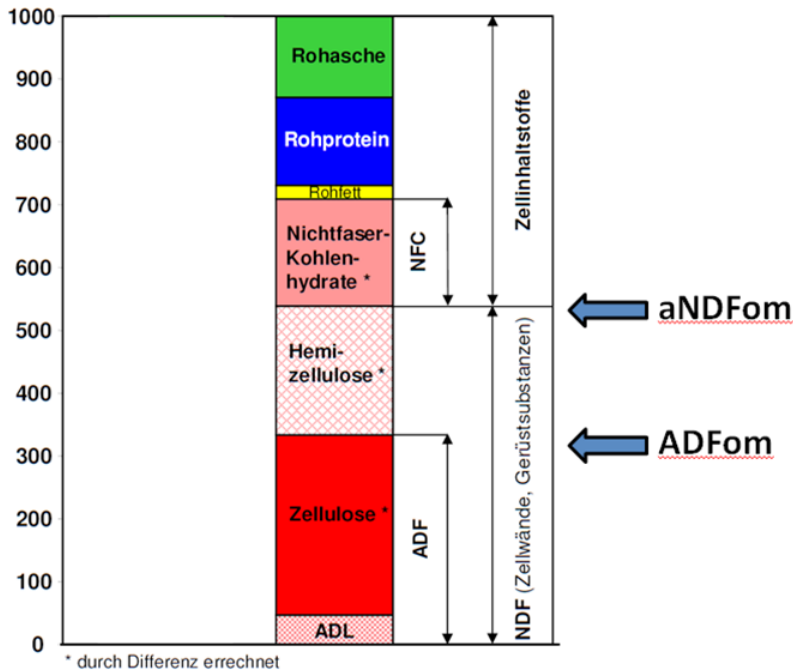


Abb.3: Charakterisierung der Gerüstsubstanzen, Zellwände (Gruber 2010, persönliche Mitteilung)

Ein Lösungsvorschlag entsprechend der Vorgehensweise bei der Rohprotein-Fraktionierung (Licitra et al., 1996) war, ein Kochen mit ND vor die Behandlung mit SD vorzuschalten, mit dem Ziel, einen Teil des Proteins in ND zu lösen und letztendlich in SD vollständig zu entfernen. Dies entspricht einer sequentiellen Vorgehensweise, wie es auch für pektinhaltige Proben empfohlen wird (Bemerkung 8.8 in Methode 6.5.2; VDLUFA, 2012). Die sequentielle Vorgehensweise sollte dann auch im Ergebnis kenntlich gemacht werden (z. B. ADFom(sq)).

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse von ADFom und aNDFom von Maiskleber, entsprechend der VDLUFA-Methodenvorschrift 6.5.2 und 6.5.1 (VDLUFA, 2012) analysiert, aufgeführt. Es ist zu erkennen, dass die ADFom-Gehalte höher sind als die aNDFom-Gehalte, was jedoch nicht plausibel ist (Abb. 3). In der dritten Spalte sind die Ergebnisse der sequentiellen ADFom-Analyse dargestellt, d. h. zuvor mit ND behandelt. Die ADFom-Gehalte nach sequentieller Analyse sind zum Teil deutlich niedriger als ohne Vorbehandlung, **aber auch** niedriger als die aNDFom-Gehalte. Die Vermutung, dass die Proteinlösekapazität des SD nicht ausreicht, sehen wir somit als belegt.

Tab. 1: Gehalte an ADFom und aNDFom in Maiskleber mit und ohne Vorbehandlung

Probe	ADFom (g/kg TM)	ADFom sequentiell (g/kg TM)	aNDFom (g/kg TM)	aNDFom + Boratpuffer* (g/kg TM)	XP (g/kg)
1	88,0	16,9	62,4	68,2	646
2	182	29,7	88,7	99,3	746
3	30,7	25,1	70,0	64,4	621
4	48,5	10,5	38,0	64,9	672
5	201	27,8	120	145	731
6	241	41,1	218	230	629

*nach Licitra et al. (1996)

Eine weitere Frage stellte sich nun hinsichtlich der Proteinlösekapazität des ND. Ist diese auch am Limit bei XP-Gehalten wie in Maiskleber? Dies würde auch eine große Rolle bei der Bestimmung des jetzt immer aktueller werdenden Neutral-Detergenz-löslichen Rohproteins (NDLXP) spielen. Entsprechend der Vorgehensweise von Licitra et al. (1996) wurde bei XP-reichen Proben der aNDFom-Bestimmung eine Behandlung mit Boratpufferlösung vorgeschaltet, mit dem Ziel schon einen gewissen Teil des XP im Boratpuffer zu lösen. Die Ergebnisse sind in der fünften Spalte (Tabelle 1) zu sehen. Es konnte nicht belegt werden, dass die Proteinlösekapazität der ND ausgeschöpft ist. Bei aNDFom und damit auch bei der Bestimmung von NDLXP scheint viel XPn in der Probe keine Probleme zu machen.

2.3 Gerätespezifische Faktoren

Hier soll nur in Kürze der Einfluss des Blindwertes und der Mahlfeinheit in Abhängigkeit vom verwendeten System behandelt werden, da der Blindwert und die Mahlfeinheit auch als methodenspezifische Faktoren betrachtet werden können. Diese und andere gerätespezifischen Faktoren sind in einem weiteren Beitrag in diesem Kongressband ausführlich dargestellt.

2.3.1 Einfluss des Blindwertes

Die Auswertung einer detaillierten Abfrage bei den Enquete-Teilnehmern (VDLUFA-Futtermittel Enquete) zur Vorgehensweise bei der aNDFom- und ADFom-Bestimmung ergab, dass je nach verwendetem Gerät sich die Berücksichtigung des Blindwertes unterschiedlich auswirkt (Tabelle 2). Für die Bestimmung der aNDFom und der ADFom werden folgende Geräte verwendet:

- Fiber Analyzer (Ankom)
- Fibretherm (Gerhardt)
- Fibertec™ (Foss)

Tab.2: Einfluss des Blindwertes auf den aNDFom- und ADFom-Gehalt (% absolut) in Abhängigkeit vom verwendeten Gerät

Gerät	aNDFom	ADFom
Ankom	ca. 0,6	ca. 0,6
Gerhardt	ca. -0,03	ca. -0,14
Foss	0,02-0,3 (Ø 0,2-0,3)	0,06-0,9 (Ø 0,2-0,3)

Der Blindwert unterliegt teilweise relativ großen Streuungen v. a. bei Verwendung des Foss-Gerätes (Tabelle 2). Die Berücksichtigung des Blindwertes ist also wichtig, da hierdurch das Ergebnis relativ stark beeinflusst werden kann. Je nach verwendetem System und aufgrund der teilweise großen Streuung (labornintern und zwischen den Labors), sollte man überlegen, wie häufig ein Blindwert bestimmt wird. Die Vorgehensweise sollte vereinheitlicht werden.

2.3.2 Geräteabhängiger Einfluss der Mahlfeinheit

Ein Einfluss der Mahlfeinheit ist je nach verwendetem Gerät mehr oder weniger ausgeprägt. Die Tendenz, je feiner desto niedriger der Fasergehalt, ist zu sehen. Dies wurde auch in der Literatur schon häufig beschrieben (Mertens, 1992).

3. Schlussfolgerungen und Perspektiven

Insgesamt wurde deutlich, dass ein einheitliches Vorgehen zwischen unterschiedlichen Einrichtungen zum Teil nicht gegeben ist. Dies ist teilweise auf die Verwendung der unterschiedlichen Geräte (siehe gerätespezifische Faktoren), aber auch auf fehlende detaillierte Hinweise in den aktuellen VDLUFA-Methoden zurück zu führen.

Schlussfolgernd kann man zusammenfassen:

- Überarbeitung der aNDFom- und ADFom-Methode (VDLUFA, 2012) ist notwendig.
- Vereinheitlichung der Mahlfeinheit und
- der Bestimmung und Berücksichtigung des Blindwertes muss erfolgen.

Es ist denkbar, dass die Streuung der Fasergehalte laborintern und zwischen den Labors somit vermindert werden kann.

Abweichungen bzw. Modifikationen der Methode sollten im Ergebnis kenntlich gemacht werden.

4. Literaturangaben

Licitra, G., Hernandez, T.M., Van Soest, P.J., 1996: Standardization of procedure for nitrogen fraction of ruminant feeds. Anim. Feed Sci. Techn. 57, 347-358.

Mertens, D.R., 1992: Critical conditions in determining detergent fiber. Pages C1-C8 in Proceedings of NFTA Forage Analysis Workshop, Denver, CO. National Forage Testing Association, Omaha, NE, USA.

Mertens, D.R., 2002: Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds using refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. J. AOAC Int. 85:1217-1240.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2012: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Untersuchungen zum Rohproteinbedarf von Mastbullen der Rasse Fleckvieh in der Mittelmast

T. Ettle, A. Obermaier, P. Edelmann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Grub

1. Einleitung

Neben dem Ersatz von Sojaextraktionsschrot durch andere rohprotein-(XP)-reiche Futtermittel, wie z. B. Rapsextraktionsschrot, ist der Abbau von Proteinabhängigkeiten in der Gesamtration ein wirksamer Ansatzpunkt, um den Einsatz von Sojaextraktionsschrot und somit den Import aus Übersee für die Rinderfütterung zu reduzieren. Vor allem in der Mast besteht über den tatsächlichen Rohproteinbedarf der Rinder allerdings Unklarheit. Die sehr alten bundesweit gültigen Normen zur Rohproteinversorgung gehen von relativ niedrigen täglichen Zuwachseleistungen und Schlachtgewichten aus, sodass diese Daten für die heutigen Bedingungen in der intensiven Bullenmast unter Umständen nicht mehr passen. Aus diesem Grund sollte an Hand von mehreren dose-response-Versuchen abgeklärt und dargestellt werden, wie weit die Rohproteinversorgung in der Rindermast ohne negative Effekte auf die Leistung abgesenkt werden kann und wie der Rohproteinbedarf in der Bullenmast unter derzeitigen Bedingungen einzuschätzen ist. In einem früheren Versuch (Aichner et al., 2013) wurde dabei die Rohproteinversorgung über den gesamten Mastbereich von etwa 200 bis 750 kg Lebendgewicht stark variiert. Da aber zu vermuten ist, dass eine Fehlversorgung in der Anfangsmast zu einer Fehleinschätzung des Bedarfes in der Mittel- oder Endmast führt, wurden in vorliegendem Versuch die Auswirkungen einer variierenden Rohproteinversorgung in der Mittelmast nach bedarfsorientierter Fütterung in der Anfangsmast untersucht. Der Fütterungsversuch war Teil des bayrischen Aktionsprogrammes „Heimische Eiweißfuttermittel“.

2. Material und Methoden

Für den Versuch standen 72 Fleckvieh-Jungbullen zur Verfügung, die Aufzucht erfolgte auf der LfL-Versuchsstation Karolinenfeld. In Grub wurden die Jungbullen nach einer 14 tägigen Adaptationsperiode bei einem Anfangsgewicht von

226 ± 21 kg Lebendgewicht und einem Alter von 163 ± 10 Tagen erstmalig gewogen. Die Tiere wurden während des Versuchs im nicht wärmeisolierten Tretmistbereich des Bullenstalls in Grub gehalten. Bis zu einem Gewicht von 390 ± 27 kg und einem Alter von 263 ± 10 Tagen (Anfangsmast, 100 Tage Dauer) wurden die Tiere einheitlich mit einer TMR auf Basis Maissilage, Krafffutter und Stroh (83, 15 und 2 % der FM) mit einem Energiegehalt von 11,7 MJ ME/kg TM und einem Gehalt von 14,1 % Rohprotein (XP) in der TM versorgt. Ab diesem Zeitpunkt wurden die Bullen dann unter Berücksichtigung von Alter und Gewicht für die Mittelmast (123 Tage Dauer) auf 6 Versuchsgruppen aufgeteilt. Die Gruppen 1 bis 5 wurden mit TMR mit Rohproteingehalten von 9,2 %; 11,1 %; 13,1 %; 15,1 %; und 17,2 % in der TM gefüttert. Um die unterschiedlichen Rohproteinstufen zwischen den Gruppen erzielen zu können, wurden durch Austausch von Sojaextraktionsschrot und Rapsextraktionsschrot durch Trockenschnitzel und Weizen zwei Krafffuttermischungen mit unterschiedlichen Rohproteingehalten erstellt. Diese beiden Krafffutter wurden den Gesamtrationen im Verhältnis 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 und 100:0 beigemischt. Die Tiere der sechsten Versuchsgruppe erhielten die TMR der Gruppe 11,1 % XP, die jedoch mit Futterharnstoff im Krafffutter so ergänzt wurde, dass ein XP-Gehalt der TMR von 13,4 % in der TM erreicht wurde. Die sechs Rationen waren hinsichtlich aller anderen Nährstoffe und dem Energiegehalt miteinander vergleichbar. Ab Beginn der Endmast bis zum Versuchsende (durchschnittlich 115 Tage Dauer) wurden die Gruppen 1-5 wieder einheitlich versorgt (TMR 12,2 % XP und 11,5 MJ ME/kg TM), in der sechsten Versuchsgruppe wurde weiterhin die harnstoffergänzte TMR vorgelegt, wobei hier ebenfalls Gehalte von 12,2 % XP und 11,5 MJ ME/kg in der TM erreicht wurden.

Die Bullen wurden alle vier Wochen gewogen. Die Futteraufnahme wurde täglich über Wiegetröge mit automatischer Tiererkennung erfasst. Die Schlachtung erfolgte im LfL-eigenen Schlachthaus in Grub, wobei immer jeweils Einzeltiere aus einer Bucht bei Erreichen eines Alters von etwa 500 Tagen geschlachtet wurden. Neben den Schlachtleistungskriterien wurden Gewebeproben vom Schlachtkörper zur Ermittlung der Fleischqualität und des intramuskulären Fettgehaltes gewonnen.

Die Rohnährstoffgehalte in den Futtermitteln wurden an Mischproben der Maissilage (wöchentlich), Krafffutter (monatlich) und Stroh (alle 2 Monate) nach Standardmethoden (VDLUFA, 1976) analysiert; aus den Analysenwerten wurden die Energiegehalte nach den derzeit gültigen Vorgaben (GfE, 2008, DLG,

2011) errechnet. Aus den Rohnährstoff- und Energiegehalten der Einzelkomponenten und der Zusammensetzung der TMR wurden die Rohnährstoff- und Energiegehalte der TMR ermittelt.

Die Daten wurden mit dem Statistikprogramm SAS mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet. Signifikante ($p < 0,05$) Unterschiede zwischen den Gruppen sind mit unterschiedlichen Hochbuchstaben (SNK-Test) gekennzeichnet. Eine Ableitung des Rohproteinbedarfes erfolgte mit Hilfe des broken-line-Modells (Prozedur NLIN in SAS) nach Robbins et al. (1979) und den Daten zu den täglichen Zuwachsleistungen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Dem Versuchsplan entsprechend war die tägliche Futter-, XP- und ME-Aufnahme während der Anfangsmast zwischen den Versuchsgruppen vergleichbar. Im Mittel wurde eine TM-, XP und ME-Aufnahme von 7,3 kg, 1031 g und 85 MJ je Tagerreicht.

In der Mittelmast stieg die Futteraufnahme mit steigendem XP-Gehalt der Ration an ($p < 0,05$), wobei in der Gruppe 15,1 % XP ein Maximum erreicht wurde. Die Futteraufnahme in der mit Harnstoff supplementierten Gruppe ordnet sich im mittleren Bereich ein. Positive Effekte einer steigenden XP-Zufuhr auf die Futteraufnahme bei einer Steigerung der XP-Gehalte der Ration von 10,6 auf 16,4 % der TM ergaben sich auch in einer Untersuchung von Schwarz und Kirchgessner (1995) bei Fleckviehbullen. Der tendenziell negative Effekt einer sehr hohen XP-Konzentration der Ration in der Gruppe 17,2 % XP deckt sich mit früheren eigenen Versuchsergebnissen (Aichner et al., 2013, Ettle et al., 2015). In der Endmast lag die Futteraufnahme in den Gruppen, die während der Mittelmast Rationen mit höheren XP-Gehalten erhielten niedriger ($p < 0,05$) als in den Vergleichsgruppen. Vor allem die Tiere in der Gruppe 9,2 % XP reagierten mit einem starken Anstieg der Futteraufnahme auf die Rationsumstellung, die Tiere in der Gruppe 17,2 % XP dagegen mit einem Rückgang. Die Tiere der harnstoffsupplementierten Gruppe liegen mit der TM-Aufnahme im unteren Bereich. Obwohl die XP- und ME-Gehalte der TMR in der Endmast zwischen den Gruppen gleich waren, ergeben sich aus den unterschiedlichen Futteraufnahmen auch deutliche ($p < 0,05$) Effekte auf die XP- und ME-Aufnahme in der Endmast.

Tab. 1: Einfluss des Rohproteingehaltes der Ration auf Futteraufnahme, XP-, nXP- und ME-Aufnahme

	Versuchsgruppe					13,4% XP (Harnstoff)
	9,2% XP	11,1% XP	13,1% XP	15,1% XP	17,2% XP	
Mittelmast (123 Tage)						
TM-Aufnahme, kg/d	8,39±0,75 ^b	9,01±0,76 ^{ab}	9,43±0,79 ^a	9,64±0,56 ^a	9,09±1,17 ^{ab}	8,74±0,55 ^{ab}
XP-Aufnahme, g/d	764±67 ^e	993±84 ^d	1229±103 ^c	1441±82 ^b	1548±197 ^a	1168±73 ^c
nXP-Aufnahme, g/d	1210±107 ^d	1351±114 ^c	1471±123 ^{abc}	1553±89 ^a	1527±195 ^{ab}	1414±89 ^{bc}
ME-Aufnahme, MJ/d	97,8±8,7 ^b	105,0±8,8 ^{ab}	110,0±9,2 ^a	112,0±6,5 ^a	106,2±13,6 ^{ab}	102,2±6,5 ^{ab}
Endmast (98 Tage)						
TM-Aufnahme, kg/d	11,66±1,06 ^a	11,07±0,98 ^{ab}	11,26±1,02 ^{ab}	10,61±0,77 ^{ab}	10,02±0,99 ^c	10,47±0,91 ^{bc}
XP-Aufnahme, g/d	1424±130 ^a	1352±121 ^{abc}	1376±124 ^{ab}	1295±94 ^{abc}	1225±123 ^c	1281±113
nXP-Aufnahme, g/d	1733±158 ^a	1646±147 ^{ab}	1674±151 ^a	1577±115 ^{ab}	1490±148 ^b	1574±138 ^{ab}
ME-Aufnahme, MJ/d	133,7±12,2 ^a	126,9±11,3 ^{ab}	129,1±11,7 ^a	121,6±8,9 ^{ab}	114,9±11,4 ^b	121,5±10,6 ^{ab}
Gesamtmast						
TM-Aufnahme, kg/d	9,08±0,67	8,68±1,1	9,32±0,76	9,22±0,47	8,8±0,79	8,72±0,58
XP-Aufnahme, g/d	1062±76 ^d	1090±103 ^{cd}	1211±97 ^{ab}	1268±62 ^a	1278±118 ^a	1153±66 ^{bc}
nXP-Aufnahme, g/d	1358±99	1323±153	1431±116	1437±72	1393±126	1368±84
ME-Aufnahme, MJ/d	105,2±7,7	100,8±12,5	108±8,8	106,9±5,4	102,2±9,2	101,7±6,7

Während der Anfangsmast zeigen sich nur zufällige Effekte auf die täglichen Zunahmen (durchschnittlich 1624 g/Tag) und das Gewicht am Ende der Mastperiode (durchschnittlich 390 kg), was sich mit dem Versuchsplan und der einheitlichen Nährstoffversorgung deckt. In der Versuchsphase (Mittelmast) zeigen sich deutliche ($p < 0,05$) Effekte der XP-Konzentration der Ration auf die Gewichte am Ende dieser Phase und auf die täglichen Zunahmen (Tab. 2). Das niedrigste Endgewicht wird mit 530 kg in der Gruppe 9,2 % XP erreicht, das höchste Endgewicht mit 605 kg in der Gruppe 15,1 % XP. Vergleichbar zu früheren Versuchen (Aichner et al., 2013, Ettle et al., 2015, Schwarz und Kirchgeßner, 1995) führt eine überhöhte XP-Versorgung in der Gruppe 17,2 % XP zu eher erniedrigten Endgewichten und Zuwachsraten. Leistungsdepressionen bei zu hoher XP-Versorgung sind durch den energieaufwändigen Prozess der Harnstoffsynthese zu erklären, der letztendlich auch eine verstärkte Leberbelastung darstellen kann. Wahrscheinlich wirkt sich zusätzlich die verringerte Futteraufnahme negativ auf die Energieversorgung aus. Die täglichen Zunahmen in der harnstoffsupplementierten Gruppe lagen in der Mittelmast auf demselben Niveau wie in der Gruppe 15,1 % XP. Im Gegensatz zu einer früheren Arbeit (Ettle et al., 2015) bestätigen sich damit Literaturdaten, nach denen beim Wiederkäuer zumindest ein Teil des Rohproteins der Ration durch Nicht-Protein-Stickstoffverbindungen ersetzt werden kann. Während der Endmast sinken die täglichen Zunahmen von der Gruppe 9,2 % XP bis hin zur Gruppe 17,2 % XP in linearer Weise ab ($p < 0,05$). In der Gruppe 9,2 % XP und – weniger ausgeprägt – in der Gruppe 11,1 % XP steigen die Zunahmen in Folge der Rationsumstellung (Erhöhung der XP-Gehalte in der Endmast) stark an, was sich auch gut an der Gewichtsentwicklung nachverfolgen lässt. Dieser Anstieg in den Zuwachsraten ist ähnlich den Effekten nach Energieunterversorgung (Kirchgeßner et al., 1984) als kompensatorisches Wachstum anzusehen. Andererseits zeigt sich auch, dass insbesondere in der Gruppe 17,2 % XP nach der Rationsumstellung ein Einknicken in der Gewichtsentwicklung zu beobachten ist. Dies ist offensichtlich auf eine Adaptation an hohe XP-Gehalte der Ration während der Mittelmast zurückzuführen, und – weniger stark ausgeprägt – auch in der Gruppe 15,1 % XP festzustellen. Neben den unmittelbaren Auswirkungen einer XP-Übersorgung auf die Mastleistung ist dementsprechend offensichtlich auch mit negativen Folgewirkungen zu rechnen.

Tab. 2: Einfluss des Rohprotein gehaltes der Ration auf die Gewichtsentwicklung und tägliche Zunahmen

	Versuchsgruppe					13,4 % XP (Harnstoff)
	9,2 % XP	11,1 % XP	13,1 % XP	15,1 % XP	17,2 % XP	
Anfangsmast						
Anfangsgewicht	229±20	227±13	228±21	226±11	228±27	228±19
Endgewicht, kg	394±30	391±26	388±32	392±19	389±30	389±28
Zunahmen, g/d	1647±167	1622±231	1598±168	1660±160	1607±106	1607±192
Mittelmast						
Endgewicht, kg	530±48 ^b	566±32 ^a	590±40 ^a	605±33 ^a	580±49 ^a	602±29 ^a
Zunahmen, g/d	1107±174 ^c	1422±171 ^b	1644±89 ^a	1733±155 ^a	1554±238 ^{ab}	1727±135 ^a
Endmast						
Endgewicht, kg	731±69	752±44	763±55	759±59	724±64	771±38
Zunahmen, g/d	1783±264 ^a	1585±144 ^{ab}	1495±200 ^{bc}	1321±288 ^{bc}	1255±232 ^c	1382±232 ^{bc}
Gesamtmast						
Zunahmen, g/d	1495±166	1546±98	1579±109	1572±159	1469±141	1589±121

Im Mittel der gesamten Mast ergeben sich in Abhängigkeit des XP-Gehaltes der Ration tägliche Zunahmen im Bereich von etwa 1500 bis 1590 g. Die hohen Zuwachsraten bei optimaler XP-Versorgung zeigen, dass in vorliegendem Versuch das Potential für hohe Leistungen insgesamt gegeben war.

Bei der Schlachtung wurden verschiedene Schlachtleistungskriterien und Fleischparameter erfasst. Die Schlachtgewichte verliefen weitgehend analog den Endgewichten. Bei den übrigen Merkmalen zeigten sich nur leichte Effekte der XP-Versorgung in der Mittelmast. Lediglich die erhobenen Kenngrößen zum Fettgehalt der Tiere weisen auf eine stärkere Verfettung bei höheren XP-Gehalten der Ration bis zu 15,2% XP in der TM hin, was in Übereinstimmung mit früheren Untersuchungen ist.

Anhand der täglichen Zuwachsraten wurde der XP-Bedarf in der Ration für optimale Mastleistungen mit Hilfe des broken-line-Modells (Robbins et al., 1979) abgeleitet. Es ergibt sich ein Bedarf von 12,5 % XP in der TM oder von 1154 g XP/Tag für maximale tägliche Zuwachsraten von 1644 g/Tag in der Mittelmast. Übertragen entspricht das einem optimalen XP/ME-Verhältnis von 10,7 g/MJ ME, was unter den derzeit gültigen Normen liegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Energiekonzentration vorliegend mit 11,7 MJ ME/kg TM sehr hoch liegt. Die tägliche Aufnahme an XP von etwa 1150 g zur Maximierung der täglichen Zunahmen im Bereich von 1600 g stimmen gut mit den in Deutschland gültigen Versorgungsempfehlungen überein. Da sich in der Praxis Unsicherheiten bei der Einschätzung der Energiezufuhr oder der Abschätzung der Futtermittelaufnahme insbesondere beim Einzeltier ergeben, empfiehlt es sich nach den vorliegenden Ergebnissen, den XP-Gehalt der Gesamtration in der Mittelmast auf etwa 12,5% der TM einzustellen.

4. Literaturangaben

Aichner, V.S., Etle, T., Obermaier, A., Spiekers, H., Windisch, W., 2013: Effects of a varying crude protein supply on fattening performance of Simmental bulls. Proc. Soc. Nutr. Phys., 22, 116.

DLG, 2011: Leitfaden zur Berechnung des Energiegehaltes bei Einzel- und Mischfuttermitteln für die Schweine- und Rinderfütterung.

- Ettle, T., Obermaier, A., Aichner, V.S., Windisch, W., 2015: Effects of a varying crude protein supply on fattening performance of finishing Simmental bulls. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.*; 24, 170.
- GfE, 1995: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Mastriinder. DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.
- GfE, 2008: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191-197.
- Kirchgeßner, M., Beckenbauer, M.A., Schwarz, F.J., 1984: Kompensatorisches Wachstum von Jungbullen bei der Mast mit Maissilage nach einer Energierestriktion in der Anfangsmast. 2. Mitteilung: Nährstoffaufwand und Schlachtkörperzusammensetzung. *Wirtschaftseig. Futter* 30, 217-228.
- Robbins, K.R., Norton, H.W., Baker, D.H., 1979: Estimation of Nutrient Requirements from Growth Data. *J. Nutr.* 109: 1710-1714.
- Schwarz, F.J., Kirchgeßner, M., 1995: Zum Einfluß unterschiedlicher Rohprotein- und Energiezufuhr auf die Mast- und Schlachtleistung von Fleckvieh-Jungbullen. *Züchtungskunde* 67, 49-61.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methoden 3.1; 5.1.1; 8.1; 6.1.1; 4.1.2; 6.5.1; 6.5.2. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl. incl. 1.-8. Ergänzungslieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Einsatz von Ackerbohnen in der Milchviehfütterung

T. Jilg

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild, Fischerei Baden-Württemberg, Aulendorf

1. Einleitung

Im Zusammenhang mit GVO-freier Fütterung gewinnen Körnerleguminosen, die in der Region angebaut werden, zunehmend an Bedeutung. Die Eiweißinitiative der Landesregierung hat das Ziel, den Anbau von Körnerleguminosen zur Nutzung als Futter- und Lebensmittel auszudehnen und den Eiweißertrag von Grünland- und Ackerfutterflächen durch Futterleguminosen zu steigern. Das Hauptaugenmerk im Körnerleguminosenanbau liegt auf Sojabohnen, Ackerbohnen, Erbsen und in geringem Umfang auf der Blauen Lupine. Das Landwirtschaftliche Zentrum Aulendorf (LAZBW) verzichtet schon seit 2005 auf importierten Sojaextraktionsschrot. Diese wurde zunächst durch Birtreber, Rapskuchen und Rapsextraktionsschrot ersetzt. Seit 2012 werden Ackerbohnen mit sehr gutem Erfolg angebaut. Dadurch soll der Zukauf von Rapsextraktionsschrot gesenkt werden.

In einem Versuch mit Milchkühen sollten zwei Milchviehrationen mit oder ohne Ackerbohnen in ihrer Wirkung auf Futteraufnahme und Milchleistung verglichen werden

2. Material und Methoden

Der Versuch wurde im Cross-Over Design mit 34 Fleckviehkühen durchgeführt (Tab. 1). Die Versuchsphasen dauerten 5 Wochen. Vor jedem Futterwechsel wurde eine Gewöhnungsphase von 7 Tagen eingeschaltet.

Tab. 1: Versuchsdesign

	Phase 1	Phase 2
Tiergruppe	05.02 - 11.03.2013	19.03. - 22.04.2013
11 (n = 18)	V: mit Ackerbohnen	K: ohne Ackerbohnen
12 (n = 16)	K: ohne Ackerbohnen	V: mit Ackerbohnen

In Tabelle 2 sind weitere Informationen zu den Versuchskühen. 8 Kühe waren in der ersten Laktation, 10 Kühe in der vierten bis siebten Laktation.

Tab. 2: Informationen zu den Versuchskühen

Tiergruppe	Laktationsnummer				Anzahl Kühe
	1	2	3	4 bis 7	
11	5	2	6	5	18
12	3	5	3	5	16
Summe	8	7	9	10	34

Futtermittel und Futterrationen

Tab. 3: Futterrationen in kg Frischmasse/Tag und in % der TM

	V	K	V	K
	kg/Tag	kg/Tag	% TM	% TM
Grassilage	10	10	19,1	19,1
Pressschnitzelsilage	8	8	10,9	11
Maissilage	12	12	20,2	20,2
Heu	1	1	4,2	4,2
Gerstenstroh	0,5	0,5	2,1	2,1
Biertrebersilage	10	10	10,7	10,7
G-Mix mit AB	7		28,7	
G-Mix		4,75		19,5
RES	1	3,25	4,1	13,2
Summe	49,5	49,5	100,0	100,0

Die Futterrationen sind in Tabelle 3 (kg Frischmasse pro Tag) und in Tabelle 4 (Anteile in % der Trockenmasse) dargestellt. In Phase 2 wurde eine andere Grassilage gefüttert. Dies führte zu kleineren Änderungen in der Rationsgestaltung. Die unterschiedlichen Proteingehalte der Rationen wurden durch die Anteile an Biertreber und Rapsextraktionsschrot (RES) moduliert. Die Getreidemischung G-Mix WG bestand aus 50 % Weizen (W), 44,5 % Gerste (G), 3 % Mineralfutter, 1,5 % Natriumbicarbonat und 1 % kohlenstoffhaltigem Futterkalk. Die Mischung G-Mix GB mit AB bestand aus 40,5 % Gerste, 54,5 % Ackerbohnen

(AB), 3 % Mineralfutter, 1,5 % Natriumbicarbonat und 1 % kohlensaurem Futterkalk.

In 14tägigem Abstand wurden Proben gezogen und im Futtermittellabor des LAZBW untersucht. Die Ergebnisse der Futteruntersuchungen sind in Tabelle 5 gelistet.

Tab. 5: Ergebnisse der Futteruntersuchungen

	TM	XP	nXP	RNB	ADF _{OM}	NDF _{OM}	NEL
	g/kg	g/kg TM		g/kg TM			MJ/kg TM
Grassilage	417	157	136	3	287	446	6,18
Heu	910	128	131	-1	346	543	5,64
Stroh	910	30	74	-7	523	815	3,72
Rapsestr.schrot	888	384	250	21	237	361	7,09
Ackerbohnen	886	274	190	13	207	375	8,45
G-Mix WG	892	141	166	-4	104	252	8,11
G-Mix GB	893	243	181	10	135	303	7,7
Biertrebersilage	233	226	196	5	328	637	6,62
Pressschnitzel- silage	298	89	139	-8	222	511	7,06
Maissilage	367	75	139	-10	194	421	7,2

Die Nährstoffgehalte der Futtrationen sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Die Kontrollration enthielt 6,95 MJ NEL/kg TM, die Ration mit Ackerbohnen 6,93 MJ/kg TM. Die Rohproteingehalte lagen bei 163 g/kg TM (K) und 170 g/kg TM (V). Der nXP-Gehalt der Kontrollrationen lag bei 163 g/kg TM, in der Versuchsration i 159 g/kg TM. In den Rationen wurden für die vorliegenden Leistungen die Empfehlungen der DLG zur Versorgung mit nXP (≥ 160 g/kg TM) gerade erreicht.

Die Empfehlungen zur Faserversorgung und zur Mineralstoffversorgung wurden eingehalten.

Tab. 6: Nährstoffgehalte der Futterrationen

Inhaltsstoff		Ration	
		V	K
TM	g/kg	440	440
XP	g/kg TM	170	163
NEL	MJ/kg TM	6,93	6,95
nXP	g/kg TM	159	163
RNB	g/kg TM	1,8	0
UDP	%	23	26
XF	g/kg TM	236	222
XL	g/kg TM	37,2	37,5
ADF _{OM}	g/kg TM	227	230
NDF _{OM}	g/kg TM	435	431
NFC	g/kg TM	275	288
Ca	g/kg TM	7	6,7
P	g/kg TM	8,8	8,5
Mg	g/kg TM	2,5	2,6
Na	g/kg TM	2,2	1,7
K	g/kg TM	14,3	13,7

Statistik

Die statistische Auswertung erfolgte mit einem linearen gemischten Wiederholbarkeitsmodell mit SAS, Version 9.2.

$y = \mu + \text{TAG} + \text{LNO} + f(\text{Itg})(\text{LNO}) + \text{GRP} + \text{BEH} + \text{kuh} + e$
für Verzehrleistung, Milchleistungsmerkmale und Milchhaltsstoffe und für BCS

$y = \mu + \text{TAG} + \text{LNO} + \text{LAB} + \text{GRP} + \text{BEH} + \text{kuh} + e$

y = Beobachtungswert des jeweiligen Merkmals

μ = allgemeines Mittel

TAG = fixer Effekt des Beobachtungstags

LNO = fixer Effekt der Laktationsnummer (1,2,3, ≥4)

$f(\text{Itg})(\text{LNO})$ = Laktationskurve innerhalb der Laktation (1,2,3, ≥4)

Laktationskurve: $\text{Itg}/330 + (\text{Itg}/330)^2 + \ln(330/\text{Itg}) + (\ln(330/\text{Itg}))^2$

LAB = fixer Effekt des Laktationsabschnitts

GRP = fixer Effekt der Versuchsgruppe (1,2) (= Carry-Over-Effekt)

BEH	=	fixer Effekt der Behandlung (= Soja-/Raps-Effekt)
kuh	=	zufälliger Effekt der Kuh innerhalb Vers.-gruppe und Laktation
e	=	zufälliger Restfehler

3. Ergebnisse

Futtermittelaufnahme und Nährstoffaufnahme

In Tabelle 7 sind die durchschnittliche Futtermittelaufnahme und die Nährstoffaufnahme dargestellt. In der Futtermittelaufnahme und im Wasserverzehr gab es keine signifikanten Unterschiede. Das gleiche gilt für die Energieaufnahme und die Proteinaufnahme (XP, nXP).

Tab. 7: Futter- und Nährstoffaufnahme (LSM Werte)

		V	K	Signifikanz
TM-Verzehr	kg/Tag	23,2	23,3	n.s.
Wasseraufnahme	kg/Tag	141	142	n.s.
NEL-Aufnahme	MJ/Tag	161	161	n.s.
nXP-Aufnahme	g/Tag	3781	3704	n.s.
XP-Aufnahme	g/Tag	3781	3961	n.s.
NDF _{OM} -Aufnahme	g/Tag	9999	10135	n.s.

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Die Trockenmasseaufnahme war mit über 23 kg pro Tag bei beiden Gruppen sehr gut.

Milchleistung, Milchwasserstoff

Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Milchleistungsprüfung, die energiekorrigierte Milchmenge ECM und die in der Tagesmilch enthaltenen Mengen an Milcheiweiß und Milchfett. Bei Verfütterung von Ackerbohnen (V) waren die Milchmenge sowie die ECM signifikant um 0,7 kg niedriger. Die Milcheiweißmenge war in der Ration V signifikant um 29 g niedriger. In der täglichen Milchfettmenge gab es keine signifikanten Unterschiede.

Tab. 8: Milchleistung

		V	K	Signifikanz
Milchleistung	kg/Tag	31,8	32,5	***
Milchfett	%	4,27	4,22	n.s.
Milcheiweiß	%	3,59	3,59	n.s.
Milchharnstoff	mg/	264	268	n.s.
ECM	kg/Tag	32,9	33,6	**
Milcheiweiß	g/Tag	1128	1157	***
Milchfett	g/Tag	1344	1360	n.s.

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Tab. 9: Futterkonvertierung, Lebendmasse, BCS

		V	K	Signifikanz
FKE	kg ECM/kg TM	1,42	1,46	*
Lebendmasse	kg	735	733	n.s.
BCS		3,56	3,53	n.s.

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

In der Lebendmasse und dem Body Condition Score (BCS) gab es keine signifikanten Unterschiede (Tab. 9). Die Futterkonvertierungseffizienz war bei der Kontrollgruppe ohne Ackerbohnen infolge der höheren Milchleistung bei gleicher Futteraufnahme höher.

Die Ergebnisse zeigen, dass Ackerbohnen ohne weitere Behandlung in Milchviehrationen eingebracht werden können.

Futterkosten und Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 10 sind die Kosten der beiden Futterrationen dargestellt. Die Grobfuttermittel wurden mit den Vollkosten aus den Kalkulationsdaten Futterbau (LEL, 2014) bewertet. Die übrigen wurden mit den Einkaufspreisen bzw. den Notierungen (Stand Juli 2014) bewertet. Für Ackerbohnen gibt es keinen Marktpreis. Die Kosten für die Rationen sind genau gleich, wenn die Ackerbohnen mit 21 €/dt bewertet werden.

Tab. 10: Kosten der Futterrationen

Futtermittel	Futtermittelkosten	V	K
	€/100 kg	kg/Tag	kg/Tag
Grassilage	8,5	10	10
Pressschnittsilage	5,0	8	8
Maissilage	6,6	12	12
Heu	22,0	1	1
Gerstenstroh	11,0	0,5	0,5
Biertrebersilage	5,0	10	10
Gerste	13,6	2,8	2,11
Weizen	14,9	0	2,375
RES	27,7	1	3,25
Ackerbohnen	21,0	3,81	0
Mineralfutter	85,0	0,28	0,19
Na-bicarbonat	40,0	0,11	0,07
Summe	€/Tag	4,55	4,55

Mit der Methode Löhr lässt sich ein Vergleichspreis auf der Basis marktgängiger Futtermittel berechnen. Dabei wird kalkuliert, wieviel Gerste und Rapsextraktionsschrot notwendig sind, um 100 kg Ackerbohnen in Bezug auf Rohprotein und Energie nährstoffgleich zu ersetzen. Es sind 58,3 kg Gerste und 52,1 kg Rapsextraktionsschrot. Mit den in Tabelle 10 genannten Preisen für Gerste und Rapsextraktionsschrot ergeben sich 22,4 €/dt Ackerbohnen. In der Tabelle 11 sind die Gleichgewichtspreise in Abhängigkeit der Marktpreise für Gerste und Rapsextraktionsschrot gelistet.

Tab. 11: Preiswürdigkeit nach der Methode Löhr

Preis, Gerste	Preis, Rapsextraktionsschrot		
	25 €/dt	30 €/dt	35 €/dt
13 €/dt	20,6	23,2	25,8
15 €/dt	21,8	24,4	27,0
17 €/dt	23,0	25,6	28,2
19 €/dt	24,1	26,7	29,3

Unter Berücksichtigung der um 0,7 kg signifikant niedrigeren Milchleistung mit Ration V ergibt sich eine Erlösminderung von 0,25 €/Tag ($0,7 \text{ kg} * 0,35 \text{ €/kg}$). In diesem Fall dürften die Ackerbohnen nur 14 €/100 kg kosten um die Ertragsminderung auszugleichen.

4. Fazit

Ackerbohnen können als Proteinquelle in der Milchviehfütterung eingesetzt werden. Die Empfehlungen zur Begrenzung der Mengen auf 2-4 kg/Tag sollten nach wie vor berücksichtigt werden. Bei höheren Leistungen kann insbesondere der geringe Gehalt an UDP (15%) leistungsbegrenzend wirken.

5. Literaturangaben

LEL, 2014: Kalkulationsdaten Futterbau 3.8. Hrsg.: Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd.

Bestimmung des energetischen Futterwertes von 36 Einzelfuttern

M. Pries¹, A. Menke¹, L. Steevens²

¹Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster, ²Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve

1. Einleitung

Der Futterwert von Getreide und anderen Einzelfutterkomponenten kann wegen züchterischer und produktionstechnischer Maßnahmen einem Wandel unterliegen. Aus diesem Grund wurde im Auftrag und mit Unterstützung des Raiffeisen-Futerring, Bonn, der energetische Futterwert von 21 Einzelfuttermitteln durch Verdaulichkeitsmessungen mit Hammeln bestimmt und mit den Daten der DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer 1997 verglichen. Insgesamt wurden 36 Verdaulichkeitsmessungen gemäß den Vorgaben der GfE (1991) durchgeführt.

2. Material und Methoden

Die Prüffutter wurden zur Verfügung gestellt von:

- AGRAVIS Raiffeisen AG, Münster
- Garant Tiernahrung, Pöchlarn, Österreich
- Raiffeisen Kraftfutterwerk Kehl GmbH, Kehl
- Raiffeisen Kraftfutterwerke Süd, Würzburg
- Raiffeisen-Warenzentrale Kurhessen-Thüringen GmbH, Morschen-Altmarshen
- Raiffeisen-Waren-Zentrale Rhein-Main eG., Köln

Die Prüfungen erfolgten in folgenden Einrichtungen:

- Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Kleve, (27 Prüfungen)
- Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Lfa), Dummerstorf, (5 Prüfungen)
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (LfL), Poing, (4 Prüfungen)

Jede Prüfung erstreckte sich über einen Zeitraum von 21 Tagen. Nach 14-tägiger Anfütterung wurden über einen Zeitraum von 7 Tagen Futter und Kot quantitativ erfasst.

Alle chemischen Analysen für Futter und Kot wurden in der LUFA NRW, Münster gemäß den Methoden des VDLUFA vorgenommen. Zur Ausschaltung zufälliger Fehler bei der Festlegung der Verdaulichkeiten des Heus wurde in allen Einrichtungen und Prüfdurchgängen Heu der gleichen Charge eingesetzt. Für den ersten Prüfungszeitraum von November 2010 bis Juni 2011 ergaben sich für das Heu insgesamt 12 Verdaulichkeitsmessungen und für den zweiten Prüfungszeitraum von Dezember 2011 bis Februar 2012 insgesamt vier Messungen, die mittels T-Test auf Unterschiede in der Verdaulichkeit der organischen Masse (VQ OM) geprüft wurden (Tab. 1).

Tab. 1: Verdaulichkeit der OM (VQ OM) des Heus aus 16 Prüfdurchgängen (DG)

DG	VQ OM, %	DG	VQ OM, %	DG	VQ OM, %
617	68,7 ^a	624	68,0 ^a	637	66,2 ^a
618	67,7 ^a	625	65,8 ^a	638	66,4 ^a
619	67,8 ^a	626	63,4 ^b	639	67,8 ^b
620	67,3 ^a	627	67,5 ^a	640	64,2 ^c
621	67,7 ^a	Lfa ¹⁾	70,0 ^c		
623	67,9 ^a	LfL ²⁾	66,9 ^a		

1) Lfa Dummerstorf, 2) LfL Poing-Grub, ^{a,b,c} = unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Differenzen mit $p \leq 0,05$ an

Für die Berechnung der Verdaulichkeiten der Prüffutter wurden Heuprüfungen mit gleicher Verdaulichkeit zusammengefasst. Nachfolgend werden diese Heuqualitäten mit Heu A und Heu D bezeichnet. Bei signifikanten Unterschieden wurden die Prüffutter mit den Ergebnissen des parallel geprüften Heus verrechnet (Heu B, C, E und F). Die Tabelle 2 informiert über die Rohnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten sowie Energiegehalte der für die Differenzrechnung genutzten Heudaten.

Generell soll das zu prüfende Futter im Rahmen des Differenzversuches mit möglichst hohen Anteilen geprüft werden. In den Prüfrichtlinien der GfE (1991)

werden 600 g Prüffutter und 400 g Heu pro Tier/Tag vorgeschlagen. Abweichungen hiervon wurden bei sehr proteinreichen, stärkereichen oder fettreichen Futtermitteln vorgenommen. Die Tabelle 3 zeigt die in den jeweiligen Prüfungen eingesetzten Futtermengen. Die Berechnungen für den Gehalt an umsetzbarer Energie (ME) und Nettoenergielaktation (NEL) wurden nach Maßgabe der GfE (2001) vorgenommen.

Tab.2: Rohrnährstoffgehalte, Verdaulichkeiten sowie Energiegehalte der für die Differenzrechnung genutzten Heudaten

	Heu A n = 10	Heu B	Heu C	Heu D n = 2	Heu E	Heu F
TM, g/kg	887	901	892	867	869	872
XA, g/kg TM	137	132	136	156	152	181
XP, g/kg TM	137	132	144	133	136	135
XL, g/kg TM	29	27	33	23	28	26
XF, g/kg TM	243	229	248	230	223	231
XX, g/kg TM	458	480	441	458	461	427
Gb, ml/200 mg TM	39,1	41,5	40,0	39,2	39,1	37,2
ELOS, g/kg TM	558	620	559	574	553	539
aNDFom, g/kg TM	497	489	512	490	463	469
ADFom, g/kg TM	286	285	269	282	275	284
Verdaulichkeit						
OM, %	67,5	70,0	63,4	66,3	67,8	64,2
XP, %	60,2	62,8	60,5	59,2	60,4	60,2
XL, %	62,8	43,7	68,5	51,3	48,3	49,9
XF, %	70,6	72,7	68,5	68,6	74,1	67,1
aNDFom, %	68,1*	71,7	62,6	67,3	71,2	67,7
ADFom, %	61,2*	67,7	52,0	63,4	60,9	59,3
Berechneter Energiegehalt						
ME, MJ/kg TM	9,01	9,25	8,57	8,55	8,80	8,09
NEL, MJ/kg TM	5,30	5,48	4,98	5,01	5,18	4,71
ME´08 Gb, MJ/kg TM	9,19	9,33	9,51	9,01	9,19	8,83
NEL, MJ/kg TM	5,43	5,54	5,65	5,34	5,46	5,23

*n = 4 Prüfungen

Tab. 3: Anzahl Hammel und Prüffuttermengen

Bezeichnung	Anzahl Hammel	Frischmasse in g/Tier/Tag	
		Heu	Prüffutter
Gerste	4	560	660
Mais (3x)	5	500	500
Maiskeimextraktionsschrot	5	600	400
Maiskleberfutter (2x)	5	400	600
Maismehl	5	600	400
Roggen	4	400	600
Triticale	5	500	500
Weizen (5x)	5	500	500
Weizenkleberfutter EU	4	540	520
Weizenkleie (3x)	5	500/660	500/640
Leinextraktionsschrot	5	500	500
Palmkernkuchen	3/5	760/550	720/450
Rapsextraktionsschrot (2x)	5	500	500
Rapskuchen	5	700	300
Sojaextraktionsschrot (5x)	5 (1x4)	500	500
Sojaschalen (2x)	5	400	600
Sonnenblumenextraktionsschrot	4/5	500/500	590/590
Rübenmelasseschnitzel (2x)	4/5	400	600
Weizen-Mais-Schlempe	5	500	500
Weizenschlempe	5	500	500
Zitrustrester	5	400	600

3. Ergebnisse

Die Tabelle 4 zeigt am Beispiel der Prüfungen für Körnermais die Vorgehensweise bei der Ergebnisdarstellung. Von jeder Prüfung mit Körnermais sind die Befunde zu den chemischen Analysen und die ermittelten Nährstoffverdaulichkeiten dargestellt. Es erfolgt ein Vergleich mit den Angaben der DLG-Futtermitteltabelle (1997) und den Ergebnissen einer Abfrage der DLG-Datenbank Futtermittel, bei der nur Prüfungen ab 1970 berücksichtigt werden. Zusätzlich sind die Angaben des Futtermittellieferanten angegeben.

Tab. 5: Mais, Körner: chemische Analysen, Ergebnisse der Verdaulichkeitsmessungen und Vergleich mit den Daten der DLG-Futterwerttabelle (1997) sowie der DLG Datenbank

Bezeichnung: Lieferant	Mais		Mais		Mais		Mais, Körner		Lieferant-Angaben ³⁾		
	Agravis	RKW Süd DLG '97 ¹⁾	RKW Süd	RKW Süd Datenbank ²⁾ A	R	R	R	R			
TM, g/kg	864	874		860			880	869	86,6	87,5	87,4
Rohasche, g/kg TM	13	14		13			17	17	1,3	1,2	1,2
Rohprotein, g/kg TM	83	87		79			106	102	7,4	8,1	8,2
Rohfett, g/kg TM	44	41		36			45	46	4	4,1	4,15
Rohfaser, g/kg TM	30	32		17			26	25	1,9	1,9	1,9
Stärke, g/kg TM	752	748		765			694	676	63,8	63,2	65,1
aNDFom, g/kg TM	91	98		69					10,1		10
ADFom, g/kg TM	15	29		17					3,5		2,8
Gb, ml/200 mg TM	74,9	72,7		72,4					63,9		68
ELOS, g/kg TM	953	951		966					80,7		
Verdaulichkeit		S		S			S				
OM, %	95,1	1,88	93,8	1,33			86	85,8			
XP, %	68,8	7,55	73,4	5,17							
XL, %	82,2	4,46	85,1	3,20							
XF, %	88,4*	10,09	84,3*	19,39							
aNDFom, %	76,1	15,21	73,6	10,81							
ADFom, %	86,3*	24,31	90,1*	12,95							
berechneter Energiegehalt											
ME, MJ/kg TM	14,56	0,28	14,33	0,20			13,29	12,43		12,08	
NEL, MJ/kg TM	9,44	0,23	9,26	0,16			8,39	7,72		7,71	7,70

¹⁾ DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer 1997, ²⁾ Daten ab 1970, ³⁾ auf Basis Frischmasse in %

* bedeutet: Wert < 0 wurde auf 0 gesetzt, Wert > 100 wurde auf 100 gesetzt

Im Nährstoffgehalt der drei geprüften Körnermaispartien gibt es nur sehr geringe Unterschiede. Im Vergleich zu den DLG-Angaben wird ein um etwa 60 g/kg TM höherer Gehalt an Stärke ausgewiesen. Die Verdaulichkeit der organischen Masse bewegt sich in den aktuellen Prüfungen zwischen 93,6 und 95,1 %, womit in allen Fällen die DLG-Angaben deutlich überschritten werden. Der berechnete Energiegehalt der geprüften Körnermaispartien liegt zwischen 14,25 und 14,56 MJ ME/kg TM bzw. 9,22 und 9,44 MJ NEL/kg TM. Der in den DLG-Tabellen ausgewiesene Wert von 13,29 MJ ME bzw. 8,39 MJ NEL/kg TM wird wiederum deutlich überschritten. Auch die Matrixwerte der Futterlieferanten sind bei Stärke und Energiegehalt deutlich niedriger.

Die Tabelle 5 zeigt für alle hier geprüften Futtermittel die Verdaulichkeit der organischen Masse und den Gehalt an NEL im Vergleich zu den DLG-Angaben. Für Weizen und Weizenkleie ergeben sich aus den aktuellen Prüfungen zum Teil deutlich höhere Verdaulichkeiten und Energiewerte als bisher in den DLG-Tabellen ausgewiesen. Bei Gerste, Roggen und Triticale sind die Abweichungen vergleichsweise gering.

Bei den Ölsaaten zeigt sich ebenfalls beim Sojaextraktionsschrot und bei den Sojaschalen eine verbesserte Verdaulichkeit der organischen Masse als bisher in Tabellen ausgewiesen. Demgegenüber zeigen die Verdaulichkeitsmessungen mit Palmkernkuchen eine geringere Verdaulichkeit der organischen Masse und niedrigere Energiegehalte. Beim Rapsextraktionsschrot und bei den Trockenschnitzeln werden die bisherigen Tabellenwerte wiederum bestätigt. Die Verdaulichkeiten und Energiegehalte der hier geprüften Schlemphen aus Weizen bzw. aus Weizen und Mais liegen höher als bisher tabelliert, stimmen aber gut überein mit den im DLG-Merkblatt (2011) angegebenen Werten.

4. Schlussfolgerungen

Die umfangreichen Prüfungen haben ergeben, dass heutige Weizen- und Körnermaispartien durch höhere Stärkegehalte, bessere Verdaulichkeit der organischen Masse und dadurch bedingt einen höheren Energiewert besitzen als in den DLG-Tabellen von 1997 ausgewiesen. Dieser Befund steht in guter Übereinstimmung mit den von Pribke und Losand (2015) ermittelten Werten. Sortenspezifische bzw. chargenspezifische Unterschiede spielen nur eine untergeordnete Rolle, so dass eine Differenzierung diesbezüglich nicht erforderlich ist.

Auch Sojaextraktionsschrot und insbesondere die Sojaschalen sind nach den hier vorgelegten Ergebnissen energetisch höher einzustufen. Bei Gerste, Roggen, Triticale, Rapsextraktionsschrot und Trockenschnitzeln besteht eine gute Übereinstimmung mit den bisherigen Befunden, so dass eine Änderung der Futtermitteldaten nicht erforderlich ist.

Tab. 5: Vergleich der ermittelten Verdaulichkeit der organischen Masse und des Energiegehaltes mit den Daten der DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (1997)

Futtermittel	VQ OM, %		NEL, MJ/kg TM	
	Prüfung	DLG '97	Prüfung	DLG '97
Gerste	86,1	85	8,4	8,1
Mais, n=3	94,2	86	9,3	8,4
Maiskeimextraktionsschrot	85,6	89	7,9	8,2
Maiskleberfutter	85,6	82	7,9	7,8
Maismehl bzw. -futtermehl	83,3	85	8,5	8,4
Roggen	90,7	90	8,7	8,5
Triticale	91,7	89	8,9	8,3
Weizen, n=5	93,7	89	9,2	8,5
Weizenkleberfutter	82,0	80	7,8	7,4
Weizenkleie, n=3	74,5	67	6,9	5,9
Leinextraktionsschrot	85,1	77	8,3	7,6
Palmkernkuchen, n=2	66,6	76	6,5	7,5
Rapsextraktionsschrot, n=2	79,5	80	7,5	7,3
Rapskuchen	83,0	80	8,7	8,6
Sojaextraktionsschrot, n=5	94,0	91	8,9	8,6
Sojaschalen, n=2	86,7	76	7,5	6,6
Sonnenblumenextraktionsschrot, n=2	67,7	60	5,9	5,3
Trockenschnitzel, n=2	87,8	89	7,6	7,6
Weizen-Mais-Schlempe	81,5		8,2	
Weizenschlempe	80,7	76	8,0	7,4
Zitrustrester	85,8	85	7,4	7,7

5. Literaturangaben

- DLG Datenbank Futtermittel der DLG <http://datenbank.futtermittel.net>
- DLG, 1997 DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer, DLG-Verlag Frankfurt/Main.
- DLG, 2001: Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen, DLG-Information 1/2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- DLG, 2011: Futterwert und Einsatz von getrockneter Weizen- und Weizen/Gerstenschlempe aus der Bioethanolproduktion beim Rind, Juli 2011.
- GfE, 1991: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Leitlinien zur Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen an Wiederkäuern, J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 65, 229-234.
- GfE, 2001: (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder 2001, DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- Priepke, A., Losand, B., 2015: Verdaulichkeit der organischen Substanz, der Roh Nährstoffe und der Energie aus Getreide beim Hammel; in: Tagungsband 15. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung; Fulda.
- Pries, M., Menke, A., Steevens, L., 2008: Futterwert von Weizen In: Riswicker Ergebnisse 2/2008: 15-17.
- UFOP-Praxisinformation, 2004: Einsatz von 00-Rapsextraktionsschrot beim Wiederkäuer.
- Zentralausschuss der Deutschen Landwirtschaft (ZDL), 2011: Normenkommission für Einzelfuttermittel, Positivliste für Einzelfuttermittel, 9. Auflage.

Schwefelgehalte in Futtermitteln für Milchkühe – Auswirkungen auf die Rationsgestaltung

T. Bonsels¹, K.-H. Grünewald²

¹Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Kassel ²Verein Futtermitteltest (VFT), Bonn

1. Einleitung

Schwefel (S) ist als essenzielles Mengenelement für die Tierernährung von großer Bedeutung. Schwefel kommt im Körper zwar nicht in freier Form vor, ist aber in den schwefelhaltigen Aminosäuren (Methionin, Cystein und Cystin) enthalten und liegt in geringem Umfang auch als Sulfat vor (Kirchgeßner et al., 2011). Bei Wiederkäuern ist eine ausreichende S-Versorgung für den Aufbau von Mikrobenprotein nötig. Üblicherweise wird von einer ausreichenden Versorgung der Nutztiere ausgegangen.

Im Herbst 2014 wurde über relativ geringe S-Gehalte in einzelnen Futterproben berichtet, was bei Tierhaltern und Beratern zu Unsicherheit im Hinblick auf eine ausreichende S-Versorgung der Milchkühe führte. Diesbezüglich stellte sich die Frage, wie hoch die S-Gehalte in verschiedenen Grund- / Grobfuttern, in Milchleistungs- und Mineralfuttern sind, um die ausreichende Versorgung der Milchkühe einschätzen zu können.

2. Material und Methoden

Die Versorgungslage wurde durch Berechnung verschiedener Milchviehrationen eingeschätzt. Dazu wurden die S-Gehalte der wichtigsten Grobfuttermittel der Ernte 2014 aus verschiedenen Regionen Deutschlands berücksichtigt, ergänzende Untersuchungen von Total-Mischrationen wurden im LHL Kassel durchgeführt. Die S-Gehalte weiterer Einzelfuttermittel wurden aus unterschiedlichen Quellen berücksichtigt. Für die Einschätzung der S-Gehalte im Kraftfutter wurden seitens des Verein Futtermitteltest e. V. (VFT) im Rahmen eines Monitorings die S-Gehalte verschiedener Rindermischfuttermittel im Herbst/Winter 2014 ermittelt. Die Einschätzung der S-Gehalte im Mineralfutter erfolgte seitens des Mischfutterwerks der Raiffeisen Waren GmbH, Altmorschen. Die Datenherkunft ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Die S-Gehalte der Grob- und Krafftuttermittel werden nur in wenigen LUFA-Einrichtungen regelmäßig geprüft, überwiegend ist Schwefel nicht im Standarduntersuchungsprogramm enthalten und wird somit nur selten beauftragt.

Tab. 1: Datenherkunft

Futterart	Quelle
Milchleistungsfutter, Rindermastfutter, Kälberaufzuchtfutter, Lämmerfutter	VFT-Sonderuntersuchung
Mineralfutter	RW, Altmorschen
Gras, Grassilage (GS), Kleegrassilage (Klee-GS), Maissilage (MS), Ganzpflanzensilage (GPS), Heu, Rapsextraktionsschrot (RES), Totalmischung (TMR)	LUFA Nord-West, LHL Kassel, LUFA Speyer, LfL Grub, BfUL Nossen
Ackerbohnen, Getreide, Körnermais, Trockenschnitzel, Biertreibersilage, Pressschnitzelsilage, Sojaextraktionsschrot, Stroh	LHL Kassel, unterschiedliche Literaturquellen

3. Ergebnisse

3.1 Schwefelgehalte in Futtermitteln

Die Ergebnisse der zusätzlichen Untersuchung auf Schwefel in den vom VFT geprüften Mischfuttermitteln sind in Tabelle 2 mit Mittelwert und Spanne dargestellt. Um im Mischfutterbereich eine größere Bandbreite abdecken zu können, waren neben Milchleistungsfuttern auch Ergänzungsfutter für Mastrinder, für Kälber und für Schafe (Lämmer) in die Untersuchung einbezogen.

Tab. 2: Schwefelgehalte verschiedener Mischfuttermittel (g/kg)

Futter für:	Milchkühe	Mastrinder	Aufzuchtkälber	Schafe
n	206	16	43	38
Mittelwert	3,4	4,0	2,6	2,9
Min	1,1	2,4	1,1	1,8
Max	6,5	7,1	3,7	7,6

Bei weiterer Untergliederung der Milchleistungsfutter in ausgeglichene Milchleistungsfutter, Ausgleichs- und Verschnittfutter zeigen sich Differenzen zwi-

schen 3,0 und 4,4 g S je nach Futtertyp. Für die weiteren Berechnungen wurde der Mittelwert für alle Milchleistungsfutter mit 3,4 g berücksichtigt.

Die S-Gehalte diverser Grobfutter sind zwischen den Regionen unterschiedlich. In Norddeutschland wurden höhere Gehalte sowohl in Gras- ($\bar{\varnothing}$ 2,8 g/kg/TM) als auch in Maisprodukten ($\bar{\varnothing}$ 1,1 g/kg TM) festgestellt. Die niedrigsten Schwefelgehalte wurden in Gras- ($\bar{\varnothing}$ 1,7 g/kg TM) und Kleeegrassilagen ($\bar{\varnothing}$ 1,5 g/kg TM) der ökologisch wirtschaftenden Milchkuhbetrieben in Hessen analysiert. In die Zusammenstellung wurden die Grobfutteranalysen der LUFA Nord-West, des LHL Kassel, der LfL Grub, der LUFA Speyer und der BfUL Nossen einbezogen.

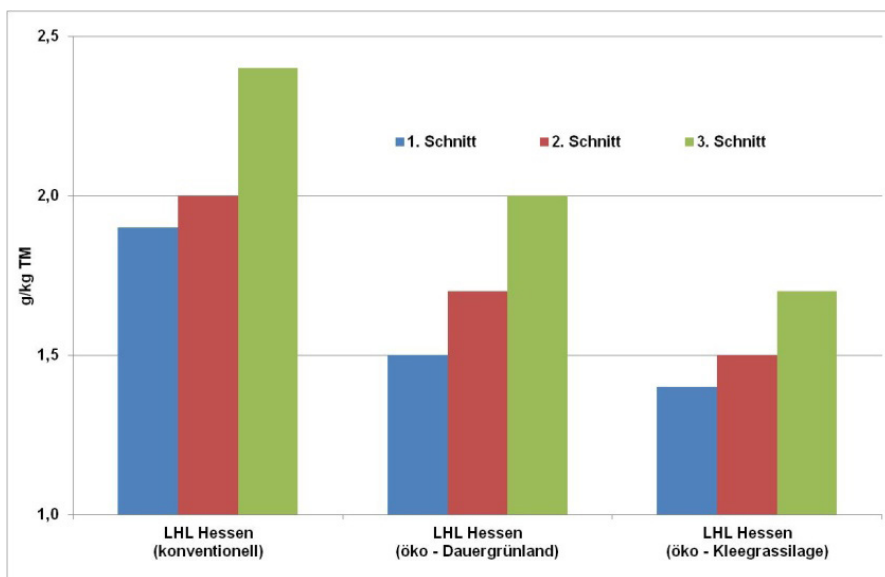


Abb. 1: Schwefelgehalt in Grassilagen in Abhängigkeit von der Schnittnutzung (Hessen konventionell, Öko-Dauergrünland und Grassilagen)

Die Gehalte an Schwefel in Grassilagen in Abhängigkeit von der Schnittnutzung ist in Abbildung 1 dargestellt. Die niedrigsten Gehalte wurden im 1. Schnitt festgestellt. Die Folgeschnitte weisen regionsübergreifend knapp 15-20 % höhere Schwefelgehalte auf.

In Tabelle 3 sind die Schwefelgehalte verschiedener Grob- und Einzelfuttermittel für den Einsatz in der Milchkuhfütterung dargestellt. Die dargestellten Minima- und Maxima-Werte zeigen die große Bandbreite der in der Praxis festgestellten Schwefelgehalte, vor allem bei den untersuchten Grassilagen.

Tab. 3: Schwefelgehalte verschiedener Grobfuttermittel (g/kg TM)

	Gras	GS	Klee-GS	MS	GPS	Heu	TMR
n	51	1 684	27	560	40	152	346
Mittelwert	2,9	2,5	1,5	0,9	1,2	1,8	2,0
Stabw.	0,6	*	0,5	0,1	0,4	0,7	0,4
Min	1,3	1,0	1,2	0,6	0,6	0,8	0,7
Max	4,5	6,5	2,5	1,6	2,1	4,8	3,7

*Standardabw. für Datensätze einzelner Labore berücksichtigt

Auffällig sind die gegenüber den konventionellen Grassilagen deutlich niedrigeren Schwefelgehalte in den Klee-Grassilagen, die aus ökologisch wirtschaftenden Betrieben stammen.

Mit aufgeführt sind in dieser Zusammenstellung auch 346 Proben von Teil- und Total-Misch-Rationen für Milchkühe, die im LHL Kassel untersucht wurden. Im Mittel wurden dort 2,0 g/kg TM Schwefel festgestellt, was den Anforderungen an die Bedarfsdeckung entspricht. Allerdings ist die Spannweite sehr groß, vor allem im Minimum-Bereich, der weit unter den Empfehlungen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie liegt.

Tab. 4: Schwefelgehalte verschiedener Grob- und Einzelfuttermittel, sowie deren Herkunft

Material	S g/kg TM	Quelle
Stroh	1,8	Proteinmarkt
Rapsextraktionsschrot	6,9	Proteinmarkt
Sojaextraktionsschrot	4,6	LLFG Iden
Ackerbohne	4,5	LHL Kassel
Getreide	1,5	LHL Kassel
Körnermais	2,2	LHL Kassel
Trockenschnitzel	6,0	Proteinmarkt
Biertrebersilage	1,5	Proteinmarkt
Pressschnitzelsilage	2,2	Proteinmarkt
Mineralfutter	0,8	RW Altmorschen

Die S-Gehalte für weitere relevante Silagen und diverse Einzelfuttermittel stammen aus verschiedenen Literaturquellen, siehe Tabelle 4. Relativ konstant stellt sich der Schwefelgehalt im Rapsextraktionsschrot (RES) dar. Die im Rahmen des UFOP-Monitoring untersuchten RES-Proben weisen im Mittel 6,9 g/kg TM Schwefel auf. Für Mineralfutter wurde ein Wert von 0,8 g S/kg TM berücksichtigt. Eine Untergliederung auf verschiedene Mineralfuttermitteltypen erfolgte nicht.

3.2 Rationskalkulationen

Als Bedarf wird ein Wert von 2,0 g/kg Futter-TM (bzw. 0,6 g/kg Milch) unterstellt (LfL, 2015). Einerseits ist Schwefel notwendig zur bakteriellen Synthese von schwefelhaltigen Aminosäuren (Methionin, Lysin) und Biotin (Klauengesundheit). Andererseits können höhere S-Gehalte u.a. zu Störungen der Pansenfunktion führen (Meyer, 2005). Für kraftfutterbetone Rationen wird eine maximal tolerierbare S-Konzentration von 3 g/kg Futtertrockenmasse und für grundfutterbetonte Rationen von 5 g/kg Futtertrockenmasse festgelegt (Dänicke und Schenkel, 2009) und damit insgesamt S-Gehalte von $\geq 4,0$ g/kg Futter-TM als kritisch angesehen (Kamphues et al., 2014). Das Stickstoff-Schwefel-Verhältnis sollte zwischen 10–15:1 liegen (GfE, 2001)

Die Rationskalkulationen wurden mit dem EDV-Programm MiFuBo 2014 durchgeführt, die Rationen mit den Mittelwerten der eingesetzten Futtermittel berechnet. Um die Extremwerte herauszuarbeiten, wurden bei den rationsdominierenden Grobfuttern aus Gras- und Maissilage der Mittelwert um je zwei Standardabweichungen ($GS = \pm 0,9$ g/kg TM; $MS = \pm 0,2$ g/kg TM) erhöht bzw. abgesenkt.

Ausgelegt wurden die Berechnungen als Total-Misch-Ration für eine Milchleistung von $\varnothing 30$ kg je Kuh und Tag (675 kg LM, 4,0 % Fett, 3,4 % Eiweiß). Die unterstellte Futteraufnahme aus den Grobfutterkomponenten lag zwischen 13,9 und 14,8 kg TM, die Gesamtration zwischen 20,1 und 20,8 kg TM je Tier und Tag.

Um eine möglichst breite Palette von in der Praxis gefütterten Milchkuhrationen abzubilden, wurden zum einen unterschiedliche prozentuale Anteile an Grobfuttern wie Gras-, Mais- und Ganzpflanzensilage eingesetzt. Zum anderen wurden industrielle Nebenprodukte wie Biertreber- oder Pressschnitzelsilage und verschiedene Kraftfutterergänzungen mit kalkuliert, um ggf. hierdurch auftretende Effekte abbilden zu können.

In Abbildung 2 sind neun unterschiedliche Milchkurationen dargestellt. Um die regionalen Einflüsse hoher Schwefelgehalte, vor allem in Grassilagen (GS) darzustellen, ist in Beispiel 1 eine grasbetonte Ration (Ø 2,8 g S/kg TM) mit 2/3 Gras- und 1/3 Maissilage dargestellt. Die Standardabweichung beträgt hier +/- 0,7 g S/kg TM bei GS. Die Krafftutterergänzung erfolgt über RES, Weizen, Körnermais und Trockenschnitzel.

Die Rationskalkulation (Abb. 2, Beispiel 1) zeigt im Mittel eine ausreichende Bedarfsdeckung. Bei einem Zuschlag von zwei Standardabweichungen erhöht sich der Gehalt an Schwefel um knapp ein Fünftel auf 3,3 g/kg TM, liegt aber immer noch deutlich unter dem als kritisch angesehenen Gehalt von ≥ 4,0 g Schwefel je kg TM. Wird der Mittelwert um zwei Standardabweichungen reduziert, ist immer noch eine Bedarfsdeckung gewährleistet.

Insgesamt zeigen die Rationskalkulationen auf Basis von Gras- und Maisprodukten aus Hessen (Beispiel 2, 3, 4, 5 und 7) im Mittel ausreichende S-Gehalte auf. Lediglich bei Abzug der Standardabweichungen wird eine Bedarfsdeckung bei den Rationsbeispielen 2, 3 und 7 nicht erreicht. Ration 6 ist mit Birtrebersilage als Proteinlieferant kalkuliert. Aufgrund des gegenüber von RES deutlich niedrigeren S-Gehaltes des Birtrebers ist diese Ration nicht bedarfsdeckend.

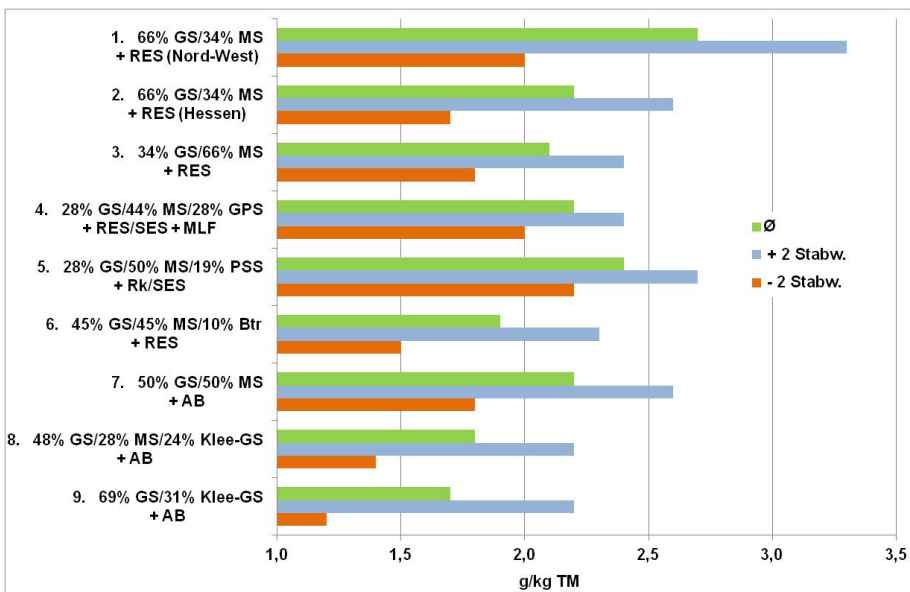


Abb. 2: Bedarfsdeckung von Milchkurationen mit Schwefel in Abhängigkeit vom Rationstyp

Dies trifft in erhöhtem Maße auch für die Rationen 8 und 9 zu. Hier sind die Grobfutter aus dem ökologischen Landbau kalkuliert. Da zum Krafftutterausgleich keine Extraktionsschrote wie RES oder SES eingesetzt werden dürfen, kommen hier nur grobkörnige Leguminosen wie z. B. Ackerbohnen infrage. Deren Gehalt an Schwefel ($\approx 4,5$ g/kg TM) ist gegenüber RES ($\approx 6,9$ g/kg TM) deutlich niedriger und führt in Verbindung mit den ohnehin geringeren S-Gehalten in den Grobfuttern zu einem S-Mangel in den Rationen und damit zu einer deutlichen Unterschreitung der notwendigen S-Versorgung.

Der als kritisch angesehene S-Gehalt von $\geq 4,0$ g/kg Futter-TM wurde bei keiner der kalkulierten Rationen erreicht. Einzelbetrieblich kann dieses Problem trotzdem auftreten (Dohm et al., 2015). Von daher ist eine Futteranalyse der im Betrieb eingesetzten Futtermittel, mindestens der Grobfutter, unerlässlich. Zudem wird der S-Gehalt auch zur Kalkulation der Kationen-Anionen-Bilanz hinsichtlich der Einschätzung der Milchfiebergefährdung benötigt.

4. Zusammenfassung und Fazit

Für 303 Rindermischfutter aus dem Warentest des VFT wurden zusätzlich die Schwefelgehalte untersucht. Von fünf Laboren wurden die Schwefelgehalte für sechs unterschiedliche Grobfuttermittel (insgesamt 2374 Werte) mitgeteilt. Werte für weitere Futtermittel wurden der Literatur entnommen.

Aus den Rationskalkulationen resultiert, je nachdem welche S-Gehalte für einzelne Futtermittel berücksichtigt werden, eine unterschiedliche Abdeckung der Versorgung.

Bei Berücksichtigung der Grundfutter aus Niedersachsen (Daten LUFA Nord-West) mit höheren S-Gehalten wird der Bedarf zwar deutlich überschritten, der kritische Gehalt von $\geq 4,0$ g/kg aber noch nicht erreicht. Lediglich für die im Öko-Bereich eingesetzten Rationen auf Basis Klee gras ergibt sich eine deutliche Unterschreitung der notwendigen S-Versorgung, selbst bei Annahme höherer Werte für das Grobfutter (Mittelwert + 2 Standardabweichungen).

5. Literaturangaben

- Dänicke, S., Schenkel, H., 2009: Zur Bedeutung von Schwefel als unerwünschtem Stoff in der Milchkuhfütterung. *Züchtungskunde* 81(6) 442-450.
- Dohm A., Wolf P., Kamphues J., 2015: Untersuchungen zum Schwefel- und Sulfatgehalt in Grund- und Kraffuttermitteln für Rinder. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 150.
- Engelhard, T., Helm, L., Riemann, E., Andert, G., Zarwel, H., Meyer, A., Bulang, M., 2012: Versuchsbericht: Vergleich von Fütterungsstrategien mit Raps- und Sojaextraktionsschrot. <http://www.llfg.sachsen-anhalt.de/themen/tierhaltung-und-tierzucht/milchrinder/untersuchungsergebnisse/>.
- GfE, 2001: Mengenelemente. In: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 71.
- Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., Liesegang, A., Männer, K., Zebeli, Q., Zentek, J., 2014: Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis. 12. Auflage, Schaper Verlag GmbH Hannover, ISBN: 978-3-7944-0240-3.
- LfL, 2015: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe u. Ziegen. LfL-Informationen, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- Mahlkow-Nerge, K., 2010: Milchfiebevorbegende Fütterung – mit Raps besser als mit Soja möglich, <http://www.proteinmarkt.de/aktuelle-meldungen/artikel/news/milchfiebevorbegende-fuetterung-mit-raps-besser-als-mit-soja-moeglich/>.
- Meyer, U., 2005: Fütterung der Milchkühe. In: *Landbauforschung Völkenrode Sonderheft* 289, 2. Auflage, 111-127.
- Stangl, G. I., 2008: Mengenelemente. In: *Tierernährung*, Kirchgeßner, M., Roth, F. X., Schwarz, F. J., Stangl, G. I., 12. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 185.
- Weber, M., 2015: Rapsextraktionsschrot beweist hohe Qualität-Ergebnisse aus dem deutschlandweiten Monitoring der Fütterungsreferenten 2014. http://www.proteinmarkt.de/fileadmin/user_upload/Fachartikel_KW_16-Rapsmonitoring_web.pdf.

Wirkung eines tanninhaltigen Silierzusatzes auf Nährstoffverdaulichkeit und Energiegehalt von Weidelgras- und Luzernesilagen

H. Kluth¹, S. Roscher², O. Steinhöfel², A. Zeyner¹

¹Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, ²Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Köllitsch

1. Einleitung

Tannine als sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe können mikrobiellen Abbauprozessen sowohl im Siliergut als auch im Pansen entgegenwirken, was möglicherweise auch zu einer besseren Verwertung des Futterrohproteins durch den Wiederkäuer führen kann.

Ziel des Versuches war es, zunächst Wirkungen eines tanninhaltigen Silierzusatzes auf Nährstoffverdaulichkeit und Energiegehalt einer Weidelgras- und Luzernesilage zu untersuchen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchstiere und Haltung

Die Verdaulichkeitsbestimmungen wurden nach standardisiertem Verfahren mit Hammeln (Rauhwolliges Pommersches Landschaf) nach den Empfehlungen von Schiemann (1981) im Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Zentrum Merbitz der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg durchgeführt.

Jede Silage wurde mit einer Kontroll- (ohne Zusatz, -) und einer Versuchsvariante (mit Zusatz, +) an jeweils 4 Tieren geprüft. Zunächst erfolgte eine Vorfütterung von 3 Wochen. Anschließend wurde der Kot tierindividuell mittels Sammelgeschirr über 6 Tage erfasst.

2.2 Siliergut, Probenahme und Rationen

Das gehäckselte Ausgangsmaterial für die Silierung (Weidelgras, 1. Aufwuchs im Ährenschieben, WS; Luzerne, 3. Aufwuchs Beginn der Knospe, LS), wurde

in 30 l-Plastefässern über 120 Tage einsiliert. Das tanninhaltige Mimosaextrakt wurde mit 30 g/kg Trockenmasse (TM) dosiert.

Mit der Öffnung der Fässer wurden die Tagesrationen für die Hammel (2100 g/d) eingewogen und bis zur Verfütterung zunächst tiefgefroren eingelagert.

Als Grundlage für Futtereinwaage, Futterrestermittlung und Kotprobenahme dienten gleichfalls die Richtlinien von Schiemann (1981). Die Erfassung der tierindividuellen Kotmenge erfolgte einmal täglich. Während der Sammelperiode wurde der Kot tiefgefroren (-18 °C). Nach Beendigung wurden die täglich entnommenen Aliquote (10 %) homogenisiert und für die Analysen gefriergetrocknet und vermahlen (1-mm Sieb).

2.3 Analysen, Berechnungen und statistische Auswertung

Die Weender Rohnährstoffe in den Silagen und den Koten wurden nach den Vorschriften des VDLUFA (1976, Methoden 3.1, 4.1.1., 5.1.1. 6.1.1, 8.1) bestimmt. Zur Berechnung der Gehalte an Bruttoenergie, Umsetzbarer Energie und Nettoenergie Laktation wurden die Formeln der GfE (2001) verwendet:

$$\text{GE (MJ/kg)} = 0,0239 \text{ XP} + 0,0398 \text{ XL} + 0,0201 \text{ XF} + 0,0175 \text{ XX}$$

$$\text{ME (MJ/kg)} = 0,0312 \text{ DXL} + 0,0136 \text{ DXF} + 0,0147 (\text{DOS-DXL-DXF}) + 0,00234 \text{ XP}$$

$$\text{NEL (MJ/kg)} = 0,6 [1 + 0,004 (q-57)] \text{ ME (MJ/kg)}, q = \text{ME/GE} * 100$$

OS: Organische Substanz (g/kg), XP: Rohprotein (g/kg), XL: Rohfett (g/kg), XF: Rohfaser (g/kg), XX: N-freie Extraktstoffe (g/kg), D: verdäulich

Die Ergebnisse wurden mittels einfaktorieller Varianzanalyse ausgewertet (Statistika für Windows, Version 9.0).

3. Ergebnisse und Diskussion

Mit Ausnahme von Rohasche lagen die Gehalte an Rohnährstoffen in beiden Silagen in einem hierfür üblichen Bereich (Tab. 1). Insbesondere bei der

Luzernesilage war der Gehalt an Rohasche relativ hoch mit im Mittel 192 g/kg TM (DLG, 1997).

Tab. 1: Gehalte an Rohnährstoffen und Detergenzienfasern [g/kg TM]

WS	TM [g/kg]	XA	XP	XL	XF	NDF _{org}	ADF _{org}
-	259	122	183	42	257	436	268
+	228	119	178	42	252	445	272
LS							
-	338	200	151	19	281	360	308
+	346	184	148	22	300	389	302

Der Silierzusatz führte zu Unterschieden in der Rohnährstoffverdaulichkeit zwischen den Silagen (Tab. 2). Bei der Weidelgrassilage wurde eine signifikante Verringerung um 6 % in der Verdaulichkeit der OS festgestellt. Besonders auffällig und im Hinblick auf den hier untersuchten Zusatz von Interesse ist die signifikante Abnahme der Verdaulichkeit des Rohproteins um immerhin 8 %. Ähnlich negative Auswirkungen wurden für die Verdaulichkeit der Fraktionen der XX und der ADF_{org} ermittelt. Insgesamt führte der Zusatz von Mimosa-Extrakt zu einer signifikanten Abnahme der Gehalte an ME und NEL in der Weidelgrassilage. Die Gehalte nahmen von 11,0 (0,27) auf 10,2 (0,26) bzw. von 6,7 (0,20) auf 6,1 (0,19) MJ/kg TM ab.

Tab. 2: Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und Detergenzienfaser [%]

WS	OS	XP	XL	XF	XX	NDF _{org}	ADF _{org}							
-	80 ^a	2,0	79 ^a	1,9	64	2,1	84	2,2	80 ^a	2,0	82	2,1	83 ^a	1,8
+	74 ^b	1,8	71 ^b	2,0	63	4,3	81	2,6	72 ^b	2,1	80	2,4	78 ^b	2,5
LS														
-	63	1,3	72 ^a	3,0	21 ^a	1,6	49	2,8	73	2,1	44 ^a	2,0	47	1,3
+	62	1,5	64 ^b	0,7	48 ^b	2,7	51	2,3	71	2,3	50 ^b	2,4	46	1,4

^{a, b} kennzeichnen signifikante Differenzen bei $p < 0,05$ (Tukey Test)

Demgegenüber hatte der Zusatz in der Luzernesilage keinerlei Wirkung auf die Verdaulichkeit der OS und den Energiegehalt. Die Verdaulichkeit der OS war annähernd gleich mit 63 (ohne Zusatz) und 62 % (mit Zusatz). Die Gehalte an

ME und NEL variierten ebenso nur geringfügig (ohne Zusatz: 7,7 (0,15) und 4,4 (0,11); mit Zusatz: 7,8 (0,17) und 4,5 (0,12) MJ/kg TM). Die Verdaulichkeit von Rohfett und NDF_{org} war signifikant höher, wenn die Luzerne mit Mimosa-Extrakt einsiliert wurde. Im Hinblick auf die Rohproteinfraktion wurde nach Zusatz von Mimosa-Extrakt in der Luzernesilage eine um 8 % reduzierte Verdaulichkeit gemessen, was dem Ergebnis in der Weidelgrassilage entspricht.

Studien aus der Literatur bestätigen die hier vorliegenden Ergebnisse, dass mit unterschiedlichen Wirkungen auf die Rohnährstoffverdaulichkeit bei einem Einsatz von Tanninen gerechnet werden kann. Mehrheitlich liegen aber solche Untersuchungen vor, in denen Tannine direkt zur Fütterung verabreicht wurden. So führten Tannine (Quebracho) in Untersuchungen an Milchkühen allerdings nur zu einer numerischen Verringerung in der Verdaulichkeit von OS und NDF, wobei sie einer Ration auf Basis von Luzerneheu und Maissilage zugesetzt wurden (Dschaak et al., 2011).

Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Benchaar et al. (2008). Die Verdaulichkeit von OS, NDF und ADF zeigte gleichfalls eine nur geringfügige Abnahme, wenn Tanninextrakte (Quebracho) eingesetzt wurden. Auch weiterführende Untersuchungen zum *in situ* Abbau von Sojaextraktionsschrot, Grassilage und Mais ließen keine Wirkung der Tannine erkennen.

In Versuchen an Ziegen konnte allerdings gezeigt werden, dass Tanninextrakte aus Mimosa in Abhängigkeit von der Dosierung durchaus zu einer erheblichen Verringerung in der Nährstoffverdaulichkeit führen können (Bhatta et al., 2013). Im Vergleich zur Kontrolle nahm die Verdaulichkeit der OS bei Zugabe signifikant um 10 Prozentpunkte ab. Hiervon waren auch die Verdaulichkeit der NDF, ADF sowie der Energie betroffen. Die verfütterten Rationen bestanden im Wesentlichen aus Heu (Wiesenlieschgras), Mais und Sojaextraktionsschrot.

Als Ursache für die Abnahme vor allem in der Verdaulichkeit der Faserfraktionen wird die inhibierende Wirkung der Tannine auf den mikrobiellen Faserabbau im Vormagensystem angesehen. Allerdings kann der Umfang durch die Art der Tannine beeinflusst werden (Deaville et al., 2010).

In den Untersuchungen von Deaville et al. (2010) sollten ähnliche Fragen geklärt werden wie in der hier vorliegenden Verdaulichkeitsbestimmung. So wurde die Wirkung von unterschiedlichen Tanninen (Kastanie und Mimosa) an Schafen

geprüft, wobei die Extrakte sowohl als Silierzusatz zu einer Grassilage als auch durch separate Gabe unmittelbar zur Fütterung gleicher aber unbehandelter Grassilage eingesetzt wurden. Es zeigte sich auch hier, dass Tannine eine signifikante Reduzierung in der Verdaulichkeit der OS bewirken können. Allerdings hatte die Art der Applikation des Extraktes keinen Einfluss auf die Verdaulichkeit. In allen genannten Untersuchungen zeigte sich jedoch, dass Tannine zu einer Erhöhung der Kot-N-Ausscheidung bzw. zu einer Abnahme in der XP-Verdaulichkeit führen (Dschaak et al., 2011, Benchaar et al., 2008, Bhatta et al., 2013, Deaville et al., 2010, Gerlach et al., 2015). Dies steht in Übereinstimmung mit der in den eigenen Untersuchungen gemessenen, deutlichen Verringerung der Rohproteinverdaulichkeit.

Höhere Kot-N-Ausscheidungen können die Folge einer Reduzierung des N-Überschusses beim mikrobiellen XP-Abbau sein. Von Vorteil ist, dass dies gleichzeitig mit geringeren umweltrelevanten N-Verlusten über den Harn verbunden ist (Deaville et al. 2010, Gerlach et al., 2015).

4. Fazit

Der Einsatz von Mimosa als tanninhaltiger Silierzusatz führte zu unterschiedlichen Wirkungen auf die Nährstoffverdaulichkeit und den Energiegehalt. Während in der Weidelgrassilage eine signifikante Abnahme in der Verdaulichkeit der OS und im Energiegehalt ermittelt wurde, blieb der Zusatz in der Luzernesilage bei den gleichen Parametern ohne Wirkung.

Die Verdaulichkeit des Rohproteins wurde durch den Zusatz in beiden Silagen deutlich reduziert. Zur Klärung dieses Effektes sollten *in situ* Untersuchungen zur Abschätzung des mikrobiellen Abbaus durchgeführt werden, da eine Interpretation dieses Ergebnisses mit den hier vorliegenden Daten aus einer Verdaulichkeitsbestimmung nicht möglich ist.

5. Literaturangaben

- Benchaar, C., McAllister, T.A., Chouinard, P.Y., 2008: Digestion, ruminal fermentation, ciliate protozoal populations, and milk production from dairy cows fed cinnamaldehyde, quebracho condensed tannin, or *Yucca schidigera* saponin extracts. *J. Dairy Sci.* 91, 4765-4777.
- Bhatta, R., Enishi, O., Yabumoto, Y., Nonaka, I., Takusari, N., Higuchi, K., Tajima, K., Takenaka, A., Kurihara, M., 2013: Methane reduction and energy partitioning in goats fed two concentrations of tannin from *Mimosa* spp. *J. Agric. Sci.* 151, 119-128.
- Deaville, E.R., Givens, D.I., Mueller-Harvey, I., 2010: Chestnut and mimosa tannin silages: effects in sheep differ for apparent digestibility, nitrogen utilisation and losses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 157, 129-138.
- DLG, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft; 1997: DLG-Futterwert-tabellen für Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt (Main).
- Dschaak, C.M., Williams, C.M., Holt, M.S., Eun, J.-S., Young, A.J., Min, B.R., 2011: Effects of supplementing condensed tannin extract on intake, digestion, ruminal fermentation, and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94, 2508-2519.
- Gerlach, K., Hoffmann, C., Pries, M., Tholen, E., Südekum, K.-H., 2015: Auswirkungen von Akazientanninzulagen auf das Leistungsgeschehen und die Stickstoff-Nutzungseffizienz hochleistender Milchkühe. Forum angewandte Forschung (Tagungsunterlagen), Fulda: 14.-15. April 2015, S. 65-68.
- GfE, Gesellschaft für Ernährungsphysiologie; 2001: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt (Main).
- Schiemann, R., 1981: Methodische Richtlinien zur Durchführung von Verdauungsversuchen für die Futterwertschätzung. *Arch. Tierern.* 31, 1-19.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: In: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Loseblattsammlung mit Ergänzungen von 1983, 1988 und 1993. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Nährstoffgehalt und ruminale Abbaubarkeit von Mais-Restpflanze und Mais-Kolben in Abhängigkeit von Sorte und Vegetationsstadium

G. Terler, L. Gruber

HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Nutztierforschung, Irnding-Donnersbachtal

1. Einleitung und Fragestellung

Silomais ist in der Rinderfütterung weit verbreitet. In Regionen, in denen Ackerbau möglich ist, nimmt Silomais teilweise beträchtliche Anteile in Rationen von Milchkühen und Mastrindern ein. Damit entsprechende Tierleistungen erreicht werden können, ist es unbedingt notwendig, auf den Futterwert von Silomais zu achten. Im Gegensatz zu Wiesenfutter besteht die Maispflanze aus zwei völlig konträren Pflanzenteilen (Restpflanze und Kolben), deren Futterwert sich während der Abreife gegenläufig entwickelt. Während der Stärke- und Energie-Gehalt im Kolben steigt, nimmt die Verdaulichkeit der Restpflanze ab. Um einen hohen Futterwert erreichen zu können, muss also jener Erntezeitpunkt gefunden werden, bei dem gleichzeitig ein möglichst hoher Stärkegehalt im Kolben und eine möglichst geringe Verholzung der Restpflanze vorliegt. Neben dem Erntezeitpunkt kann jedoch auch die Sorte einen entscheidenden Einfluss auf den Futterwert von Silomais haben. Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurden daher die Nährstoffzusammensetzung und die ruminale Abbaubarkeit von Restpflanze und Kolben neun verschiedener Silomais-Sorten untersucht. Durch Ernte zu jeweils drei verschiedenen Erntezeitpunkten war es möglich, Aussagen über den optimalen Erntezeitpunkt von Silomais zu treffen.

2. Material und Methodik

Der Anbau der neun Sorten erfolgte in drei Jahren (2007, 2008, 2010) in der Region Wels in Oberösterreich (Tab. 1). Die drei verschiedenen Erntezeitpunkte (Eztp) richteten sich nach dem Trockenmasse-Gehalt (TM) im Kolben. Jeweils 30 Pflanzen einer Sorte wurden bei angestrebten TM-Gehalten im Kolben von 45-50 % (Eztp VOR), 50-55 % (Eztp HAUPT) und 55-60 % (Eztp NACH) geern-

tet. Anschließend wurden Restpflanze und Kolben getrennt voneinander in kleinen Plastiksilos siliert. Nach 3-monatiger Silierung wurde die Nährstoffzusammensetzung (TM, XP, XL, XF, XX, XA, $aNDF_{OM}$, ADF_{OM} , ADL) gemäß den Vorschriften von VDLUFA (1976) analysiert und Proben für die Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit vorbereitet (Gefriertrocknung und Vermahlung auf 2 mm Partikelgröße).

Tab. 1: Verwendete Sorten mit dazugehöriger Reifezahl (RZ)

Reifegruppe I		Reifegruppe II		Reifegruppe III	
Sorte	RZ	Sorte	RZ	Sorte	RZ
1 Nuestro	230	4 Roberto	270	7 DK315	320
2 NK Falkone	250	5 PR39T45	280	8 PR39F58	320
3 Beatle	260	6 Ronalدينio	290	9 Friedrixx	330

Die Bestimmung der ruminalen TM-Abbaubarkeit erfolgte nach der *in situ*-Methode von Ørskov et al. (1980). Die verwendeten Nylon bags wiesen eine Größe von 10x20 cm und eine Porengröße von 50 μ m auf. Bei der Restpflanze wurden 10 (0, 3, 6, 10, 14, 24, 42, 65, 92 und 120 h) und beim Kolben 9 verschiedene Inkubationszeiten (0, 3, 6, 10, 14, 24, 48, 72 und 96 h) verwendet. Für die Untersuchungen standen vier fistulierte Ochsen zur Verfügung, wobei jede Probe (Sorte x Erntezeitpunkt x Jahr x Inkubationszeit) bei jedem Ochsen einmal inkubiert wurde. Die Ochsen erhielten eine Ration bestehend aus jeweils 25 % Heu, Grassilage, Maissilage und Konzentrat und wurden viermal täglich gefüttert. Die Berechnung der Abbauparameter a (rasch und vollständig lösliche Fraktion des Futtermittels), b (potentiell abbaubare Fraktion des Futtermittels) und c (Abbaurrate der Fraktion b) erfolgte nach der Formel von Ørskov (1979): $PD = a + b \times (1 - e^{-c \times t})$, wobei PD für die potentielle ruminale Abbaubarkeit und t für die Inkubationszeit steht. Die effektive Abbaubarkeit bei einer Passage-rate (k) von 5 % h^{-1} (ED5) wurde nach der Formel von McDonald (1981), modifiziert nach Südekum (2005), berechnet: $ED = a + (b \times c) / (c + k) \times e^{-k \times lag}$. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe eines Allgemeinen linearen Modells mit den fixen Effekten Sorte und Erntezeitpunkt und der Wechselwirkung Sorte x Erntezeitpunkt. In den folgenden Tabellen bedeuten unterschiedliche Hochbuchstaben signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den Sorten bzw. Erntezeitpunkten. Weiters wurden auch Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) zwischen den Gehalten an Inhaltsstoffen und der ED5 berechnet.

3. Ergebnisse

Der TM-Gehalt der Restpflanze schwankte je nach Sorte zwischen 183 und 212 g/kg FM und nahm vom ersten zum letzten Erntezeitpunkt signifikant zu (Tab. 2). Der Gehalt an Rohprotein (XP) unterschied sich signifikant zwischen den Sorten und sank mit zunehmender Reife deutlich ab, während alle weiteren Nährstoffe von Sorte und Erntezeitpunkt unbeeinflusst blieben. Alle Sorten \times Erntezeitpunkt-Wechselwirkungen waren nicht signifikant. Die Sorten PR39T45 und PR39F58 fielen hinsichtlich der PD und ED5 deutlich von den meisten anderen Sorten ab, was im Falle der Sorte PR39T45 auf die geringe Abbaurrate c ($0,025 \text{ h}^{-1}$) und im Falle der Sorte PR39F58 auf den geringen Anteil der sofort löslichen Fraktion a (10,3 %) zurückzuführen ist. Dagegen erreichte die Sorte Nuestro aufgrund des hohen Anteils an a (16,0 %) die höchsten Werte für PD (65,4 %) und ED5 (31,7 %). Hinsichtlich des Erntezeitpunkts zeigte sich, dass eine späte Ernte negative Auswirkungen auf PD und ED5 hat, da der Anteil an a und die Abbaurrate c vom zweiten zum dritten Erntezeitpunkt deutlich abnahmen. Die ED5 war beim mittleren Erntezeitpunkt mit 30,9 % am höchsten, obwohl die PD beim ersten Erntezeitpunkt höher ausfiel. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Abbaurrate (c) beim mittleren Erntezeitpunkt signifikant höher war als bei der frühen Ernte. Signifikante Wechselwirkungen von Sorte und Erntezeitpunkt wurden nicht festgestellt. Der Gehalt an Neutral-Detergenzien-Faser (NDF) wies von allen Inhaltsstoffen die höchste Korrelation zur ED5 ($r = -0,59$, $P < 0,001$) auf. Das bedeutet, dass sich die ED5 der Restpflanze am besten anhand des NDF-Gehalts voraussagen ließ, wobei die ED5 mit steigendem NDF-Gehalt zurückging.

Der TM-Gehalt im Kolben der neun untersuchten Sorten schwank zwischen 491 und 555 g/kg FM (Tab. 3). Beim Rohprotein wurden signifikante Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt. Neben dem TM-Gehalt stieg auch der Gehalt an Nichtfaser-Kohlenhydraten (NFC) im Kolben zwischen erstem und zweitem Erntezeitpunkt signifikant an. Parallel dazu nahm der Gehalt an Faser-Kohlenhydraten deutlich ab. Eine späte Ernte (Erntezeitpunkt NACH) führte zu keiner weiteren Erhöhung des Gehalts an NFC im Kolben. Von den ruminalen Abbauparametern unterschied sich lediglich die PD signifikant zwischen den Sorten, wobei jedoch alle Sorten in einem ähnlichen Bereich (zwischen 89,6 und 92,0 %) lagen. Auffällig war jedoch, dass die spätreifen Sorten (hohe Reifezahl) hohe Anteile an der sofort löslichen Fraktion a enthielten, während die frühreifen Sorten reicher an der potentiell löslichen Fraktion b waren. Das bewirkte, dass die

Tab. 2: Einfluss von Sorte und Erntezeitpunkt auf Nährstoffzusammensetzung und ruminale Abbaubarkeit der Trockenmasse der Restpflanze

	TM	XP	XF	aNDF _{OM}	NFC	a	b	c	lag	PD	ED5
	g/kg FM		g/kg TM		%	%	h ⁻¹	h	%	%	%
Sorte											
Nuestro	194 ^{abc}	63	368	642	204	16,0 ^a	49,4	0,030 ^{ab}	3,32 ^b	65,4 ^a	31,7 ^a
NK Falkone	211 ^a	59	379	656	200	12,9 ^{ab}	50,4	0,032 ^{ab}	3,90 ^{ab}	63,3 ^{abc}	28,8 ^{abc}
Beatle	186 ^c	63	389	666	185	14,8 ^a	46,5	0,033 ^a	2,90 ^b	61,3 ^{bc}	30,9 ^a
Roberto	195 ^{abc}	57	382	660	195	15,0 ^a	48,6	0,030 ^{ab}	4,19 ^{ab}	63,6 ^{abc}	29,8 ^{ab}
PR39T45	208 ^{ab}	59	399	688	169	12,3 ^{ab}	48,1	0,025 ^c	4,73 ^{ab}	60,5 ^c	24,8 ^c
Ronaldinio	212 ^a	59	392	671	188	13,8 ^{ab}	50,3	0,031 ^{ab}	4,56 ^{ab}	64,0 ^{abc}	28,9 ^{abc}
DK315	183 ^c	61	384	661	195	15,3 ^a	48,9	0,028 ^{bc}	4,58 ^{ab}	64,2 ^{ab}	29,1 ^{abc}
PR39F58	199 ^{abc}	61	395	677	176	10,3 ^b	50,2	0,032 ^{ab}	5,46 ^a	60,5 ^c	25,1 ^{bc}
Friedrixx	190 ^{bc}	62	384	656	197	13,7 ^{ab}	48,9	0,030 ^{ab}	3,73 ^{ab}	62,6 ^{abc}	28,9 ^{abc}
Erntezeitpunkt											
VOR	180 ^c	65 ^a	386	656	193	14,0 ^{ab}	49,8 ^a	0,029 ^b	4,30	63,8 ^a	28,6 ^b
HAUPT	190 ^b	59 ^b	383	663	192	15,2 ^a	47,7 ^b	0,033 ^a	3,77	62,9 ^{ab}	30,9 ^a
NACH	223 ^a	57 ^b	388	673	186	12,1 ^b	49,6 ^a	0,028 ^b	4,39	61,8 ^b	26,5 ^c
Statistische Parameter											
LS-Mean	198	60	386	664	190	13,8	49,0	0,030	4,15	62,8	28,7
RSD	13	4	20	27	27	2,7	2,5	0,003	1,2	2,3	2,9
P-Wert Sorte	<0,001	0,042	0,086	0,060	0,151	0,005	0,062	<0,001	0,005	0,001	<0,001
P-Wert Eztp	<0,001	<0,001	0,708	0,075	0,598	0,001	0,008	<0,001	0,148	0,018	<0,001
P-Wert SortexEztp	0,593	0,124	0,375	0,231	0,472	0,273	0,145	0,102	0,854	0,708	0,670
R ²	86,2	84,0	31,9	33,0	19,1	48,0	35,4	76,2	37,4	42,4	56,5

Tab. 3: Einfluss von Sorte und Erntezeitpunkt auf Nährstoffzusammensetzung und ruminale Abbaubarkeit der Trockenmasses des Kolbens

	TM g/kg FM	XP	XF	aNDF _{om}	NFC g/kg TM	a	b	c	PD	ED5
						%	%	h ⁻¹	%	%
Sorte										
Nuestro	555 ^a	87 ^a	66	172	680	36,6	52,9	0,107	89,6 ^c	70,2
NK Falkone	551 ^{ab}	81 ^{cde}	63	175	687	42,2	48,9	0,085	91,2 ^{ab}	71,2
Beatle	521 ^{de}	82 ^{bcd}	67	174	685	38,7	52,5	0,099	91,2 ^{ab}	70,5
Roberto	502 ^{ef}	86 ^{ab}	63	167	690	38,8	52,9	0,1	91,7 ^{ab}	71,3
PR39T45	541 ^{abc}	78 ^e	61	161	701	45,2	45,3	0,085	90,5 ^{bc}	71,8
Ronaldinio	532 ^{bcd}	85 ^{abc}	69	187	669	41,6	49,3	0,102	90,8 ^{abc}	72,4
DK315	491 ^f	78 ^{de}	64	168	700	47	43,9	0,106	90,8 ^{abc}	74,6
PR39F58	521 ^{cde}	81 ^{cde}	59	162	700	45,1	46,9	0,101	92,0 ^a	75
Friedrixx	516 ^{de}	81 ^{cde}	61	170	692	46,1	44,5	0,111	90,6 ^{bc}	74,2
Erntezeitpunkt										
VOR	494 ^c	82	71 ^a	180 ^a	679 ^b	47,5 ^a	42,6 ^b	0,114 ^a	90,1 ^b	75,9 ^a
HAUPT	522 ^b	82	61 ^b	166 ^b	694 ^a	44,0 ^a	47,1 ^b	0,090 ^b	91,1 ^a	72,7 ^b
NACH	561 ^a	83	60 ^b	166 ^b	695 ^a	35,6 ^b	56,1 ^a	0,094 ^{ab}	91,6 ^a	68,5 ^c
Statistische Parameter										
LS-Mean	525	82	64	171	689	42,4	48,6	0,1	90,9	72,4
RSD	13	3	10	19	21	9,7	9,7	0,034	0,9	3,6
P-Wert Sorte	<0,001	<0,001	0,441	0,197	0,05	0,272	0,302	0,715	<0,001	0,05
P-Wert Eztp	<0,001	0,421	<0,001	0,014	0,017	<0,001	<0,001	0,038	<0,001	<0,001
P-Wert Sorte x Eztp	0,748	0,483	0,857	0,839	0,77	0,793	0,825	0,673	0,561	0,658
R ²	93,8	74,8	66,4	69,2	70	57,9	59,4	32	54,2	77,9

drei Sorten mit der höchsten Reifezahl zumindest numerisch deutlich höhere ED5 erreichten als die anderen Sorten. Mit zunehmendem Vegetationsstadium nahm a im Kolben signifikant ab, während b deutlich zunahm. Das führte dazu, dass die ED5 mit fortschreitender Reife signifikant zurückging. Sowohl bei der Nährstoffzusammensetzung als auch bei der TM-Abbaubarkeit des Kolbens wurden keine Sorten×Erntezeitpunkt-Wechselwirkungen festgestellt. Der TM-Gehalt hatte von allen Inhaltsstoffen die stärkste Korrelation zur ED5 ($r = -0,61$; $P < 0,001$), wobei die ED5 mit steigendem TM-Gehalt des Kolbens sank.

4. Diskussion

Im vorliegenden Versuch wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sorten und Erntezeitpunkten hinsichtlich des Gehalts an Gerüstsubstanzen in der Restpflanze festgestellt. Dies steht im Widerspruch zu den Versuchen von Flachowsky et al. (1993), Pex et al. (1996), Gruber und Hein (2006) und Zeller et al. (2014), in denen der Gehalt an NDF mit fortschreitender Reife signifikant anstieg und auch zwischen den Sorten deutliche Unterschiede bestanden. In all diesen Untersuchungen wurden jedoch frische Maisproben analysiert, während für den vorliegenden Versuch silierte Restpflanzen herangezogen wurden, was ein möglicher Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse sein kann. Zunehmende TM- und abnehmende XP-Gehalte in der Restpflanze mit zunehmender Reife wurden im eigenen Versuch und auch in den Untersuchungen von Pex et al. (1996), Gruber und Hein (2006) und Zeller et al. (2014) festgestellt. Die im aktuellen Versuch aufgetretenen Unterschiede im XP-Gehalt des Kolbens zwischen den Sorten werden durch die Untersuchungen von Gruber und Hein (2006) nicht bestätigt. Die Abnahme des Gehalts an Gerüstsubstanzen im Kolben mit fortschreitendem Vegetationsstadium stimmt dagegen mit früheren Ergebnissen überein (Flachowsky et al., 1993; Pex et al., 1996; Gruber und Hein, 2006) und ist vermutlich auf die Zunahme des Korn- und Abnahme des Spindelanteils am Kolben zurückzuführen.

Im Gegensatz zum aktuellen Versuch stellten Akbar et al. (2002) keine Sortenunterschiede hinsichtlich der potentiellen TM-Abbaubarkeit von Restpflanze und Kolben fest. Zeller et al. (2014) fanden bei Sorten unterschiedlicher Reifezahl ausschließlich bei früher Ernte Unterschiede zwischen Sorten hinsichtlich der effektiven TM-Abbaubarkeit der Restpflanze. Die im vorliegenden Projekt

festgestellte Abnahme der TM-Abbaubarkeit der Restpflanze mit zunehmender Reife wird durch die Versuche von Flachowsky et al. (1993), Akbar et al. (2002) und Zeller et al. (2014) bestätigt. In der Untersuchung von Flachowsky et al. (1993) nahm bei einer Sorte, wie im aktuellen Projekt, die potentielle TM-Abbaubarkeit des Kolbens mit fortschreitender Reife signifikant zu, während sie bei einer anderen

Sorte vom Erntezeitpunkt unbeeinflusst blieb. Die aktuellen Untersuchungen zeigen, dass die effektive Abbaubarkeit der Restpflanze am besten anhand des NDF-Gehalts und jene des Kolbens anhand des TM-Gehalts vorausgesagt werden kann. Verbič et al. (1995) stellten in ihrem Versuch ebenfalls hohe negative Korrelationen zwischen NDF-Gehalt und effektiver Abbaubarkeit der Restpflanze fest.

5. Schlussfolgerung

Die Nährstoffzusammensetzung und die TM-Abbaubarkeit von Kolben und Restpflanze unterscheiden sich deutlich zwischen einzelnen Sorten. Mit zunehmender Reife steigen über alle Sorten gesehen der Gehalt an NDF in der Restpflanze und der Gehalt an NFC im Kolben deutlich an. Da der NDF-Gehalt der Restpflanze mit ihrer effektiven Abbaubarkeit stark negativ korreliert ist, geht die effektive Abbaubarkeit der Restpflanze bei später Ernte deutlich zurück. Gleichzeitig sinkt auch im Kolben die effektive Abbaubarkeit mit fortschreitender Reife (steigendem TM-Gehalt im Kolben), während der NFC-Gehalt ansteigt. Aufgrund der Ergebnisse des vorliegenden Versuchs wird deshalb empfohlen, Silomais bei einem Trockenmasse-Gehalt des Kolbens von 50-55 % zu ernten.

6. Literaturangaben

- Akbar, M., Lebzien, P., Flachowsky, G., 2002: Measurement of yield and in situ dry matter degradability of maize varieties harvested at two stages of maturity in sheep. *Anim. Feed Sci. Technol.* 100, 53-70.
- Flachowsky, G., Peyker, W., Schneider, A., Henkel, K., 1993: Fibre analyses and in sacco degradability of plant fractions of two corn varieties harvested at various times. *Anim. Feed Sci. Technol.* 43, 41-50.

- Gruber, L., Hein, W., 2006: Ertrag und Futterqualität von Silomais in Abhängigkeit von Vegetationsstadium, Sorte und Standort. Kongressband 118. VDLUFA-Kongress, Freiburg im Breisgau, 19.-22.09.2006, 244-259.
- McDonald, I., 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 96, 251-252.
- Ørskov, E.R., McDonald, I., 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 92, 499-503.
- Ørskov, E.R., Hovell, F.D., Mould, F., 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5, 195-213.
- Pex, E.J., Schwarz, F.J., Kirchgessner, M., 1996: Zum Einfluss des Erntezeitpunktes von Silomais auf Verdaulichkeit und Energiegehalt von Maissilage bei Rind und Schaf. *Wirtschaftseig. Futter* 42, 83-96.
- Südekum, K.-H., 2005: Möglichkeiten und Grenzen einer Standardisierung der *in situ*-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. Übers. *Tierernährung* 33, 71-86.
- VDLUFA (Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), (1976 inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, 2004, 2006, 2007, 2012): Methodenbuch BAND III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Verbič, J., Stekar, J., Resnik-Čepon, M., 1995: Rumen degradation characteristics and fibre composition of various morphological parts of different maize hybrids and possible consequences for breeding. *Anim. Feed Sci. Technol.* 54, 133-148.
- Zeller, F.M.E., Edmunds, B.L., Schwarz, F.J., 2014: Effect of genotype on chemical composition, ruminal degradability and *in vitro* fermentation characteristics of maize residual plants. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 98, 982-990.

Erhaltungssorten, Amateursorten, Erhaltungsmischungen, Populationen

F. Trautwein

Bundessortenamt, Hannover

Einleitung

Gemäß Saatgutverkehrsgesetz darf bei landwirtschaftlichen Arten nur anerkanntes Saatgut zugelassener Sorten, bei Gemüsearten auch Standardsaatgut zugelassener Sorten in Verkehr gebracht werden.

Voraussetzung für die Zulassung einer Sorte ist, dass diese unterscheidbar, homogen und beständig ist, Sorten landwirtschaftlicher Arten müssen zudem einen landeskulturellen Wert nachweisen. Die Prüfung einer Kandidatensorte auf Unterscheidbarkeit, Homogenität und Beständigkeit erfolgt in der Registerprüfung des Bundessortenamtes. In den Wertprüfungen wird der landeskulturelle Wert ermittelt, der dann gegeben ist, wenn die Kandidatensorte eine deutliche Verbesserung gegenüber vergleichbaren Sorten erwarten lässt, sei es für den Anbau, die Verwertung des Erntegutes oder der daraus gewonnenen Erzeugnisse.

Für dieses reguläre Zulassungsverfahren werden jährlich etwa 800 bis 1000 Sorten beim Bundessortenamt angemeldet. Die Anzahl der in Deutschland zugelassenen Sorten ist in den vergangenen Jahren stetig angestiegen von 2390 im Jahr 1995 auf 3178 Sorten im Jahr 2015.

Saatgutrechtliche Ausnahmeregelungen

Fragen der Biodiversität haben in den vergangenen Jahren in der Gesellschaft zunehmend an Bedeutung gewonnen, mit Auswirkungen auch auf saaatgutrechtliche Regelungen. Nach Unterzeichnung des Übereinkommens über die biologische Vielfalt 1992 in Rio de Janeiro hat die EG 1998 in einer Richtlinie festgelegt, dass pflanzengenetische Ressourcen erhalten werden müssen und hierfür entsprechende Rechtsgrundlagen zu schaffen sind, die die Erhaltung von Sorten, welche von genetischer Erosion bedroht sind, durch Nutzung **in situ**

ermöglicht. Die Schaffung von Rechtsgrundlagen auf europäischer Ebene war ein langwieriger Prozess und erfolgte in drei Teilregelungen:

Die Richtlinie mit Ausnahmeregelungen zur Zulassung von Erhaltungssorten landwirtschaftlicher Arten (2008/62/EG) wurde national mit der „Erhaltungssortenverordnung“ (2009) umgesetzt.

Die Richtlinie mit Ausnahmeregelungen zur Zulassung von Erhaltungs- und Amateursorten von Gemüsearten (2009/145/EG) erfuhr die Umsetzung in Deutschland durch eine Ergänzung der Erhaltungssortenverordnung (2010).

Die Richtlinie mit Ausnahmeregelungen für das Inverkehrbringen von Futterpflanzensaatgutmischungen zur Erhaltung der natürlichen Umwelt (2010/60/EU) wurde schließlich in der „Erhaltungsmischungsverordnung“ in nationales Recht umgesetzt (2011).

Erhaltungssortenverordnung

Gemäß Erhaltungssortenverordnung gelten für Erhaltungs- und Amateursorten verminderte Anforderungen an die Homogenität. Der „Landeskulturelle Wert“ landwirtschaftlicher Erhaltungssorten wird nicht über Wertprüfungen ermittelt, denn die Erhaltung als pflanzengenetische Ressource gilt per se als landeskultureller Wert. Zudem besteht die Möglichkeit, durch Vorlage einer Sortenbeschreibung auf den Prüfungsanbau zu verzichten, und ein rein administratives Zulassungsverfahren durchzuführen. Es wurden somit deutliche Erleichterungen für den Vertrieb solcher Sorten geschaffen.

Für die Zulassung als **Erhaltungssorte** einer landwirtschaftlichen Art oder einer Gemüseart gelten folgende Voraussetzungen:

- Sorte ist nicht geschützt
- Sorte ist nicht zugelassen
- Zulassung vor mehr als 2 Jahren gelöscht
- Sorte wird traditionell in bestimmten Gebieten „Ursprungsregion“ angebaut
- Sortenerhaltung erfolgt in der Ursprungsregion

Die Zulassung als **Amateursorte** einer Gemüseart (bei landwirtschaftlichen Arten ist eine Zulassung als Amateursorte nicht möglich) kann nur unter folgenden Voraussetzungen erfolgen:

- Sorte ist nicht geschützt
- Sorte ist nicht zugelassen
- Zulassung vor mehr als 2 Jahren gelöscht
- Sorte hat an sich keinen Wert für den Anbau zu kommerziellen Zwecken

Amateursorten können auch neu gezüchtete Sorten von Gemüsearten sein. Sie sind nicht an eine Ursprungsregion gebunden.

Die **Menge an Saatgut** einer Erhaltungssorte, die in Verkehr gebracht werden darf, ist begrenzt. Bei landwirtschaftlichen Arten ist die Höchstmenge je Erhaltungssorte, bezogen auf die Gesamtmenge, die je Art und Jahr in Deutschland ausgesät wird, wie folgt festgelegt: 0,3 % bei Gerste, Futtererbse, Kartoffel, Mais, Raps, Sonnenblume und Weizen, 0,5 % bei den übrigen landwirtschaftlichen Arten. Die Gesamtmenge für alle Erhaltungssorten einer Pflanzenart wurde auf maximal 10 % des Gesamtsaatgutverbrauchs festgelegt. Das Saatgut darf nur in der Ursprungsregion in Verkehr gebracht werden.

Saatgut von Amateursorten darf nur in Kleinpackungen vermarktet werden; es sind Höchstmengen je Packung festgelegt, eine Begrenzung der Gesamtmenge ist nicht vorgegeben.

Das **Saatgut** wird nicht anerkannt. Saatgut landwirtschaftlicher Arten muss jedoch den **Anforderungen** an zertifiziertes, Saatgut von Gemüsearten denen an Standard Saatgut genügen, bei jeweils geringerer Anforderung an die Homogenität. Es unterliegt der amtlichen Nachkontrolle.

Die **Anzahl der zugelassenen Erhaltungssorten** liegt in Deutschland inzwischen bei insgesamt 31, darunter elf Weizensorten, vier Kartoffel- und je drei Mais-, Roggen-, Spelzsorten.

Unter den 49 zugelassenen **Amateursorten** befinden sich zehn Tomaten- und jeweils vier Auberginen-, Grünkohl-, Mangold-, Möhren- und Zuckermaissorten.

Erhaltungsmischungsverordnung

Die Erhaltungsmischungsverordnung regelt das Inverkehrbringen von sog. „gebietseigenem Saatgut“, also von Saatgut am natürlichen Standort vorkom-

mender Ökotypen. Darunter befinden sich auch Arten, die im Artenverzeichnis zum Saatgutverkehrsgesetz (SaatG) aufgeführt sind. Vor Inkrafttreten der Erhaltungsmischungsverordnung gab es einen rechtlichen Widerspruch zwischen Saatgutrecht und den Anforderungen des Naturschutzrechts: gemäß SaatG darf bei Arten des Artenverzeichnisses nur zertifiziertes Saatgut zugelassener Sorten in Verkehr gebracht werden. Von Naturschutzseite wird zur Bewahrung der natürlichen Umwelt die Verwendung gebietseigenen Saatguts gefordert. Mit Verabschiedung der Erhaltungsmischungsverordnung wurde dieser rechtliche Widerspruch aufgehoben.

Wer beabsichtigt, Saatgut von Erhaltungsmischungen in Verkehr zu bringen, bedarf der Genehmigung durch die zuständigen Länderdienststellen. Die Bundesländer haben hierfür die Anerkennungsstellen benannt.

Man unterscheidet zwischen direkt geernteten Mischungen und angebauten Mischungen. Bei **direkt geernteten Mischungen** wird Saatgut am Entnahmeort geerntet und so in Verkehr gebracht. Ihr Anteil ist vergleichsweise gering. Wesentlich größere Bedeutung haben die **angebauten Erhaltungsmischungen**, für deren Produktion Saatgut auf bestimmten Flächen innerhalb eines Ursprungsgebiets gesammelt werden, nach Arten getrennt bis zu 5 Generationen im zum Ursprungsgebiet gehörenden Produktionsraum vermehrt und anschließend in für die Region typischer Zusammensetzung gemischt werden.

Deutschland ist in 22 Ursprungsregionen aufgeteilt, die 8 Produktionsräumen zugewiesen sind. Erhaltungsmischungen dürfen nur im Ursprungsgebiet in den Verkehr gebracht werden, um eine Verfälschung der gebietsheimischen Flora zu vermeiden. Bis März 2020 kann das Saatgut auch in angrenzende Ursprungsregionen verbracht werden, wenn dort Mangel an Saatgut bestimmter Arten herrscht.

Der Erhaltungsmischung muss eine Prüfbescheinigung einer anerkannten Zertifizierungsstelle beigefügt sein.

Die **Menge an Saatgut**, die in Verkehr gebracht werden darf, ist begrenzt, die Zuweisung erfolgt durch das Bundessortenamt.

2014 wurden 200.000 kg zugewiesen (62.000 kg in Verkehr gebracht), 2015 wurden 150.000 kg beantragt und zugewiesen.

Populationenverordnung

Im Rahmen der Diskussionen zur Überarbeitung des Europäischen Saatgutrechts wurden weitere Ausnahmeregelungen gefordert. Bestimmte Kreise äußerten Interesse am Vertrieb von Saatgut sog. „Populationen“: Material mit einem hohen Grad an Heterogenität, das nicht der im Saatgutrecht zugrunde gelegten Definition einer Sorte entspricht, aber von Nutzen für extensive Landwirtschaft und biologisch wirtschaftende Betriebe sein könnte.

Um Erfahrungen mit solchem heterogenen Material sammeln zu können, führt die EU Kommission ein bis Ende 2018 **zeitlich befristetes Experiment** durch, an dem sich neben anderen Mitgliedstaaten auch Deutschland beteiligt. Der Durchführungsbeschluss 2014/150/EU wurde mit der „Verordnung über das Inverkehrbringen von Saatgut von Populationen der Arten Hafer, Gerste, Weizen, Mais“ vom 28. Juli 2015 umgesetzt.

Populationen werden durch Kreuzung von fünf oder mehr Sorten in allen Kombinationen erzeugt, bei fremdbefruchtenden Arten durch den gemeinsamen Anbau von fünf oder mehr Sorten. Anschließend erfolgt eine natürliche Auslese des Bestandes in den nachfolgenden Generationen.

Um Saatgut in Verkehr bringen zu können, muss die entsprechende Population zugelassen sein. Der Feldbestand zur Erzeugung des Saatguts wird mindestens zweimal amtlich besichtigt, das Saatgut muss mindestens die in den EU-Richtlinien Beschaffenheitsanforderungen erfüllen, wobei mindestens 5 % der Proben amtlich zu untersuchen sind. Eine Saatgutenerkennung erfolgt nicht.

Die Menge des Saatguts, das je Population in Verkehr gebracht werden darf, ist beschränkt auf höchstens 1 % der Menge, die von der jeweiligen Art im gesamten Bundesgebiet ausgesät wird. Die Zuweisung der Saatgutmengen erfolgt durch das Bundessortenamt

Die **Zahl der Anmeldungen** zur Zulassung beim Bundessortenamt liegt inzwischen bei 7 für Populationen von Winterweizen.

Das **Experiment** wird Ende 2018 entweder beendet, als Experiment fortgeführt oder in eine Dauerregelung überführt.

Nachweis von gentechnisch veränderten Bestandteilen in konventionellem Saatgut – amtliche Methoden in Deutschland und EU-Konzepte

O. Goerlich, U. Busch,

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, Oberschleißheim

1. Weltweiter Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen

Gentechnisch veränderte Pflanzen (GVP) haben in den letzten 15 Jahren durch den jährlich ansteigenden globalen Anbau an Bedeutung gewonnen. Die Gesamtanbaufläche betrug weltweit im Jahr 2014 181 Millionen Hektar (James, 2014). Die Hauptanbauggebiete liegen in den USA, Brasilien, Argentinien, Kanada, Indien und China. Die Pflanzenarten mit den größten Anbauflächen sind Soja, Mais, Baumwolle und Raps.

In der EU werden gegenwärtig kaum gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut. In Deutschland gibt es zurzeit weder einen Anbau noch Freisetzungen von gentechnisch veränderten Pflanzen. Jedoch findet häufig die Vermehrung von konventionellem Saatgut in Ländern außerhalb der EU statt (z. B. in Südamerika), in denen gentechnisch veränderte Pflanzen auf großen Flächen angebaut werden. Dabei kann es durch Einkreuzung und durch Vermischungen beim Transport zu Kontaminationen von konventionellem Saatgut mit gentechnisch veränderten Bestandteilen kommen.

2. Zulassung von gentechnisch verändertem Saatgut

Gentechnisch veränderte Pflanzen werden in einem EU-einheitlichen Verfahren zugelassen:

Dabei sind folgende Rechtsvorschriften zu beachten:

Tab. 1: Rechtsvorschriften für die Zulassung gentechnisch veränderter Produkte und den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen

Rechtsnorm	Anwendungsbereich
EU-Freisetzungsrichtlinie (2001/18/EG)	Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen
Verordnung (EG) über gentechnisch veränderte Lebens- und Futtermittel (1829/2003)	in Verkehr bringen von Lebensmittel oder Futtermitteln, die aus gentechnisch veränderten Organismen (GVO) bestehen oder hergestellt wurden

In der EU ist gegenwärtig lediglich der Anbau der gentechnisch veränderten Maislinie MON810 zugelassen. In Deutschland ist der Anbau dieser Linie jedoch seit 2009 verboten. Es gibt demnach aktuell keine gentechnisch veränderten Pflanzen, die in Deutschland angebaut werden dürfen. Für Saatgut, das Samen nicht zugelassener gentechnisch veränderter Pflanzen enthält, gilt Nulltoleranz.

Werden gentechnisch veränderte Bestandteile in konventionellem Saatgut gefunden, muss es vom Markt genommen werden und darf nicht für die Aussaat verwendet werden. Wurde kontaminiertes Saatgut ausgesät, müssen die aufgelaufenen Pflanzen vernichtet werden.

3. Historie der GVO-Saatgutanalytik in Deutschland

Erstmals wurden in Bayern im Frühjahr 2000 in Sommerraps-Saatgut der Sorte Hyola Beimischungen von transgenen Rapssamen bis zu 0,8 % gefunden. Vergleichbare Ergebnisse gab es auch in anderen Ländern (z. B. Baden-Württemberg) und in weiteren EU-Mitgliedstaaten (z. B. Großbritannien). Diesen Vorfall haben die Behörden in Deutschland damals zum Anlass genommen, ein Routine-Untersuchungsprogramm zu gentechnisch veränderten Bestandteilen in Saatgut zu etablieren, das seitdem weitergeführt wird.

4. Leitfaden zur GVO-Saatgutanalytik in Deutschland

Die behördlichen Labore orientieren sich bei den Untersuchungen von Saatgut auf gentechnisch veränderte Bestandteile an einem Handlungsleitfaden der

Bund-Länderarbeitsgemeinschaft Gentechnik (LAG) zum GVO-Saatgutmonitoring. Ziel dieses Leitfadens ist es ein einheitliches Vorgehen bei Probenahme und Untersuchungen sowie einen effektiven Austausch von Untersuchungsergebnissen zwischen den Ländern sicherzustellen.

Kernpunkte dieses Leitfadens sind:

- Untersuchung der Saatgut-Proben durch Labore der Länder
- Möglichst frühzeitige Probenahme – Abschluss der Untersuchungen möglichst vor der Aussaat.
- Probenahme parallel zum Anerkennungsverfahren
- Vermeidung von Doppelprobenahmen und Doppeluntersuchungen
- Effizienter Austausch der Analyseergebnisse zwischen den Ländern.
- Datenbank für Saatgut-Analyseergebnisse

5. Methode der amtlichen Sammlung nach §28b GenTG – Subsampling-Verfahren

Zur Durchführung der Saatgut-GVO-Analytik gibt es eine Methode, die Teil der amtlichen Methodensammlung nach §28b GenTG ist. Diese Methode beruht auf dem sogenannten „Subsamplingverfahren“.

Kernpunkte dieser Methode sind:

- Es wird ein Prüfplan erstellt.
- Nach diesem Prüfplan werden eines oder mehrere Subsamples mit definierten Körnerzahlen mit qualitativen Methoden untersucht.
- Mit den verwendeten Methoden muss 1 transgenes Korn/ Subsample nachweisbar sein.
- Aus der Anzahl der untersuchten Körner lässt sich die Nachweisgrenze des Prüfplans statistisch berechnen.
- Der Standardprüfplan sieht eine Untersuchung von 3000 Körnern vor. Für diesen Prüfplan ergeben die Berechnungen eine Nachweisgrenze von 0,1 %.
- Die Methode basiert auf Konzepten der ISTA (International Seed Testing Organisation).

6. Ablauf der GVO-Saatgutanalytik am Bayerischen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL)

Die Untersuchungen werden nach dem oben beschriebenen Leitfaden unter Anwendung der Saatgut-Methode der amtlichen Methodensammlung nach §28b GenTG durchgeführt.

Es werden Mais- Raps- Senf- und Sojasaatgut untersucht.

6.1 Ablauf der GVO-Saatgutanalytik-Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung umfasst folgende Schritte:

- Abzählen von 3x1000 Körnern in einer Zählmaschine (Contador)
- Waschen und Trocknen der Körner
- Mahlen des Saatguts (Thermomix)
- Semiautomatische Präparation von genomischer DNA aus Aliquots des Mehls mit dem Maxwell Extraktionsautomaten

6.2 Ablauf der GVO-Saatgutanalytik-Screening

Die Proben werden auf häufig in gentechnisch veränderten Pflanzen vorkommende Genelemente untersucht. Beispiele sind die Elemente p35S (35S-Promotor des Blumenkohlmosaikvirus) und nos (nos-Terminator aus *Agrobacterium tumefaciens*). Die Untersuchungen werden mit Multiplex real-time PCR durchgeführt.

6.3 Ablauf der GVO-Saatgutanalytik-Identifizierung

Bei Proben mit positivem Screening-Ergebnis werden die gentechnisch veränderten Samen mit Hilfe sogenannter Event-spezifischer real-time PCR-Methoden identifiziert. Mit diesen Methoden kann die gentechnisch veränderte Linie (z. B. MON810) ermittelt werden.

Da für nicht zugelassene gentechnisch veränderte Bestandteile in Saatgut Nulltoleranz gilt, ist eine quantitative Bestimmung nicht erforderlich.

7. Harmonisierung der GVO-Saatgutanalytik auf EU-Ebene – ENGL – Working Group „Seed Testing“

Das European Network of GMO Laboratories (ENGL) ist ein Netzwerk, in dem amtliche Labore aus den Mitgliedsstaaten der EU vertreten sind, die sich mit GVO-Analytik befassen. Das ENGL hat sich zum Ziel gesetzt, einen Beitrag zu Standardisierung und Harmonisierung der GVO-Analytik in der EU zu leisten.

Im Jahr 2013 wurde die Working Group „Seed Testing“ des ENGL gegründet, die sich mit der GVO-Analytik bei Saatgut befassen sollte.

7.1 ENGL-Working Group „Seed Testing“-Mandat / Auftrag

Der Arbeitsgruppe wurden folgende Aufgaben übertragen:

- Beratung der Kommission hinsichtlich der Untersuchung von Saatgut auf gentechnisch veränderte Bestandteile.
- Bei der Anwendung von auf statistischen Berechnungen beruhenden Sub-sampling – Verfahren kann durch Erhöhung der Anzahl der Subsamples die Nachweisgrenze erniedrigt werden. Die Arbeitsgruppe sollte ermitteln, wie der Aufwand und die Kosten der Analytik von der erreichbaren Nachweisgrenze abhängen.
- Das Verhältnis von Aufwand zur erreichbaren Nachweisgrenze sollte für die wichtigsten Pflanzenarten bestimmt werden.
- Das von der AG erarbeitete Konzept könnte als Grundlage einer Empfehlung der Kommission für die Mitgliedsstaaten zur GVO-Saatgutanalytik herangezogen werden.

7.2 ENGL-Working Group „Seed Testing“ – Inhalt des Reports

Im Report der Arbeitsgruppe werden unter anderem folgende Themen behandelt:

Die Arbeitsgruppe hat eine Bestandsaufnahme der Saatgut-GVO-Analytik in den Mitgliedsstaaten der EU durchgeführt. Die Analyse hat ergeben, dass es in zwischen Mitgliedsstaaten sowohl hinsichtlich der Anzahl der untersuchten Saatgutproben als auch hinsichtlich der methodischen Vorgehensweise große Unterschiede gibt. Demnach gibt es in diesem Bereich einen großen Harmonisierungsbedarf.

Für die wichtigsten Pflanzenarten wurde basierend auf dem „Subsampling-Konzept“ (siehe Abschnitt 5) das Verhältnis von Analysenkosten zu erreichbarer Nachweisgrenze des Prüfplans ermittelt. Die aus diesen Analysen erhaltenen Prüfpläne mit optimalem „Preis-/Leistungsverhältnis“ entsprechend weitgehend den in Deutschland bei der Saatgut-GVO-Analytik verwendeten Prüfplänen (siehe Abschnitt 5).

8. Literaturangaben

James, C., 2014: Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops. ISAAA Brief No. 49, ISAAA Ithaca, NY.

Echtheitsbestimmung bei der Lägerrispe (*Poa supina*)

B. Voit, S. Vana, B. Killermann

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising

1. Einleitung

Ein sattgrüner Rasen ist der Traum vieler Gartenbesitzer. Jedoch hat jedes Grundstück auch seine Problemzonen. Dazu gehören die Schattenbereiche von Bäumen, Sträuchern und Gebäuden. An diesen Stellen beginnt die Moosbildung bzw. verschwindet der Rasen und es wächst Unkraut. Eine Problemlösung sind Rasenmischungen, die zusätzlich zu den drei üblichen Komponenten Weidelgras (*Lolium perenne*), Rotschwingel (*Festuca rubra*) und Wiesenrispe (*Poa pratensis*) die Lägerrispe (*Poa supina*) als weitere Komponente beigemischt haben. Die Lägerrispe ist schattenverträglich und verfügt über eine hohe Konkurrenz- und Durchsetzungskraft. Darüber hinaus ist sie durch eine intensive Bestockung sehr ausdauernd. Hinzu kommt der optische Vorteil einer sattgrünen Farbe während der Vegetation.

2. Problemstellung

Samenmorphologisch besteht das Problem, dass sich Lägerrispe (*Poa supina*) und Einjährige Rispe (*Poa annua*) nicht voneinander unterscheiden lassen.

Für beide Arten gilt:

- die Spelzfrüchte sind bauchiger als die der übrigen Rispenarten
- die Kiel- und Randnerven der Deckspelze sind behaart
- die Randnerven der Vorspelze sind behaart, aber nicht bezahnt

Während sich die anderen Rispenarten an der „Zahnausprägung“ der Vorspelze unterscheiden lassen, ist das bei der Lägerrispe (*Poa supina*) nicht möglich (Heinisch, 1955). Selbst unter Zuhilfenahme rasterelektronenmikroskopischer (REM) Aufnahmen mit 60.000facher Vergrößerung ist eine Unterscheidung der beiden Rispenarten nicht möglich (Abb. 1).

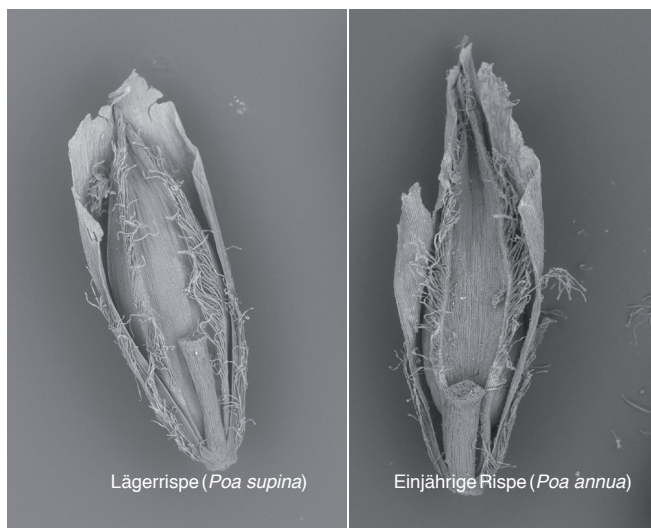


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Lägerrispe (*Poa supina*) und Einjährigen Rispe (*Poa annua*)

Die Unterscheidung der Lägerrispe von der Einjährigen Rispe ist deshalb so wichtig, weil die Einjährige Rispe wegen ihrer Braunverfärbung im Rasen sehr schnell ein optisch wenig ansprechendes Bild abgibt. Verschärft wird die Problematik durch die permanente Blüte und Samenbildung der Einjährigen Rispe. Dadurch erfolgt die Ausbreitung im Rasen sehr schnell. Die Einjährige Rispe kommt auf fast jedem Acker vor und stellt damit bei jeder Lägerrispen-Vermehrung ein großes Problem dar.

3. Material und Methoden

Da sich die Lägerrispe und die Einjährige Rispe samenmorphologisch nicht unterscheiden lassen, ist die Elektrophorese der Speicherproteine eine Möglichkeit die beiden Arten sicher zu differenzieren. Als Methode der Wahl hat sich die diskontinuierliche SDS-PAGE (Sodiumdodecylsulfat-Polyacrylamid-Gelelektrophorese) herauskristallisiert. Die Methode wurde in der Arbeitsgruppe Saatgutforschung auf die entsprechenden Bedürfnisse angepasst, optimiert und in-house validiert. Da die Validierungsstudie zum Testen der Wiederholbarkeit zwischen Laboren noch aussteht, ist die Unterscheidung von Lägerrispe und Einjähriger Rispe mittels SDS-PAGE noch keine ISTA-Methode (ISTA, 2015).

Die Samen der zu untersuchenden Lägerrispen-Proben werden einzeln mit einem Skalpell zerquetscht und zur Proteinextraktion in eine Mikrotiterplatte gegeben. Referenzsamens von der zu untersuchenden Sorte sowie von Einjähriger Rispe werden ebenfalls mitgeprüft. Der Probenauftrag auf die vertikalen Gele erfolgt mit einer Mehrkanalpipette. Die Elektrophorese wird 30 Minuten bei 20 mA und 60 Minuten bei 40 mA durchgeführt. Die Spannung beträgt kontinuierlich 500 V. Anschließend erfolgt das Anfärben und Auswerten der Gele.

4. Ergebnis und Zusammenfassung

Samen von Lägerrispe und Einjähriger Rispe lassen sich anhand samendiagnostischer Merkmale nicht unterscheiden. Mit Hilfe der Elektrophorese der Speicherproteine (SDS-PAGE) ist eine sichere Unterscheidung möglich. Wie Abbildung 2 zeigt, kann mit Hilfe der unterschiedlichen Bandenmuster (= Elektrophoresemuster) eine eindeutige Unterscheidung der Samen von Lägerrispe und Einjähriger Rispe vorgenommen werden.

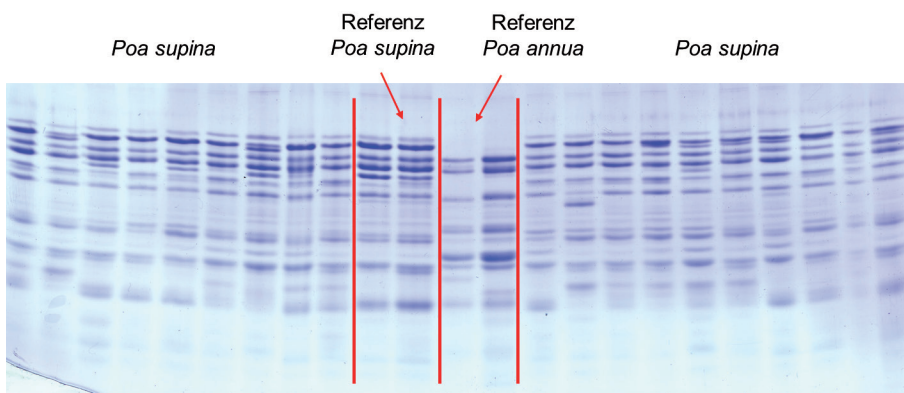


Abb. 2: Elektrophoresemuster von Lägerrispe (*Poa supina*) und Einjähriger Rispe (*Poa annua*) nach einer diskontinuierlichen SDS-PAGE

5. Literaturangaben

ISTA (International Seed Testing Association), 2015: International Rules for Seed Testing (Internationale Vorschriften für die Prüfung von Saatgut). Zürich, Schweiz.

Heinisch, O., 1955: SAMENATLAS, Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin.

6. Danke

Besonderer Dank geht an Silke Vana, die die Methode maßgeblich erarbeitet und etabliert hat.

Entwicklung von quantitativen und qualitativen Nachweismethoden für Brandkrankheiten (*Tilletia spp.*) bei Weizen mittels qPCR

M.K. Grundler¹, B. Killermann¹, B. Voit¹, L. Niessen²

¹Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Freising, ²Technische Universität München, Lehrstuhl für Technische Mikrobiologie, Freising

1. Einleitung

Im Rahmen der Gesundheitsprüfung in der ökologischen Saatgutvermehrung erfolgt bei Weizen und Dinkel die Untersuchung u. a. auf die samen- und bodenbürtigen Krankheitserreger Weizensteinbrand (*Tilletia caries* (DC) Tul.) und Zwergsteinbrand (*Tilletia controversa* Kühn). In Deutschland ist Saatgut mit einem Sporenbefall von bis zu 20 Sporen/Korn (S/K) uneingeschränkt anzuerkennen und verkehrsfähig. Ein Befall von 21 bis 100 S/K führt zu einer Beizauflage (konventioneller Landbau) oder muss im Ökolandbau einer geeigneten Saatgutbehandlung unterzogen werden. Mit über 100 S/K ist das Saatgut abzuerkennen. Diese Schwellenwerte sind für beide Erreger gleichermaßen gültig (AG-AKST, 2013). Darüber hinaus gelten im internationalen Saatguthandel für einige Länder Quarantänebestimmungen sowie verschiedene hohe Schwellenwerte.

Für die Saatgutvermehrung, sowie für Export und Import ist somit eine zuverlässige, schnelle Bestimmung des Sporenbefalles von großer Bedeutung. Derzeit erfolgt der Nachweis nach ISTA Working Sheet No.53 (ISTA, 1984), einer mikroskopischen Methode nach morphologischen Merkmalen, die eine langjährige Erfahrung voraussetzt. Um die Bestimmung und die Unterscheidung der Arten zu vereinfachen soll im Rahmen eines dreijährigen Projektes eine selektive, sensitive sowie reproduzierbare molekularbiologische Methode (quantitative Real-time PCR, kurz qPCR) zum qualitativen und quantitativen Nachweis der Brandsporen entwickelt und validiert werden.

2. Material und Methoden

Für die Methodenentwicklung werden derzeit Aufsammlungen von Sporen verschiedener Regionen Deutschlands sowie angrenzender Länder und den USA

(*Tilletia laevis*) verwendet. Die Brandbutten befallener Ähren aus kontrollierten Versuchsflächen liefern speziesspezifisches Material, welches zusätzlich mikroskopisch nach morphologischen Merkmalen überprüft wird. Die Isolation der genomischen DNA aus den Sporen erfolgt mit kommerziell erwerblichen Extraktionskits. Für die Entwicklung der spezifischen Primer und Sonden werden bekannte bakterielle und pilzliche Mikrosatellitenprimer und phylogenetische Marker zur Amplifizierung und Sequenzierung relevanter Genregionen verwendet. Bisher wurden eine Vielzahl von ISSR (Inter-Simple Sequence Repeat) Regionen und Fragmente der Gene RPB2 (DNA-directed RNA polymerase II core subunit RPB2) und ACL1 (ATP citrate lyase subunit 1) mit Standard PCR und Agarose-Gelelektrophorese analysiert, relevante Amplifikate aufgereinigt und von einem Dienstleister sequenziert.

Ergänzend zu den Sporenisolaten aus den Brandbutten soll Pilzmyzel als weiteres Ausgangsmaterial für DNA Extraktionen durch Einzelsporenkultivierung bereitgestellt werden. Dazu werden Sporensuspensionen verschiedener Aufsammlungen auf 2 % Wasseragar aufgebracht und bei 5 °C (*Tilletia controversa*) und 15 °C (*Tilletia caries*) inkubiert. Nach beginnender Keimung werden einzelne Sporen inklusive des gebildeten Promyzel isoliert, auf Nährmedien (z. B. Kartoffel-Dextrose-Agar) umgesetzt und weiter inkubiert.

3. Ergebnisse

Die Kultivierung des Pilzmyzels erwies sich als langwieriger sowie schwieriger Prozess, weshalb noch nicht ausreichend Pilzmyzel gewonnen werden konnte. Die folgenden Ergebnisse beruhen somit, wie oben beschrieben, auf DNA Isolationen mehrerer Sporen aus einer Brandbutte.

Aus umfangreichen Literaturrecherchen sowie der Überprüfung von Nukleinsäuresequenzen in den gängigen Datenbanken mittels BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) und multiplen Sequenzalignments wurden keine geeigneten Primer und Sequenzen zur qualitativen Unterscheidung der Arten gefunden.

Abbildung 1 zeigt die auf einem Agarosegel aufgetrennten Bandenmuster der mit den ISSR Markern (GA)₈YT (Shen et al., 2012) und (AGA)₇ (Seneviratne et al., 2009) amplifizierten Regionen je zweier DNA Isolate von *Tilletia caries* und

T. controversa. Die beiden Arten unterscheiden sich in der Anzahl und Größe der gebildeten Amplifikate ((AGA)₇). Es sind jedoch auch Unterschiede innerhalb einer Art bei verschiedenen Isolaten (O2 und O3) erkennbar ((GA)₈YT). Wiederholungen zeigen, dass die Bandenmuster gleicher Isolate nicht immer reproduzierbar und die Sequenzen isolierter Amplifikate mit gleicher Produktgröße innerhalb einer Art nicht homogen sind.

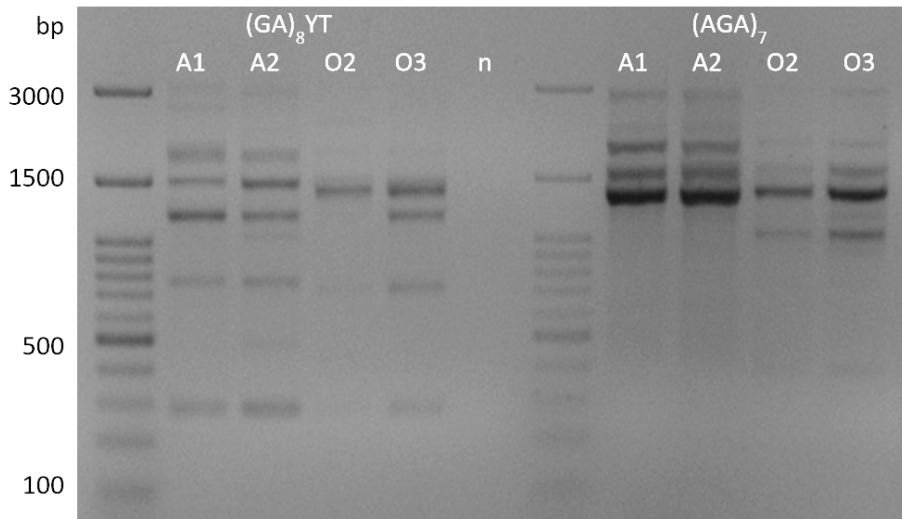


Abb. 1: Agarosegel der PCR-Produkte amplifiziert mit ISSR Markern (GA)₈YT und (AGA)₇; A = *T. caries*, O = *T. controversa*, 1-3 = Aufsammlungen der Sporen nach Ort, n = negativ Kontrolle, Marker = Serva Fast Load 100bp

Mit den entwickelten Primern für die Fragmente der Gene RPB2 und ACL1 werden zwar artspezifisch homologe, reproduzierbare Bandenmuster und Amplifikate gebildet, jedoch ergab die Sequenzierung dieser Fragmente jeweils eine absolute Übereinstimmung der Nukleinsäureabfolge der drei Arten, *Tilletia caries*, *T. controversa* und *T. laevis*. Hierbei handelt es sich wohl um hoch konservierte Regionen, die eine sehr nahe Verwandtschaft dieser Arten bestätigen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die bis jetzt erzielten Ergebnisse weisen entweder nicht homogene und nicht reproduzierbare Bandenmuster oder artübergreifend identische Sequenzen

auf. Somit eignen sich die bisher sequenzierten DNA-Fragmente leider nicht als Grundlage für die Entwicklung der spezifischen Primer und Sonden. Weitere Untersuchungen sind notwendig und werden aktuell durchgeführt. Alternative Ansätze zur Gewinnung geeigneter Sequenzen werden kontinuierlich geprüft.

Im weiteren Verlauf werden die entwickelten Primer und Sonden auf ihre Spezifität und Sensitivität überprüft. Die absolute Quantifizierung der Brandsporen erfolgt anschließend mit Hilfe von Standardkurven und interkalierenden, fluoreszierenden Farbstoffen. Fluoreszierend markierte Sonden sollen außerdem für die Analyse von Mischproben (Vorhandensein von *Tilletia caries* und *T. controversa* in einer Probe) eingesetzt werden (Multiplexanwendung).

5. Literaturangaben

AG-AKST (Arbeitsgemeinschaft der Anerkennungsstellen für landwirtschaftliches Saatgut- und Pflanzgut), 2013: Erforderliche Gesundheitsprüfungen im Rahmen der amtlichen Anerkennung von Saatgut. In: Beschlussammlung der Arbeitsgemeinschaft der Anerkennungsstellen für landwirtschaftliches Saat- und Pflanzgut in Deutschland (Stand 27.09.2013).

ISTA (International Seed Testing Association), 1984: Working Sheet No. 53, *Triticum aestivum*, *Tilletia controversa* Kühn, *Tilletia caries* (DC) Tul., *Tilletia foetida* (Wallr.) Liro In: ISTA Handbook on Seed Health Testing, Zürich, Schweiz.

Seneviratne, J.M., Gupta, A.K., Pandey, D., Sharma, I., Kumar, A., 2009: Determination of Genetic Divergence Based on DNA Markers Amongst Monosporidial Strains Derived from Fungal Isolates of Karnal Bunt of Wheat. *Plant Pathol. Journal* 25(4), 303-316.

Shen, W.K., Xi, P., Li, M., Liu, R., Sun, L., Jiang, Z., Zhang, L., 2012: Genetic diversity of *Ustilago scitaminea* Syd. in Southern China revealed by combined ISSR and RAPD analysis. *African Journal of Biotechnology* 11(54), 11693-11703.

Bessere Arbeitshaltung in der Saatgutuntersuchung

S. Sørensen, S. Prøver, R. T. Fabricius

TAGARNO AS - Dänemark



Die Einführung des digitalen Kameramikroskops MAGNUS HD TREND von TAGARNO in der Getreide- und Saatgutbranche hat neue Standards für ergonomische Arbeitsplätze in Getreide- und Saatgutlabors geschaffen. Arbeitsroutinen, bei denen heute mit Lupenlampen, Stereolupen oder herkömmlichen optischen Mikroskopen

gearbeitet wird, können mit einem Kameramikroskop und einem Bildschirm viel ergonomischer ausgeführt werden.



Die Rückmeldungen der Anwender sind klar: Die geänderte Arbeitshaltung führt zu weniger Verspannungen in Nacken und Rücken, die Augen ermüden nicht und es ist möglich, über längere Zeiträume konzentriert zu arbeiten. Typische Anwendungen, bei denen das digitale Kameramikroskop die Arbeit erleichtert, sind Reinheitsanalyse,

Keimtest und Sorten-identifikation, aber es lässt sich auch für die Identifikation von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen/Nutztieren anwenden.



Reinheitsanalyse



Keimfähigkeit TZ



Sortenidentifikation

Über die ergonomischen Vorteile hinaus bietet die Kamera auch neue Möglichkeiten im Bereich Dokumentation, da man mit Hilfe der benutzerfreundlichen

Software einfach Bildaufnahmen machen und Messungen vornehmen kann. Darüber hinaus eignet sich das digitale Kameramikroskop ideal für die Schulung neuer Mitarbeiter oder die Durchführung von Workshops, da mehrere Personen dieselben Details gleichzeitig sehen können. MAGNUS HD TREND von TAGARNO ist in Dänemark entwickelt worden, wird in Dänemark hergestellt und befindet sich heute in Getreide- und Saatgutlabors im größten Teil Europas im Einsatz, wo es für die Analyse von Korn, Gemüsesamen, Grassamen, Rüben, Raps und Blumensamen verwendet wird.

Nachweis der Gleichwertigkeit zweier Analysenverfahren: Bestimmung von Wasser- und Rohaschegehalt, nach dem Methodenbuch III und einem automatisierten Verfahren

H. Horst

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel

Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Wasser- und der Rohaschegehaltsbestimmung mit amtlichen Untersuchungsmethoden für Futtermittel, Methodenbuch des VDLUFA Band III (3.1 und 8.1), wurden mit den Ergebnissen verglichen, die mit einem automatischen Feuchte- und Aschebestimmungsgerät prepASH® der Firma Precisa Gravimetrics AG erhalten wurden.

Das automatische Verfahren ist dem amtlichen Verfahren gleichwertig. Die Präzision des Vergleichsverfahrens war bis zum 5-fachen höher als beim Referenzverfahren.

1. Einleitung

Für die Bestimmung des Wasser-, wie auch des Rohaschegehaltes sind jeweils ca. 5 Arbeitsschritte nötig. Daher kann der Einsatz automatisierter Verfahren im Labor zu einer Arbeitsentlastung führen. Möglicherweise geht auch mit einem automatisierten Verfahren eine Fehlerminimierung einher. Andere Vorteile, wie Energie- und Platzersparnis können sich für Labore als günstig erweisen.

Wird von den amtlichen Verfahren abgewichen, entsteht die Notwendigkeit des Nachweises der Gleichwertigkeit der Analysenverfahren. Dieser Nachweis ist im Prinzip schon bei geringen Veränderungen der Prüfmethode gegeben.

Hier werden die Ergebnisse der Wasser-, wie auch der Rohaschebestimmung nach Methodenbuch III des VDLUFA, dem Referenzverfahren, mit den entsprechenden Ergebnissen eines automatischen Wassergehalt- und Rohaschebestimmungsverfahrens auf Gleichwertigkeit überprüft.

2. Material und Methoden

2.1 Probenmaterial

Es wurden 7 auf 1 mm Siebdurchgang gemahlene Futtermittel auf den Wasser- bzw. Restwassergehalt von vorgetrockneten Silagen und den Rohaschegehalt untersucht. Der Wassergehalt der Probenarten variierte von 2-13 %, der Rohaschegehalt von 4-13 %, ein Mineralfutter hatte ein Rohaschegehalt von 92%, siehe Tabelle 1.

Tab. 1: Mittelwerte der Ergebnisse von Wasser-/ Rohaschebestimmungen der untersuchten Futtermittel.

Futtermittel	Wassergehalt %	Rohaschegehalt %
Grassilage	8,0	9,4
Maissilage	4,4	4,2
Alleinfutter für Ferkel II	10,6	6,1
Ergänzungsfutter Ferkel	10,9	13,3
Milchleistungsfutter 25/2	11,2	10,3
Milchleistungsfutter I	12,2	5,0
Mineralfutter für Milchkühe	1,6	92,4

2.2 Untersuchungsmethoden

Referenzverfahren: Methodenbuch des VDLUFA Band III (3.1 Wassergehaltsbestimmung in einem belüfteten Trockenschrank und 8.1 Rohaschebestimmung im Muffelofen).

Vergleichsverfahren: Automatisches Feuchte- und Aschebestimmungsgerät, prepASH der Firma Precisa Gravimetrics AG. Etwa 2,5 g des gemahlene Futtermittels wurden in Keramikgefäße eingewogen, 4 h bei 103 °C bis zur Gewichtskonstanz (0,1 mg/30 min) getrocknet und anschließend bei 550 °C über 3 h bis zur Gewichtskonstanz über den gleichen Zeitraum verascht. Das Gerät ermittelt kontinuierlich ca. alle 5 Minuten die Massenverluste aller Proben und stellt die Ergebnisse auf einem Bildschirmdiagramm dar. Nach Abschluss der Messungen werden die ermittelten Messergebnisse sowie die statistischen Werte in einem automatisiert erstellten, individuell anpassbaren Report vom Gerät abrufbar gespeichert.

Die spezifischen Parameter des Trocknungs- und Veraschungsverlaufs können als abrufbare Methode eingegeben werden.

2.3 Auswertungsverfahren

Der Test auf Gleichwertigkeit zweier Analysenverfahren wird nach DIN 38402-A71, aus dem Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung, durchgeführt.

Prinzip: Nach einem Ausreißertest nach Grubbs wird die Präzision der Ergebnisse beider Verfahren mit dem Varianzen-F-Test verglichen, die Übereinstimmung (Richtigkeit) der Mittelwerte beider Verfahren mit dem Mittelwert- t-Testverfahren. Alle Prüfgrößen haben ein Signifikanzniveau von 99 %.

3. Ergebnisse

3.1 Vergleich der Standardabweichungen

Das Vergleichsverfahren zeigt bei allen geprüften Futtermitteln im Mittel eine höhere Präzision, abgeleitet aus der Standardabweichung der Differenzen, siehe Tabelle 2, mit einer Ausnahme der des Mineralfutters, hier ist die Standardabweichung des Vergleichsverfahrens geringfügig höher.

Tab.2: Standardabweichungen der Ergebnisse des Referenz- und des Vergleichsverfahrens. Es wurden jeweils 6 Wiederholungsmessungen durchgeführt.

Futtermittel	Wassergehalt [% FM]		Rohaschegehalt [% TM]	
	Referenz	Vergleich	Referenz	Vergleich
Grassilage	0,10	0,02	0,06	0,03
Maissilage	0,08	0,03	0,07	0,01
Alleinfutter für Ferkel II	0,15	0,01	0,09	0,03
Ergänzungsfutter für Ferkel	0,08	0,01	0,11	0,06
Milchleistungsfutter 25/2	0,04	0,02	0,10	0,04
Milchleistungsfutter I	0,12	0,03	0,03	0,02
Mineralfutter für Milchkühe	0,06	0,02	0,07	0,09
Standardabweichung der Differenzen	0,09	0,02	0,07	0,04

3.2 Vergleich der Abweichungen der Mittelwerte

Der Differenz der mittleren Wassergehalte der Verfahren ist in Tabelle 3 dargestellt. Mit dem Vergleichsverfahren wurden mit einer Ausnahme höhere Wassergehalte bestimmt. Auffällig ist die große Differenz bei den Milchleistungsfuttern, Proben 5 und 6.

Abweichungen in der Bestimmung des Wassergehaltes können durch die Position der Proben im Trockenschrank gegeben sein. Im Falle der Proben 5 und 6 handelt es sich um Milchleistungsfutter mit einem Melasseanteil von über 4 %. Diese Proben hätten in einem Vakuumtrockenschrank bei ca. 80 °C getrocknet werden müssen.

Alle methodischen Differenzen der Ergebnisse der Rohaschebestimmung sind innerhalb der von der Fachgruppe des VDLUFA ermittelten Analysenspielräume, siehe Tabelle 3.

Tab.3: Differenz der Mittelwerte zwischen Referenzverfahren und Vergleichsverfahren. Im Vergleich dazu die aktuellen Analysenspielräume (Analysenspielräume Version 9 (2014))

Futtermittel	Mittlerer Gehalt		Differenz der Mittelwerte		ASR Asche
	Wasser %	Asche %	Wasser %	Asche %	
Grassilage	8,0	9,4	0,13	0,06	±0,56
Maissilage	4,4	4,2	-0,30	0,08	±0,5
Alleinfutter für Ferkel II	10,6	6,1	-0,57	-0,05	±0,5
Erg.-Futter für Ferkel	10,9	13,3	-0,56	-0,24	±0,8
Milchleistungsfutter 25/2	11,2	10,3	-0,83	0,13	±0,7
Milchleistungsfutter I	12,2	5,0	-1,08	-0,22	±0,5
Mineralfutter für Milchkühe	1,6	92,4	-0,39	0,33	± ?

3.3 Einfluss der Verteilung der Proben im Trockenschrank

Mit 15 Teilproben eines homogenisierten Mischfutters wurde der Einfluss der Position im Trockenschrank auf den ermittelten Wassergehalt überprüft. Die Proben wurden auf zwei Höhenpositionen des sonst leeren Trockenschrankes verteilt (Abb. 1). Alle Ergebnisse waren nach Grubbs frei von Ausreißern. Die

maximale Abweichung des Wassergehaltes betrug 1,08 %. In diesem speziellen Falle streuten die Ergebnisse um $\pm 0,54$ % um den Mittelwert 9,74 %.

Im Vergleichsverfahren könnten Unterschiede durch die Positionierung im inneren und äußeren Probenring gegeben sein. Wie aus Abbildung 1 ersichtlich, sind tatsächlich minimale Unterschiede feststellbar. Da aber bei mehreren Tests mit gleichartigen Futtermitteln, wechselnd auf dem inneren Ring minimale höhere oder niedrigere Werte gefunden wurden, ist der Unterschied offenbar zufallsbedingt.

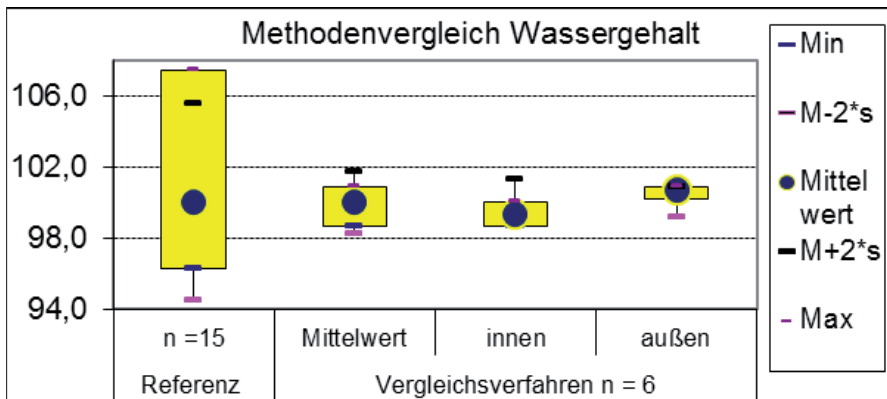


Abb. 1: Bestimmung des Wassergehaltes von Mischfutterproben. Verteilung von Einzelproben auf 2 Höhenpositionen des Trockenschrankes. Vergleichsverfahren: Jeweils 3 Proben auf inneren und äußeren Ring. Werte sind auf 100 % generalisiert

Der Einfluss der Positionierung der Proben im Muffelofen ist nicht untersucht worden.

3.4 Statistischer Methodenvergleich nach DIN38402-71 A

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse des Methodenvergleichs dargestellt. Bei drei Proben konnte die Gleichwertigkeit der Methoden zur Wassergehaltsbestimmung nicht nachgewiesen werden.

Tab. 5: Methodenvergleich nach DIN38402-71 A. Ergebnisse von 6 Wiederholungsmessungen mit dem Referenz- und dem Vergleichsverfahren.

Futtermittel	t-Test		F-Test	
	PW = 3,17		PW = 5,35	
	Wasser %	Asche %	Wasser %	Asche %
Grassilage	2,36	2,32	0,24	0,52
Maissilage	3,09	2,76	0,11	0,01
Alleinfutter für Ferkel II	3,05	0,44	0,00	0,12
Ergänzungsfutter für Ferkel	3,13	1,61	0,03	0,30
Milchleistungsfutter 25/2	12,65	0,95	0,18	0,12
Milchleistungsfutter I	7,12	4,00	0,05	0,54
Mineralfutter für Milchkühe	5,20	2,40	0,10	1,63

4. Diskussion

4.1 Prüfung der Gleichwertigkeit der Wassergehaltsbestimmungsverfahren

Diese Untersuchung wurde bei allen Proben mit der Referenzmethode 3.1, Methodenbuch III des VDLUFA nach Punkt 4.2.1 durchgeführt. In einem Routinelabor liegt selten eine Deklaration vor, deswegen unterbleibt beispielsweise die Trocknung von melassehaltigen Proben in einem Vakuumtrockenschrank. Die Milchleistungsfutter, die Proben 5-6, waren pelletiert und enthielten einen Melasseanteil von über 4 %. Auch wird selten die Routine bei kristallwasserhaltigen Futtermitteln oder Futtermitteln mit Anteilen an Hydrogencarbonat geändert.

Die Ursache der im t-Test ermittelten Ungleichheit der Verfahren in der Bestimmung des Wassergehaltes der Proben 5-7 ist ungeklärt, da die Überprüfung mit einem Vakuumtrockenschrank unterblieb.

Bei allen Methodenvergleichsuntersuchungen wurden die Proben am gleichen Tag in die entsprechenden Gefäße eingewogen und am gleichen Tag mit beiden Verfahren analysiert.

Die Position der Proben im Trockenschrank kann bei größeren Probenzahlen zu einer hohen Abweichung der Einzelergebnisse führen. Dagegen ist beim

Vergleichsverfahren der Einfluss der Positionierung der Proben im Gerät nicht gegeben, da die Position der Proben im Gerät kontinuierlich gewechselt wird.

Weil bei der Wassergehaltsbestimmung mit dem Referenzverfahren in der Routine die Gewichtskonstanz nicht übergeprüft wird, bleibt eine möglicherweise nicht abgeschlossene Trocknung unbemerkt.

4.2 Prüfung der Gleichwertigkeit der Rohaschebestimmungsverfahren

Das Vergleichsverfahren ist in der Bestimmung des Rohaschegehaltes dem Referenzverfahren gleichwertig. Nur bei einem Milchleistungsfutter konnte die Gleichwertigkeit nicht nachgewiesen werden (t-Test).

Die Homogenität der Varianzen und der Standardabweichungen ist bei allen Prüfungen gegeben (F-Test).

Mit Ausnahme des Mineralfutters waren die Standardabweichungen der Wiederholungsmessungen beim Vergleichsverfahren sehr viel kleiner als beim Referenzverfahren.

Alle Abweichungen lagen weit unter dem Bereich der Analysenspielräume.

5. Zusammenfassung

Die Präzision des Vergleichsverfahrens war bei fast allen Untersuchungen höher als beim Referenzverfahren.

Die Wassergehaltsbestimmung mittels Vergleichsverfahren führte mit Ausnahme der vorgetrockneten Grassilage in diesem Test zu geringfügig höheren Wassergehalten.

Bei pelletierten Futtermitteln und dem Mineralfuttermittel hätte nach Methodenbuch III Punkt 4.2.3 des Referenzverfahrens gearbeitet werden müssen.

Das Vergleichsverfahren ist dem Referenzverfahren in der Bestimmung des Wassergehaltes überwiegend gleichwertig.

Das Vergleichsverfahren ist dem Referenzverfahren in der Bestimmung des Rohaschegehaltes gleichwertig.

Alle Unterschiede der Verfahren lagen innerhalb der Analysenspielräume für Futtermitteluntersuchungen.

Das Vergleichsverfahren ist im Fachgebiet für beide Bestimmungen seit 2005 zertifiziert.

6. Literaturangaben

DIN 38403-A71, 2002-11: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-, und Schlammuntersuchung. Beuth-Verlag.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 1976: Methodenbuch III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA). Analysenspielräume Version 9 (2014) http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Fachgruppen/FG6/VI-O-38_Fortsetzung_neue_ASR_FGVI_Version_01_09_2014.

7. Danksagung

Meinen Mitarbeitern, besonders Herrn Stefan Kellotat und Herrn Casselmann, danke ich für die umfangreichen Untersuchungen.

Zerstörungsfreie Erfassung der Kartoffel-Trockenmasse mittels Nah-Infrarotspektroskopie

N.U. Haase

Institut für Sicherheit und Qualität bei Getreide, Max Rubner-Institut, Detmold

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wird ein NIR-Modell für intakte Kartoffelknollen im Reflektionsmodus vorgestellt. Trotz prinzipieller Nachteile, die insbesondere die interne Trockenmasseverteilung der Knollen betrifft, konnten NIR-Modelle für die Dichte, den Trockenmasse- und Stärkegehalt (bestimmt über das Unterwassergewicht) sowie für die Trockenmasse (Laborwert) erstellt werden. Die Vorhersageleistung in einer dreijährigen Untersuchung mit insgesamt 1188 Einzelknollen war insgesamt zufriedenstellend. Die Qualitätszahl RPD (ratio of performance to deviation) mit Werten zwischen 3 und 4 signalisierte das Qualitätsniveau eines Schnelltests. Im Validierungsdatensatz lagen die Vorhersageleistungen (R^2) zwischen 0,89 (Dichte) und 0,91 (TM_Labor). Damit eröffnet sich die grundsätzliche Möglichkeit, die NIR-Technik in der Warenannahme der Kartoffel-Verarbeitungsbetriebe einzusetzen.

1. Einleitung

Die Anforderungen an zuverlässige und rasche Qualitätsfeststellungen im Rohstoffbereich der Kartoffelwirtschaft nehmen deutlich zu. Dieses gilt gleichwohl für die Verarbeitungsbetriebe mit ihrer jeweiligen Rohwarenannahme als auch für die Kartoffelzüchter mit ihren umfangreichen Nachkommenschaftsprüfungen im Rahmen der Kreuzungsexperimente.

Ein Blick in andere Branchen zeigt, dass die Nah-Infrarotspektroskopie mittlerweile vielfach das dominierende Instrumentarium für aussagekräftige Vorhersagen geworden ist (Bsp. Getreide; Futtermittel). In der Kartoffelwirtschaft hingegen ist diese Technik der Qualitätsabschätzung noch entwicklungsfähig (Haase, 2011).

Wurden bislang insbesondere aufbereitete, d. h. homogenisierte Proben vermessen (Haase, 2003), wird in der aktuellen Studie eine zerstörungsfreie Mes-

sung im Reflektionsmodus durchgeführt. Damit soll eine Grundlage für zukünftige Rohstoffbewertungen geschaffen werden, die im Rohstoff-Strom online durchgeführt werden. Nach vorheriger Vereinzelung der Knollen können somit ungeeignete Kartoffelknollen selektiv aus dem Warenstrom entfernt werden.

Bei der Entwicklung des NIR-Modells ist zu beachten, dass die Trockenmasseverteilung innerhalb der Knolle sehr heterogen ist. So existieren sowohl zwischen Krone, Nabel und Mitte als auch in der Tiefenverteilung zwischen Oberfläche und Kern deutliche Unterschiede.

2. Material und Methoden

In einem dreijährigen Experiment zwischen 2012 und 2014 wurden spektrale Informationen von insgesamt 1188 Kartoffelproben gesammelt – entweder unmittelbar nach der Ernte oder aber nach sechsmonatiger Lagerung bei +4 bzw. +8 °C und einer rel. Luftfeuchtigkeit von 90 %. Je Sorte oder Herkunft standen 5 Knollen zur Verfügung. Die NIR-Messungen fanden im Reflektionsmodus mit einem Messgerät der Firma Foss (Modell XDS, 400-2500 nm) statt. Dabei wurde jede Knolle an 3 unterschiedlichen Stellen gemessen (Krone, Mitte, Nabel).

Danach wurde jede Knolle separat mittels der Unterwasser-Waage gemessen. Über den Massenwert an der Luft und unter Wasser wurde die Dichte berechnet. Des Weiteren wurden Trockenmasse und Stärkegehalt mittels einer Regressionsgleichung abgeschätzt (Haase, 2004). Der Trockenmassegehalt wurde zudem über den Gewichtsverlust bei der Gefrier Trocknung berechnet. Der Restfeuchtegehalt im gefriergetrockneten und zerkleinerten Kartoffelpulver wurde mit der Trockenschrankmethode bei 105 °C bestimmt (AACC, 1999).

Die NIR-Modelle zur Vorhersage von Dichte, UWG-Trockenmasse, UWG-Stärke und Trockenmasse wurden zunächst mit den Datensätzen der ersten beiden Versuchsjahre erstellt. In einem zweiten Schritt wurden alle drei Jahre berücksichtigt. Grundsätzlich wurden alle spektralen Informationen verwendet, wobei die Einzelpunkte jeweils 8 nm weit auseinander lagen (Mittelwertbildung von jeweils 4 Datenpunkten). Sämtliche Datensätze, die einer einzelnen Knolle zugeordnet werden konnten, wurden vorab der Auswertung gemittelt, so dass für jeden Termin ein Datensatz pro Knolle zur Verfügung stand. Ausgewertet wurde bis zur 2. Ableitung der Daten.

Zur Überprüfung der so erstellten Modelle wurde einerseits im Kalibriersatz ein kleines Sortiment an Daten ausgeblendet und zur internen Überprüfung (Validierung) eingesetzt. Andererseits wurden die fertigen Modelle mit unbekanntem Proben getestet, die vorab der Modellerstellung aus dem Datensatz entfernt worden waren.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die Detmolder Arbeitsgruppe befasst sich seit mehr als 15 Jahren mit der Nah-Infrarotspektroskopie. Wurden bislang insbesondere aufbereitete Proben vermessen, wird dem aktuellen Beitrag eine zerstörungsfreie Messung zugrunde gelegt. Damit ist es möglich, die Kartoffelknolle nach der Messung weiteren Verwendungszwecken zuführen zu können.

Kalibrierungs- und Validierungsdatensatz der ersten beiden Untersuchungsjahre zeigten insgesamt eine Normalverteilung der Werte an (Abb. 1).

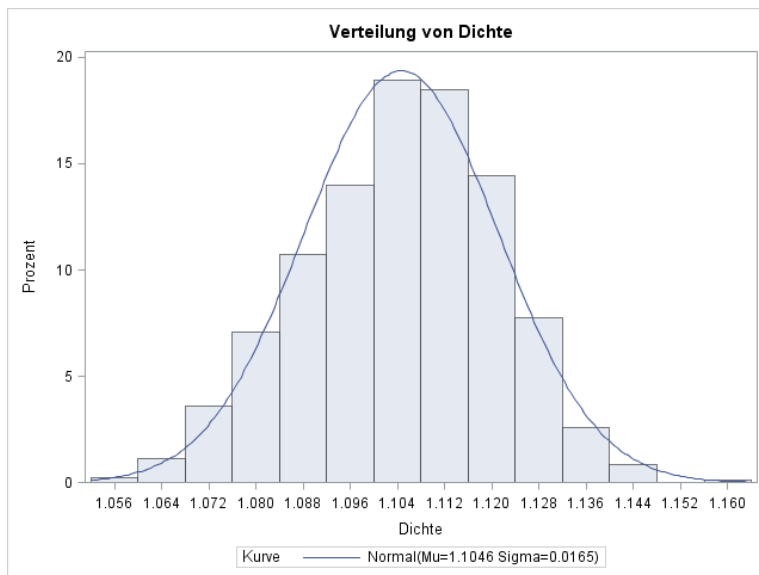


Abb. 1: Verteilung der Einzelwerte im Datensatz der ersten beiden Untersuchungsjahre (n=802), Merkmal ‚Dichte‘.

Auch gab es zwischen Kalibrierungs- und Validierungsdatensatz keine größeren Unterschiede, wie Abbildung 2 ebenfalls am Beispiel der ‚Dichte‘ zeigt.

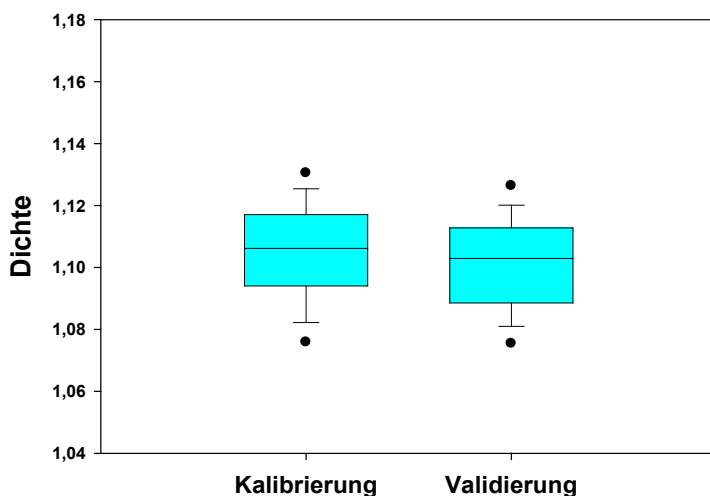


Abb. 2: Box-Whisker-Plot der Einzeldaten des Merkmals ‚Dichte‘ im Kalibrierungs- bzw. Validierungsdatensatz (Mittelwert, 5er, 25er, 75er und 95er Perzentil sowie Ausreißer).

Tab. 1: Qualitätsdaten des Kalibrierungssatzes (1. und 2. Untersuchungsjahr) für die untersuchten Merkmale.

Merkmal	Anzahl	min	max	Mittelwert
Dichte	716	1,054	1,158	1,105
TM_UWG	716	14,6	36,7	25,4
Stärke_UWG	716	10,9	29,9	20,2
TM_Labor	714	15,9	35,4	26,6

Tab. 2: Qualitätsdaten des Validierungssatzes (1. und 2. Untersuchungsjahr) für die untersuchten Merkmale.

Merkmal	Anzahl	min	max	Mittelwert
Dichte	88	1,068	1,141	1,101
TM_UWG	88	17,4	33,0	24,6
Stärke_UWG	88	13,4	26,7	19,5
TM_Labor	88	19,1	35,9	25,9

Bei allen vier Merkmalen konnte ein NIRS-Modell erstellt werden (Tab. 3).

Tab. 3: Qualitätsdaten der NIR-Modelle, erstellt im Kalibrierungsdatensatz (1. und 2. Untersuchungsjahr) für die untersuchten Merkmale mittels interner Kreuzvalidierung.

Gegenstand	Anzahl	Abltg.	SEC	RSQ
Dichte	693	2.	0,005	0,911
TM_UWG	693	2.	1,028	0,911
Stärke_UWG	693	2.	0,883	0,911
TM_Labor	690	2.	0,994	0,923

In Tab. 1 und 2 sind weiterhin die Merkmale ‚Dichte‘, ‚TM_UWG‘, ‚Stärke_UWG‘ und ‚TM_Labor‘ (TM: Trockenmasse; UWG: Unter-wassergewicht) mit den jeweiligen Mittelwerten sowie den minimalen und maximalen Werten im Kalibrierungs- bzw. Validierungsdatensatz aufgeführt.

Tab. 4: Qualitätsdaten der NIR-Modelle, erstellt im Validierungsdatensatz (1. und 2. Untersuchungsjahr) für die untersuchten Merkmale.

Gegenstand	Anzahl	Abltg.	SEP	RSQ	RPD
Dichte	88	2.	0,005	0,917	3,00
TM_UWG	88	2.	0,961	0,917	3,42
Stärke_UWG	88	2.	0,825	0,918	3,98
TM_Labor	88	2.	1,09	0,899	3,02

Die Ausweitung der Modellerstellung auf ein drittes Untersuchungsjahr stabilisierte die weiter oben beschriebenen NIR-Modelle (Tab. 5).

Tab. 5: Qualitätsdaten der NIR-Modelle, erstellt im Validierungsdatensatz (1. bis 3. Untersuchungsjahr) für die untersuchten Merkmale.

Gegenstand	Anzahl	Abltg.	SEP	RSQ	RPD
Dichte	119	2.	0,006	0,894	2,83
TM_UWG	119	1.	1,154	0,896	3,10
Stärke_UWG	119	1.	0,991	0,896	3,10
TM_Labor	119	2.	1,132	0,907	3,25

Die Leistungsdaten der Modelle im Rahmen der Überprüfung mit unbekanntem Proben (Validierung) wiesen eine Vorhersagequalität zwischen $R^2 = 0,90$ und

$R^2 = 0,92$ auf. Der RPD-Wert (Qualitätskenngröße: $RPD = SD / SEP$; $RPD > 5$: geeignet für Qualitätskontrollen (Williams, 2014)) lag zwischen 3 und 4 (Tab. 4). Damit wurde das Qualitätsniveau eines Schnelltests erreicht.

Allerdings waren die Qualitätskennzahlen der dreijährigen Modellierung geringfügig schlechter als die zweijährigen Berechnungen. Im Vergleich mit älteren Arbeiten, die Homogenisate eingesetzt hatten, war die Vorhersageleistung ebenfalls etwas schlechter. So konnte mit Kartoffelhomogenisaten im Reflektionsmodus Vorhersageleistungen für Trockenmasse im Bereich von 99 % (Stärke: 96 %) erzielt werden (Haase, 2011). Auch wenn die NIR-Modelle mit intakten Kartoffelknollen nicht ganz an diese Vorhersageleistung heranreichen, war es möglich, die Trockenmasse mit ausreichender Genauigkeit vorherzusagen. Damit eröffnen sich interessante Anwendungsfelder (z. B. Einsatz der NIRS-Technik in Sortieranlagen). Auch ist es denkbar, weitere Qualitätskennzahlen in die Vorhersagemodelle mit aufzunehmen.

4. Literaturangaben

- AACC (American Association of Cereal Chemists), 1999: Approved methods of Analysis. Method 44-15.02 (Moisture – air oven method). St. Paul, MN, AACC International.
- Haase, N.U., 2003: Estimation of dry matter and starch concentration in potatoes by determination of under-water weight and near infrared spectroscopy. *Pot Res* 46, 117-127.
- Haase, N.U., 2004: Abschätzung von Trockenmasse und Stärkegehalt. *Kartoffelbau* 55, 408-410.
- Haase, N.U., 2011: Prediction of potato processing quality by near infrared reflectance spectroscopy of ground raw tubers. *J NIRS* 19, 37-45.
- Williams, P., 2014: The RPD statistic: a tutorial note. *NIR news* 25, 122-26.

Untersuchungen zur Messgenauigkeit der Milchwahnstoffbestimmung und Konsequenzen für die Interpretation der Proteinversorgung von Milchrindern

W. Richardt¹, M. Delling¹, H. Scholz²

¹LKS mbH, Niederwiesa, ²Hochschule Anhalt, Bernburg

1. Einleitung

Die Messung des Milchwahnstoffgehaltes mittels Infrarot-Messung (IR) ist ein seit 1994 in den Landeskontrollverbänden (LKV) etabliertes Verfahren. Den Landwirtschaftsbetrieben und Beratern kann so im Rahmen der Milchleistungsprüfung monatlich von Einzeltieren und im Rahmen der Milchgüteprüfung (täglich) von der gesamten Herde Milchwahnstoffgehalte zur Verfügung gestellt werden. Da der Milchwahnstoffgehalt in Beziehung zur Rohproteinversorgung steht, ist er ein geeignetes Mittel zur Kontrolle des Fütterungsmanagement. Die meisten LKV nutzen die IR Technik als schnelles und preiswertes Messverfahren. Dieses Messverfahren führt jedoch zu einem Verlust an Genauigkeit im Vergleich zum Referenzverfahren.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen mögliche Einflüsse auf die Messgenauigkeit überprüft werden. Mögliche Einflüsse sind die Art und Konzentration des Konservierungsmittels, die Lagerungsdauer, Lagerungsart (Einfrieren) und Gerät.

2. Material und Methode

Zur Prüfung des Effekts der Rohproteinversorgung wurden aus zwei Gruppen mit den Rationstypen 145 g XP/kg TM und 165 g XP/kg TM von je 50 Kühen Milchproben genommen. Beide Rationen waren energetisch auf etwa 32 kg Milch ausgelegt. Das Fütterungsregime war TMR Fütterung mit ganztägiger Futtermvorlage.

Die Proben wurden für die Messung des Effekts des Konservierungsmittels in drei Klassen eingeteilt (ohne Konservierungsmittel, mit Bronopol/Kathon und Na-Acid).

Weiterhin wurde die Konzentration des Konservierungsmittels variiert. Neben der normalen Konzentration (8 mg Na-Acid und 20 mg/2 mg Bronopol/Kathon auf 40 ml Milch) wurde eine zweite Klasse mit doppelter Konzentration geprüft. Daraus ergaben sich 10 Stufen mit je 50 Milchproben (n = 500).

Die Proben wurden mit der DLQ-Referenzmethode (DLQ-Richtlinie 2013) und mittels IR-Messung an zwei Milcoscan FT6000 gemessen. Es ergaben sich 1 500 Messungen (3 Geräte x 500 Proben).

In einem zweiten Ansatz wurde der Effekt der Lagerdauer bei Raumtemperatur (20–22 °C) an Tag 0, 1, 2, 3 und 7, des Konservierungsmittel (ohne Konservierungsmittel, Bronopol/Kathon und Na-Acid), der Messmethode (DLQ-Referenzmethode, IR-Messung) und der Geräteeffekt (1 x Scalar, 2 x Milcoscan FT6000, 1 x Milcoscan FT+). Die Untersuchung erfolgte an je 50 Proben (Einzeltiere).

In einem dritten Ansatz wurde der Effekt des Einfrierens (-20 °C, 14 Tage Lagerdauer) geprüft. Der Probenumfang betrug 50 Proben. Die Proben wurden mit der Referenz- und IR-Methode (1 x Scalar, 2 x Milc. FT6000, 1 x Milc. FT+) gemessen.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogrammpaket IBM SPSS (Version 22.0). Es wurde eine Univariate Varianzanalyse (Signifikanzniveau $p \leq 0,05$) durchgeführt.

$$Y_{ijk} = \mu + K_{Mi} + K_{ONj} + M_k + e_{ijk}$$

Y_{ijk} Beobachtungswert

μ geschätzter Wert

K_{Mi} fixer Effekt des Konservierungsmittels ($i = 1; 2$)

K_{ONj} fixer Effekt der Konzentration ($j = 0,00; 0,15; 0,30$)

M_k fixer Effekt der Methode ($k = 1; 2$)

e_{ijk} Restvarianz

$$Y_{ijk} = \mu + TAG_i + K_{Mj} + M_k + e_{ijk}$$

Y_{ijk} Beobachtungswert

μ geschätzter Wert

TAG_i fixer Effekt des Tages ($i = 0; 1; 2; 3; 7$)

K_{Mj} fixer Effekt des Konservierungsmittels ($j = 0,00; 0,15; 0,30$)

M_k fixer Effekt der Methode ($k = 1; 2$)

e_{ijk} Restvarianz

3. Ergebnisse und Diskussion

In Tabelle 1 sind die Schätzung der Effekte dargestellt. Es konnte ein signifikanter Effekt der Rohproteinversorgung (137 mg/ und 249 mg/l), ein signifikanter Effekt der Methode und in der Gruppe mit normaler Rohproteinversorgung ein Effekt des Konservierungsmittel sowie der Interaktion Konservierungsmittel x Methode festgestellt werden.

Tab. 1: Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt [mg/l] in Abhängigkeit von der Rohproteinversorgung (n= 1 500)

Gruppe	HS	KM	KON	M	KM* KON	KM *M	KON *M
niedrig	137 ^a ±36	0,306	0,543	<0,001	0,637	0,188	0,610
normal	249 ^b ±29	0,265	0,007	<0,001	0,226	0,783	0,007

niedrig: 145 g XP/kg TM, normal: 165 g XP/kg TM, HS: Harnstoffgehalt [mg/l], KM: Konservierungsmittel, KON: Konzentration des Konservierungsmittels, M: Methode

Tab. 2: Einfluss der Methode auf den Milchharnstoffgehalt [mg/l] in Abhängigkeit von der XP-Versorgung (n= 1 500)

Gruppe	Methode	N	MW	Min-Max
Niedrig	Referenz	250	123 ^a ±27	79–208
Niedrig	Infrarot	500	144 ^b ±38	50-300
Normal	Referenz	250	241 ^a ±30	186–311
Normal	Infrarot	500	253 ^b ±30	170–350

Tab. 3: Einfluss der Methode auf den Milchharnstoffgehalt [mg/l]

Methode	N	MW	Min - Max
Referenz	500	182±65	79-311
Infrarot	1000	199±65	50-350

In Tabelle 2 ist der Effekt der Methode auf den Milchwahnstoffgehalt dargestellt. Es zeigt sich, dass die IR-Methode bei niedriger Rohproteinversorgung den Milchwahnstoffgehalten signifikant um 21 mg/l und bei normaler Rohproteinversorgung um 19 mg/l überschätzt. Auf Grund der deutlichen Abgrenzung 144 mg/l zu 253 mg/l ändert sich jedoch an der Interpretation und Einschätzung der Rohproteinversorgung nichts. Bemerkenswert ist die hohe Variation des Milchwahnstoffgehaltes innerhalb einer Fütterungsgruppe (79-208 mg/l und 186-311 mg/l, vgl. Tab. 2). Dies kann durch Faktoren wie Futteraufnahme, selektive Futteraufnahme u. a. erklärt werden.

In Tabelle 3 ist der Effekt der Methode über das gesamte Datenmaterial dargestellt. Im Mittel überschätzt die IR-Methode den Milchwahnstoffgehalt um 17 mg/l.

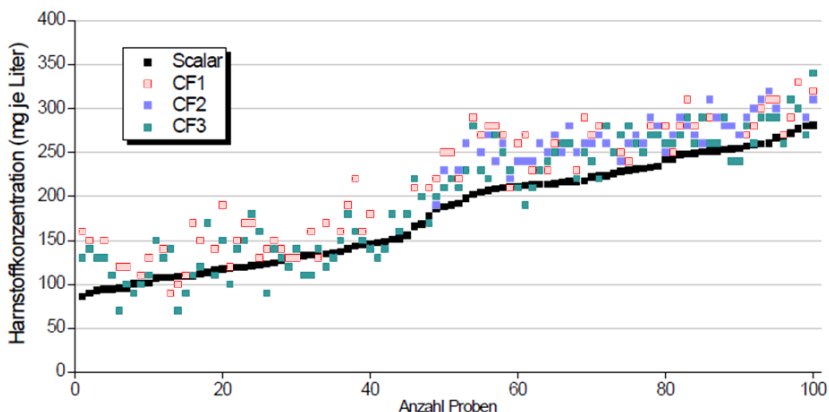


Abb. 1: Einfluss der Methode (Bronopol/Kathon 20/2 mg) auf den Milchwahnstoffgehalt [mg/l] (n=400)

In Abbildung 1 ist der Zusammenhang zwischen den Referenzwerten (schwarz) und den IR-Werten (grau) dargestellt. Es zeigt sich, dass die IR-Werte dem Trend der Referenzwerte eindeutig folgen. Im Einzelfall ergeben sich jedoch erhebliche Abweichungen von bis zu 100 mg/l. Dies zeigt, dass es nicht möglich ist Einzeltiere oder nur sehr wenige Tiere zu beurteilen. Bei Tiergruppen kann jedoch die IR-Methode mit hinreichender Genauigkeit eingesetzt werden (vgl. Tab.2 und 3).

Das Bestimmtheitsmaß und der Standardschätzfehler der Methoden und Geräte betragen:

Alle Daten

Scalar und IR-Methode CF 1 $r^2=0,861$; Standardfehler: 23 mg/lScalar und IR-Methode CF 3 $r^2=0,849$; Standardfehler: 24 mg/l

Gruppe niedrige XP-Versorgung

Scalar und IR-Methode CF 1 $r^2=0,475$; Standardfehler: 26 mg/lScalar und IR-Methode CF 3 $r^2=0,555$; Standardfehler: 25 mg/l

Gruppe normale XP-Versorgung

Scalar und IR-Methode CF 1 $r^2=0,482$; Standardfehler: 21 mg/lScalar und IR-Methode CF 3 $r^2=0,513$; Standardfehler: 23 mg/l

Es zeigt sich, dass sowohl über das gesamte Datenmaterial als auch innerhalb der Fütterungsgruppen der Standardschätzfehler in etwa gleich groß ist und zwischen 21 und 26 mg/l beträgt.

Tab. 4: Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt [mg/l] in Abhängigkeit von den Tagen (n=2200)

HS	TAG	KM	M	TAG* KM	TAG*M	TAG* KM*M
236	0,002	0,010	<0,001	0,002	<0,001	<0,001

HS: Harnstoffgehalt, TAG: Lagerdauer in Tage, KM: Konservierungsmittel, M: Methode

Die Prüfung des Einfluss der Lagerdauer ergab einen signifikanten Effekt des Tages, des Konservierungsmittels und der Konzentration (vgl. Tab. 4). Die Effekte sind aber nicht systematisch und in ihrer Ausprägung eher gering (vgl. Abb. 2 und 3). Nur bei der IR-Methode ist eine kleine aber kontinuierliche Abnahme des Milchharnstoffgehaltes zu beobachten. In der Regel werden die Proben der Milchleistungsprüfung zwischen 1 und 3 Tagen nach Probenahme untersucht.

Nach dem Auftauen der Proben ölten diese aus. Trotzdem konnte der Milchharnstoffgehalt mittels Referenz- und IR-Methode gemessen werden. Es ergaben sich signifikante aber ungerichtete Effekte (vgl. Abb. 4).

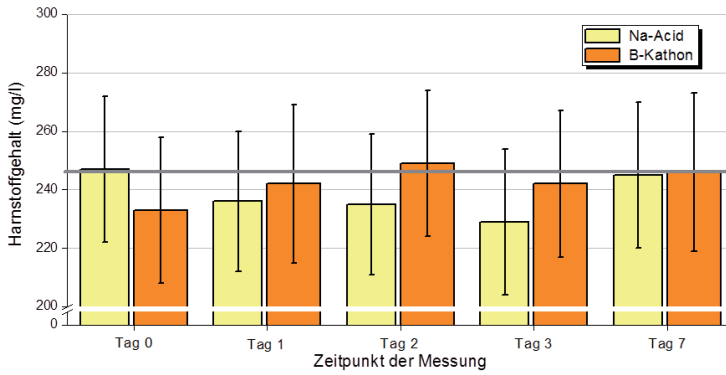


Abb. 2: Milchharnstoffgehalt [mg/l] in Abhängigkeit von Lagerdauer und Konservierungsmittel (Referenzmethode, n = 500)

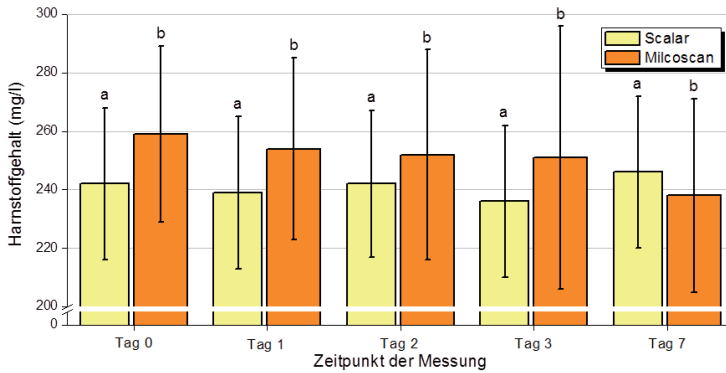


Abb. 3: Milchharnstoffgehalt [mg/l] in Abhängigkeit von der Lagerdauer und Methode (n = 2.200)

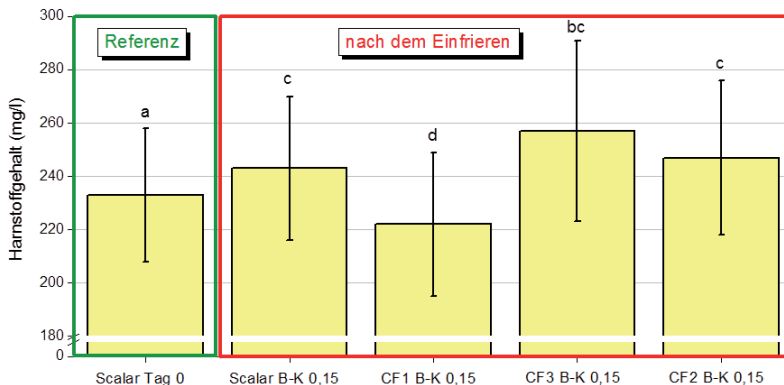


Abb. 4: Einfluss des Einfrierens auf den Milchharnstoffgehalt [mg/l], (n = 250)

4. Schlussfolgerungen

Es ergab sich ein signifikanter ($p < 0,001$) Effekt der Messmethode (Referenz vs. IR-Messung 182 und 192 mg/l). Bei niedrigen Harnstoffgehalten ist der Effekt der Messmethode größer als bei mittleren Harnstoffgehalten (+21 vs. +12 mg/l). Der Standardschätzfehler für die IR-Methode im Vergleich zur Referenzmethode betrug zwischen 21 und 26 mg/l.

Es konnte weiterhin ein signifikant negativer Effekt der Lagerdauer, bei Messung mittels IR-Methode festgestellt werden. Die Interaktionen zwischen Lagerdauer, Konservierungsmittel und Messmethode waren jedoch nicht gerichtet.

Die eingefrorenen Proben ölten nach dem Auftauen aus, konnten aber trotzdem gemessen werden und spiegelten im Wesentlichen die Referenzwerte wider.

Die Messung des Milchwahnstoffgehaltes mittels IR eignet sich gut um unterschiedliche Versorgungsniveaus mit Rohprotein auf der Ebene der Herde oder einer Gruppe abzubilden. Die Messung des Milchwahnstoffgehaltes mittels IR eignet sich jedoch nicht um unterschiedliche Versorgungsniveaus mit Rohprotein auf der Ebene des Einzeltieres abzubilden. Die mittels IR gemessenen Milchwahnstoffgehalte eignen sich im Rahmen der Fütterungskontrolle zur Einschätzung der Rohproteinversorgung.

5. Literaturangaben

Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e. V. (DLQ) (Hrsg.), 2013: Methode 1.13, DLQ-Referenzmethode zur Bestimmung des Harnstoffgehaltes in Milch - Kontinuierliche Durchflussanalyse, 1.13, Bonn.

Dietary burden calculation for aquaculture diets: A linear programming approach

J. Klein, M. Klein, C. Schlechtriem
Fraunhofer IME, Schmallenberg

1. Introduction

Aquaculture is defined as „the farming of aquatic organisms including fish, molluscs, crustaceans and aquatic plants. Farming implies some sort of intervention in the rearing process to enhance production, such as regular stocking, feeding etc...” (FAO, 1997). Today, aquaculture production provides roughly 50 % of the fish consumed worldwide (FAO, 2014). Due to the increase in fish farming and the increase in use of plant commodities as a source of feed, there is a need to estimate the levels and nature of pesticide residues in edible products in fish. The uptake of pesticides by fish can occur following ingestion of feed containing a pesticide residue. Consequently residues in products of fish origin need to be evaluated (European Commission, 2009). Fish metabolism data quantify total residues and characterize the chemical nature of residues which may occur in edible tissues of fish exposed to pesticides. According to the Working document on ‘Nature of Residues in Fish’ (European Commission, 2013) fish metabolism studies (Schlechtriem et al., 2015) are required when pesticide use may lead to significant residues in fish feed generally considered to be > 0.1 mg/kg of the total diet. Fish in intensive aquaculture are fed based on a “maximum reasonably balanced diet (MRBD)” approach only. Therefore, the calculation of the maximum dietary burden of a pesticide in fish feed needs to be carried out by formulation of MRBD under consideration of all feedstuffs where specific residue values from supervised field trials are available. The procedure described in the Working document (Annex III) can only provide an approximation of the dietary burden in aquaculture diets. In practice, the MRBD should be calculated by linear programming to optimize the dietary burden estimates. The aim of this project was to develop a userfriendly dietary burden calculator for fish metabolism studies.

2. Material and methods

A calculator based on the simplex method (Shenoy, 2007) was developed for the estimation of the maximum burden of pesticides in compound feeds for fish.

Independent scenarios for common carp and rainbow trout were implemented considering the specific protein and lipid requirement of both species (Tab. 1).

Tab. 1: Target composition of test diets (% DM) for common carp and rainbow trout

Fish Species	CL(%)	CP(%)
Rainbow trout	15	42
Common carp	10	35

CL = crude lipids; CP = crude protein

The optimization procedure is based on the combination of selected feedstuffs characterized by specific proximate composition (crude protein and crude lipid content in % DM) and residue values of a certain pesticide. While for unprocessed feedstuffs usually the supervised trial medium residue (STMR) is used, for processed commodities the STMR is multiplied by a processing factor (STMR-P) to account for an increase or decrease of residue levels during processing. The quantity of a feedstuff in feed is assumed to be between 0 and 100% as far as no restrictions for the inclusion exist.

This context can be mathematically written as two different linear equations:

$$\text{Protein content: } P_1x_1 + \dots + P_nx_n = P_{\text{Diet}}$$

$$\text{Lipid content: } L_1x_1 + \dots + L_nx_n = L_{\text{Diet}}$$

where

P_{Diet} : is the target protein concentration of the diet (%),

L_{Diet} : is the target lipid concentration of the diet (%),

P_i : is the protein concentration of feed component i (%),

L_i : is the lipid concentration of feed component i (%) and

x_i : is the fraction of feed component i in the diet (-).

For the formulation of a fish diet further (trivial) conditions need to be defined in order to solve the mathematical problem:

- x_i must always be between 0 and 1,
- the sum of all x_i sum always up to 1.

If the idea of a "maximum reasonable balanced" diet (MRBD) is considered, the maximum content of a certain feed may be limited in some cases which can be considered by additional conditions. Therefore the inequalities $x_i \leq 1$, for $i = 1, \dots, n$, are replaced by $x_i \leq (R_{\text{Diet}})_i$ for $i = 1, \dots, n$. The restrictions are constant

positive numbers smaller than 1 and may differ between feed components and fish species due to their different nutritional requirements.

The so far obtained expressions are all linear leading to an infinite number of solutions for the problem with infinite different feed compositions which meet the necessary criteria. The set of all possible solutions is called feasible solution set which includes the desired feed composition containing the maximum burden of a pesticide. That corresponds mathematically to the objective function composed by the sum of the products of the part of feed and residue value of the corresponding component.

$$\max S(x) = S_1x_1 + \dots + S_nx_n,$$

where

S : is the maximum substance concentration in the diet (mg/kg) and

S_i : is the substance concentration of feed component i (mg/kg).

Basically, the method is divided into two steps: Step 1, also called Phase I, is to find a start solution of the problem and Phase II is the improvement of an existing feasible solution until the optimal solution is found. Dependent on the number and settings of variables the method may either solve the problem exactly or assert that the problem is insolvable. The range of commodities which are treated with a specific pesticide may not be suitable to formulate an aquaculture diet. In this case, uncontaminated substitutes as protein concentrate (PC, fish meal), carbohydrate concentrate (CC, starch) or fat (F, oil) can be included as optional feed components to allow the formulation of MRBD (Tab. 2).

Tab. 2: Proximate composition of uncontaminated feed components

Feed Component	CL(%)	CP(%)
Fish Meal (PC)	5	75
Starch (CC)	0.1	0.1
Oil (F)	100	0

3. Results and discussion

The **DietaryBurdenCalculator** (Fig. 1) provides the opportunity to estimate the maximum burden of pesticide residues in formulated fish feed containing

plant derived feedstuffs. The core of the program is a library of basic feed components. For each component the protein and lipid content as well the maximum recommended inclusion rate for common carp and rainbow trout diets is defined, respectively.

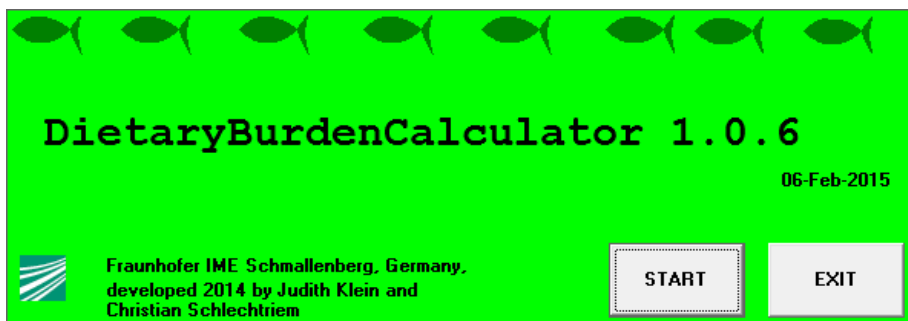


Fig. 1: Software **DietaryBurdenCalculator**

As required the data base can be modified by adding or updating potential feed components. For feed optimization all feed components are selected where pesticide use may lead to significant residues. Specific residue values obtained from supervised field trials need to be inserted. The calculator allows i) the estimation of the specific dietary burden for common carp and rainbow trout diets, ii) feed formulation under consideration of maximum inclusion rates, iii) optimization of residue estimates by adding uncontaminated substitutes rich in protein, carbohydrates and fat. The result of the calculation is presented in a detailed report providing comprehensive information on the specific feed formulation leading to the highest residue content and all factors used for the optimization procedure.

The working document (European Commission, 2013) provides a detailed description of the hand formulation procedure including several model calculations for a set of plant derived commodities (Tab. 3). However, hand formulation of balanced diets can only provide an approximation of the maximum dietary burden. Therefore, dietary burden calculations should be carried out by linear programming. Hand formulation resulted in a dietary burden estimate similar to the lowest computer-generated calculations (Tab. 4). The use of uncontaminated supplements (PC, CC, F) allowed higher inclusion rates for the plant derived feedstuffs leading to higher dietary burden estimates. In contrast,

considering maximum inclusion rates for the various plant commodities as part of the MRBD approach resulted in a decrease of residue levels (Tab. 4).

Tab. 3: Set of feedstuffs potentially treated with a pesticide (Example)

	CP (%)	CL (%)	STMR-P(mg/kg DM)
Peanut meal	46.5	1.0	0.05
Soybean meal	49.8	0.8	0.09
Corn meal	10.2	4.8	0.3
Rice (broken grains)	15.1	0.6	0.02
Vegetable oil	0	100	0.01

STMR-P: supervised trial median residue multiplied by a processing factor.

Tab. 4: Dietary burden calculation of a balanced diet for common carp

Calculation	Dietary burden (mg/kg DM)
Hand formulation ¹	0.123
DBC	0.128
DBC (MRBD)	0.121
DBC with PC, CC, F	0.167
DBC with PC, CC, F (MRBD)	0.141

DBC = Dietary Burden Calculator

MRBD = Maximum reasonable balanced diet

With PC, CC, F = addition of uncontaminated protein concentrate (PC), carbohydrate concentrate (CC) and fat (F)

¹Working document on 'Nature of Residues in Fish (European Commission, 2013)

4. Conclusions

The **Dietary Burden Calculator** provides a flexible platform for the calculation of dietary burden estimates which are required to assess the need to evaluate pesticide residues in products of fish origin as part of the pesticide authorization process. Fish metabolism studies provide essential information required to understand the metabolism and accumulation of residues in fish farmed for human consumption. They further indicate the components to be analyzed in residue quantification studies carried out in order to establish maximum residue levels (MRLs) for edible fish commodities and to assess possible consumer

risks arising from the consumption of these products. Risk assessment could be optimized by the monitoring of fish feed as part of the official animal feed inspection. Data on pesticide residues in commercial aquaculture diets are mostly missing.

5. References

- European Commission, 2009: Regulation No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 concerning the placing of plant protection products on the market and repealing Council Directives 79/117/EEC and 91/414/EEC, Official Journal of the European Union L 309/1, 24.11.2009.
- European Commission, 2013: Working document on 'Nature of Residues in Fish' SANCO/11187/2013 rev.3, http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/guidance_documents/docs/app-j_en.pdf, (last opened 2015-07-05).
- FAO, 1997: Aquaculture Development. FAO Technical Guidelines for Responsible Fisheries No. 5, FAO, Rome.
- FAO, 2014: State of the world fisheries and aquaculture 2014. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome, Italy, pp. 3-20.
- Shenoy GV, 2008: Linear Programming: Methods and Applications, New Age International Pvt Ltd Publishers.
- Schlechtriem, C., Goeritz, I., Atorf, C., Bergendahl, E., Seymour, P., Whalley, P., 2015: Development of a regulatory testing procedure to study the metabolism of pesticides in farmed fish. Pest Management Science. DOI 10.1002/ps.4007.

6. Acknowledgements

The development of the software **DietaryBurdenCalculator** was funded by Fraunhofer Society and realized as part the master's thesis of Judith Klein to receive her degree in mathematics at the University of Duisburg-Essen, Germany. A free copy of the software can be obtained from Fraunhofer IME (dietary.burden@ime.fraunhofer.de).

Review zu den offiziellen Bestimmungsmethoden für Selen: Untersuchung zum Verhalten der Selenpezies bei dem Aufschluss und der Detektion

T. Kapp, Y. Babskaya

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin

1. Problemstellung

Selen ist für Mensch und Tier ein essentielles Element. Es kommt in verschiedenen anorganischen und organischen Bindungsformen (Spezies) vor (Abb. 1). Dabei ist der Selengehalt in der pflanzlichen Nahrung abhängig von den Selengehalten in den Böden. Für die Tierernährung sind hierbei besonders die eiweißreichen Futterausgangsstoffe wie Leguminosen wichtig. Für die Humanernährung sind neben Leguminosen, Fisch und Pilzen die tierischen Lebensmittel von besonderer Bedeutung für die Selenversorgung

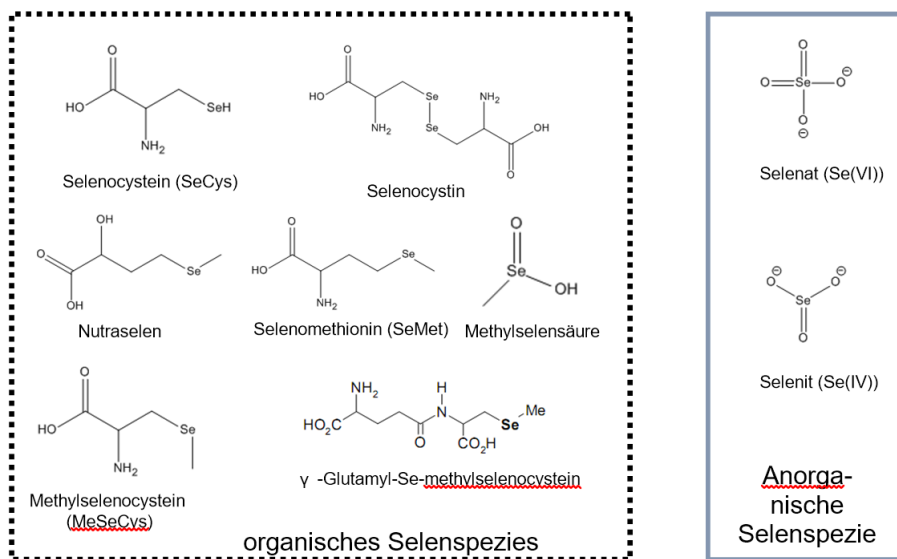


Abb. 1: In der Nahrung vorkommende Selenpezies

Obwohl die meisten Mangelkrankungen in anderen Weltregionen beschrieben wurden (Keshan, Kaschin-Beck, Weißmuskelerkrankung), gilt Europa auf-

grund relativ geringer Gehalte in den Böden weitestgehend als Mangelgebiet. Daher kann eine Zufuhr von Selen durch Supplementierung der Futtermittel und eine separate Zuführung über Nahrungsergänzungsmittel sinnvoll sein. Da Selen aber aufgrund einer schmalen therapeutischen Breite schnell auch toxische Effekte hervorrufen kann, ist die Supplementierung der Futtermittel nur bis zu 0,5 mg Se/kg Futtermittel gestattet. Im Lebensmittelbereich wird der Gehalt in pflanzlichen und tierischen Lebensmitteln im Rahmen des Warenkorb-Monitoring regelmäßig untersucht.

Die Analyse von Selen gestaltet sich traditionell schwierig, da keine der verfügbaren Methoden zur Spurenelementbestimmung ohne große Nachteile sind. Für die Analyse der geringen Gehalte kommen nur die ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry) (Bestimmungsgrenze ab 10 µg/kg) und die HG-AAS (hydrogen generation atomic absorption spectrometry) (Bestimmungsgrenze ab 50 µg/kg) in Frage. Die ICP-MS detektiert zwar Selen unabhängig von seiner chemischen Form, weist aber auf den Massen $m/z=78$ und 80 schwere Störungen durch Argondimere auf. Diese Korrektur war in der Vergangenheit lange ein Hindernis diese Technik für standardisierte Methoden einzusetzen.

Daher existieren sowohl für die Futtermittel (VDLUFA, 2006) als auch für die Lebensmittel (Amtliche Sammlung, 2001) jeweils eine standardisierte Methode zur Bestimmung des Gesamtselengehalts. Beide Methoden beruhen auf der Verwendung der HG-AAS als Detektionsmethode. Diese zeichnet sich durch hohe Selektivität und Nachweisstärke aus, ist aber sehr stark davon abhängig, dass das Selen in der Form des Selenits (Abb. 1) vorliegt.

Ein Vergleich dieser Methoden zeigt kaum Unterschiede in der Beschreibung der Detektionsmethode, aber recht deutliche Abweichungen in den Festlegungen für Aufschluss und Vorbehandlung für die Messung.

Um die unterschiedliche Herangehensweise beider Methoden beurteilen zu können, haben wir eine Methode zur Beobachtung der Selenspezieszusammensetzung in den Aufschlusslösungen entwickelt. Mit Hilfe dieser Methoden haben wir die Aufschlussbedingungen variiert und das Produktspektrum analysiert.

2. Methodische Vorgehensweise

Als Modell wurden weiße Bohnen ausgewählt, die sich in den Voruntersuchungen als nahezu selenfrei herausgestellt hatten. Diese wurden mit den unterschiedlichen Selenspezies (Selenit, Selenat und Selenomethionin) dotiert.

Für die konventionelle Herangehensweise (DIN EN 13805, 2014) wurden 500 mg der Probe eingewogen, mit 2,5 mg/kg je Selenspezies dotiert und mit 2 mL Wasser suspendiert. Dazu wurde nach einer Quellungsphase von ungefähr einer halben Stunde 4 mL Salpetersäure (65 %) dazugegeben. Nach Abklingen der Spontanreaktion wurden die Aufschlussgefäße verschlossen und in das jeweilige Aufschlusssystem (Mikrowelle oder HPA) eingesetzt. Bei der modifizierten Vorgehensweise wurde kurz vor dem Verschließen 1 mL Salzsäure (65 %) zugesetzt.

Nach Durchlauf des Temperaturprogramms und erneuter Abkühlung des Aufschlusses wurden die Proben in Zentrifugenröhrchen überführt und gegen Phenolphthalein mit Ammoniak-Lösung (25 %) neutralisiert und auf 50 mL aufgefüllt. Von dem Überstand wurden 4 mL entnommen und zur Ultrafiltration (Ausschlussgröße 3 kD) eingesetzt. Die erhaltenen Ultrafiltrate wurden ohne Zwischenverdünnung zur Chromatographie eingesetzt.

Die Selenspezies wurden mit einer HPLC-Anlage des Typs Flexar (PerkinElmer) getrennt. Das Trennsystem war eine Ionenpaarchromatographie an einer reversed-Phase-Säule (Alltima C8), an der mittels einer Lösung aus Ammoniumcitrat (5 mmol), 0,1 % TFA und 2 % Methanol in Wasser (pH 3) getrennt wurde. (Vacchina, 2010).

Die Detektion erfolgte mit einer ICP-MS (Elan DRCe, PerkinElmer) auf der Masse $m/z = 80$. Polyatomare Störungen auf dieser Masse durch Argondimere wurden durch den Einsatz des Zellgases Methan beseitigt.

3. Ergebnisse

Als einfachstes System wurde das Verhältnis von Selenit und Selenat bei einer Dotierung im Verhältnis von 1:1 untersucht. Hierbei zeigte sich, dass bei 180 °C als Aufschlusstemperatur erst eine geringe Umwandlung des Selenats zum

Selenit stattgefunden hatte. Im Bereich der Aufschlusstemperaturen bis 240 °C fand dann die quantitative Umwandlung statt, so dass bei Aufschlusstemperaturen ab 240 °C das gesamte Selenat als Selenit wiedergefunden wurde (Abb. 2).

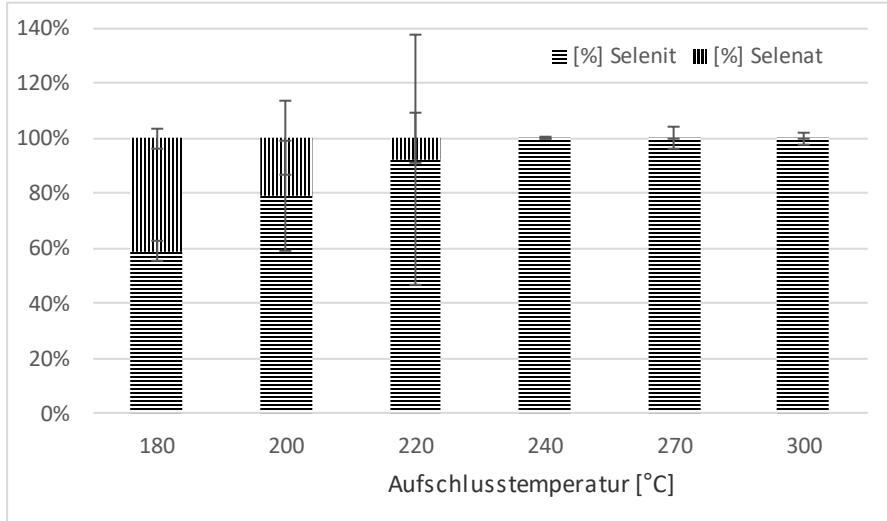


Abb. 2: Selenat:Selenit-Verhältnis mit steigender Aufschlusstemperatur

Bei zusätzlicher Betrachtung des Verhaltens von Selenomethionin fiel auf, dass dieses sich sehr schnell zur Methylselenensäure zersetzte. Die Methylselenensäure war über einen weiten Temperaturbereich das einzige sichtbare Abbauprodukt des Selenomethionins, das sich auch durch eine erhöhte Stabilität gegenüber der Salpetersäure auszeichnete. Erst ab einer Temperatur von 270 °C war auch diese Verbindung sicher mineralisiert (Abb. 3).

Die beobachteten Verhältnisse zwischen den Spezies in den Aufschlüssen unterlagen bei der Lagerung (> 10 d) keiner signifikanten Änderung.

Die Höhe der benötigten Temperaturen übersteigt die genannten Mindestaufschlusstemperaturen der beiden genormten Methoden teilweise deutlich (Futtermittel 170-190 °C, Lebensmittel in der Routine 180-220 °C).

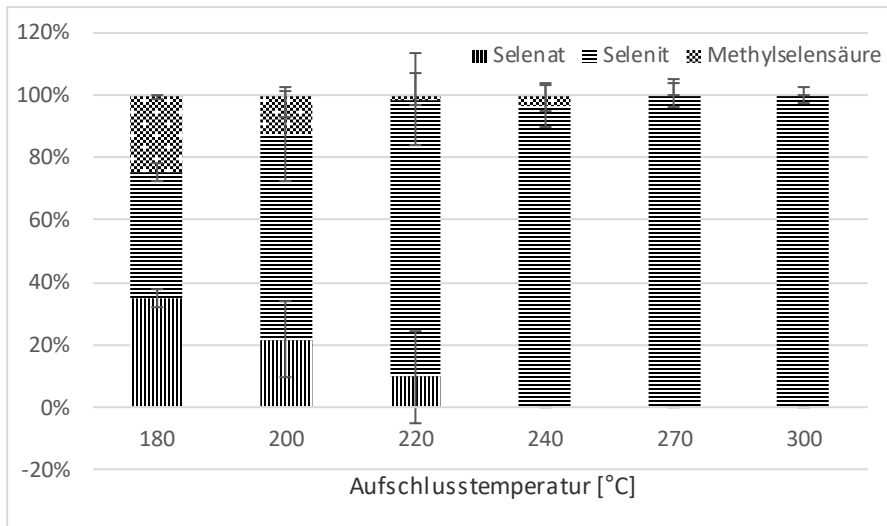


Abb. 3: Selenspezies-Verhältnis mit steigender Aufschlusstemperatur

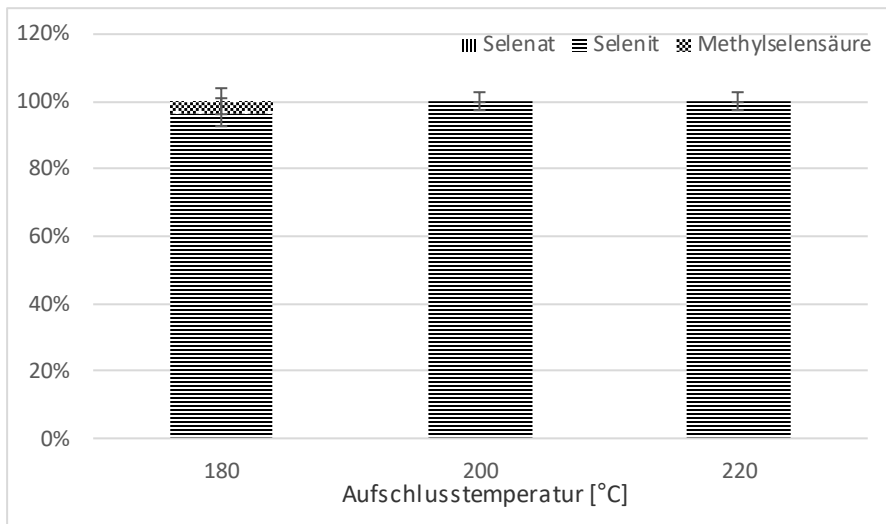


Abb. 4: Selenspezies-Verhältnis mit steigender Aufschlusstemperatur nach Salzsäurezusatz

Des Weiteren wurde die Idee verfolgt, die nachgeschaltete Vorreduktion vielleicht schon während des Aufschlusses ablaufen zu lassen. Dazu wurde die zur Reduktion notwendige Salzsäure kurz vor dem Aufschluss in die Ansätze gegeben. Dabei haben wir uns an den Modifikationen für die Aufschlüsse orientiert, die die Bestimmung von Eisen oder Zinn in Futter- und Lebensmittel zum Ziel haben (Amtliche Sammlung, 2011; EU-Verordnung (EG) Nr. 152/2009, 2009).

Diese Modifikation stellte sich als sehr effektiv heraus. Zum einen wurde schon bei einer Aufschlusstemperatur von 180 °C kein Selenat mehr detektiert. Zum anderen wurde auch die Mineralisierung der Methylselensäure gefördert, so dass diese schon bei Anwendung von 200 °C nicht mehr nachgewiesen werden konnte (Abb. 4).

In der Folge stellte sich die Frage wie sich Methylselensäure bei der Hydrierung verhält. Hierbei zeigte sich, dass je nach Randbedingungen (Reduktionsmittelmenge und Salzsäurezugabe) Methylselensäure zwischen 79 und 100 % als Selen wiedergefunden wurde.

Dieser Effekt mag der Grund sein, dass die offiziellen Methoden im Großen und Ganzen im Rahmen der Fehlergrenzen bei Eignungsprüfungen richtige Werte zeigen.

Eine Validierung der Methode unter optimierten Aufschlussbedingungen wurde im Anwendungsbereich von 0,1 bis 1 mg/kg mit Hilfe des Interval-Ansatzes (Jülicher, 1998) durchgeführt. Dabei wurden Kalibriergeraden aufgenommen, indem unterschiedliche Selengehalte auf selenfreie Materialien gespiked und die Wiederfindung unter variierenden Versuchsbedingungen (Aufschlussgerät, Bearbeiter, Lagerzeit nach Aufschluss, Art des zugesetzten Standards) bestimmt. Als Ergebnis erhielt man eine Messunsicherheit von 13 % im unteren Konzentrationsbereich (0,1 mg/kg), die dann mit zunehmenden Selengehalten bis auf 6 % (bei 1 mg/kg) abnahm. Die offiziellen Methoden zeigen demgegenüber eine Vergleichsstandardabweichung im vergleichbaren Gehaltsrahmen von 6 bis 15 %. Damit hat die hier entwickelte Methode mindestens ähnliche Präzisionswerte wie die Vergleichsmethoden.

4. Zusammenfassung

Mit Hilfe der Bestimmung der Selenspezies konnte das Verhalten verschiedener Ausgangsverbindungen während des Aufschlusses beobachtet werden. Im Gegensatz zu den Temperaturangaben aus den offiziellen Routinemethoden wurde deutlich, dass höhere Temperaturen benötigt werden, um einen vollständigen Aufschluss und die eindeutige Überführung in die hydrierbare Selenverbindung Selenit zu erreichen.

Aus den Veränderungen der Speziesverteilungen konnte keine Begründung für eine festzulegende Temperaturobergrenze für den Aufschluss gefunden werden, wie dies in der Amtlichen Sammlung (2001) geschehen ist. Ebenso waren die Spezies entgegen Literaturangaben (Welz, 1999) in den Aufschlüssen über 10 Tage lang stabil.

Eine Vorreduktion der Aufschlusslösungen wie in der VDLUFA-Methode beschrieben, ist aufgrund der häufig nicht eindeutigen Spezieszusammensetzung dringend geboten.

Der Arbeitsfähigkeit der Routinemethoden kommt der Umstand zu Gute, dass das Hauptabbauprodukt der organischen Selenverbindungen ebenfalls flüchtige Hydride bildet und daher miterfasst wird.

Es konnte gezeigt werden, dass der Zusatz von Salzsäure vor den Aufschlüssen die eindeutige Umwandlung der verschiedenen Selenspezies zu Selenit ab 200 °C bewirkt und so die beiden etablierten Methoden hinsichtlich ihrer Durchführung und Fehlerquellen vereinfacht.

5. Literaturangaben

Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB L00.00.19/5, 2001: Bestimmung von Spurenelementen in Lebensmitteln. Teil 5: Bestimmung von Selen mit der Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)-Hydridtechnik.

Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 64 LFGB L00.00.127, 2011: Bestimmung von Zinn in Lebensmitteln. Mit Flammen-AAS und Graphitofen-AAS nach Druckaufschluss.

- DIN EN 13805, 2014: Lebensmittel-Bestimmung von Elementspuren-Druckaufschluss, Deutsche Fassung.
- EU-Verordnung (EG) Nr. 152/2009, 2009: zur Festlegung der Probenahmeverfahren und Analysemethoden für die amtliche Untersuchung von Futtermitteln L54/72.
- Jülicher, B., Gowik, P., Uhlig, S., 1998: Assessment of detection methods in trace analysis by means of a statistically based in-house validation concept. *Analyst*. 123(2), 171-179.
- Vacchina, V., Moutet, M., Yadan, J., de Baene, F., Kudla, B., Lobinski, R., 2010: Simultaneous speciation of selenomethionine and 2-hydroxy-4-methylselenobutanoic acid by HPLC-ICPMS in biological samples. *J. Chromatogr. B*. 878, 1178-1180.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hrsg.), 2006: Methode 11.6.2, Bestimmung von Selen in Futtermitteln. In: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch)*, Bd. III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Welz, B., Sperling M., 1999: *Atomabsorptionsspektrometrie*, 4. Auflage, Wiley-VCH, ISBN 3-527-28305-6.

Transfer von poly- und perfluorierten Chemikalien (PFC) aus kontaminierten Böden in Nutzpflanzen

A. Trenkle¹

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe

Einleitung

Poly- und perfluorierte Chemikalien (PFC) wurden schon seit mehr als 60 Jahren industriell hergestellt. Wegen ihrer einzigartigen chemischen und physikalischen Eigenschaften wurden sie vielfach sowohl in industriellen Prozessen als auch in Produkten verwendet. PFC sind somit Industriechemikalien anthropogenen Ursprungs, verhalten sich wie Tenside und sind daher oberflächenaktiv. Durch ihre Carbon- oder Sulfonsäuregruppe sind PFC hydrophil und durch die Kohlenstofffluorkette auch lipophil (Abbildung 1). Die daraus resultierenden wasserabweisenden Eigenschaften sowie die feuerlöschende Wirkung führte zu vielen Verwendungen der PFC z.B. um Imprägnieren von Textilien, Leder und Teppichen, beim Korrosionsschutz und Beschichtung von Metallen, in der Papierproduktion, als Bestandteil von Flammschutzmittel, z. B. in Feuerlöschschäumen u.a.

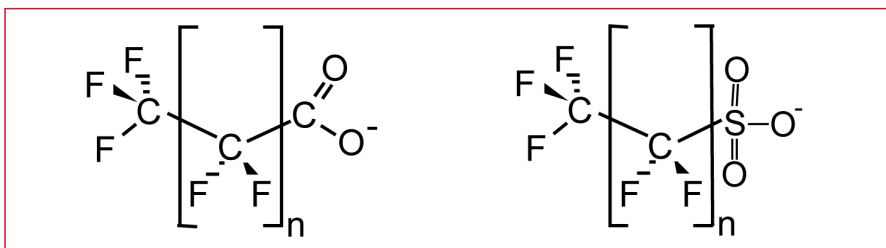


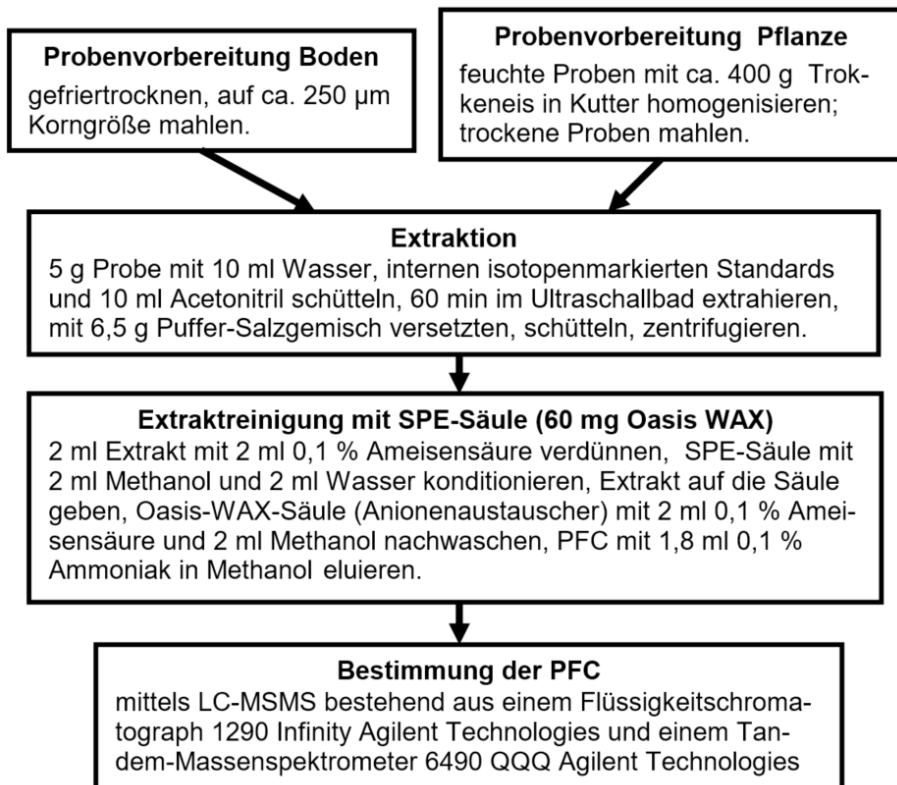
Abb. 1: Strukturformeln Perfluoralkylcarboxylate und Perfluoralkylsulfonate; Quelle: F. Th. Lange, 2008: git-labor.de

Toxikologisch sind am besten PFOA und PFOS untersucht. Für diese beiden PFC gibt es auch eine Risikobewertung (BfR, 2008; EFSA, 2008; Stahl et al., 2015). Die akute Toxizität wurde bislang als mäßig beurteilt. Die Substanzen reichern sich vor allem im Blut und in der Leber, weniger im Fettgewebe, an (Stahl et al., 2015; Wölfle, 2014).

In den Jahren 2006-2008 wurden in Baden-Württemberg im Bereich Mittelbadens Papierschlämme auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Erst 2013 wurde nach umfangreichen Untersuchungen von Trink- und Grundwasser festgestellt, dass diese Papierschlämme PFC enthalten haben mussten. Von den kontaminierten Feldern gelangten die relativ gut wasserlöslichen Substanzen in das Grundwasser und führten zur Schließung von Brunnen. Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg wurde letztes Jahr beauftragt, den Transfer der PFC vom Boden in Nutzpflanzen zu untersuchen.

1. Analytik

Nach folgendem Analysenschema wurden die Böden nach DIN, 2011 und Pflanzen sowie pflanzliche Materialien nach VDLUFA, 2011 auf PFC untersucht:



Aufbau und Geräteeinstellungen des Flüssigkeitschromatographen 1290 Infinity Agilent Technologies

- Binäre Pumpe mit integriertem Entgaser
- Probengeber mit Thermostat
- Säulenofen
- LC-Bedingungen

Injektionsvolumen: 1 μ l

Säule: ZORBAX Eclipse XDB-C18;
1,8 μ m; 4,6 mm x 100 mm; 600 bar

Säulentemperatur: 30 °C

Flussrate: 0,3 ml/min

Eluent A: 0,1 mmol Ammoniumacetat in 0,1 % Ameisensäure

Eluent B: 0,1 mmol Ammoniumacetat in Methanol

Gradientenprogramm:

Zeit [min]	Eluent A [%]	Eluent B [%]
0	70	30
3	20	80
10	20	80
24	5	95
35	5	95
35,1	70	30
40	70	30

Geräteeinstellungen des Tandem-Massenspektrometers 6490 QQQ Agilent Technologies

- Ionenquelle: Elektrospray (ESI)
- Ionenpolarität: negativ
- Gastemperatur: 200 °C
- Gasfluss: 14 l/min
- Zerstäuberdruck: 20 psi
- Schutzgas-Temperatur: 250 °C
- Schutzgasfluss: 11 l/min
- Kapillarspannung: 3000 V
- Ladungsspannung: 1500 V

Quantifizierung mit internen Standards:

¹³C₄-PFBA

¹³C₄-Perfluorbutanoat, -butansäure

¹³C₂-PFHxA

¹³C₂-Perfluorhexanoat, -hexansäure

¹³C₄-PFOA¹³C₄-Perfluorooctanoat, -octansäure¹³C₄-PFOS¹³C₄-Perfluorooctansulfonat, -octansulfonsäure

Relevante PFC-Verbindungen

Bei den Boden-, Grund- und Trinkwasseruntersuchungen wurden folgende PFC-Komponenten gefunden: Perfluorbutanoat, -butansäure (PFBA), Perfluorpentanoat, -pentansäure (PFPeA), Perfluorhexanoat, -hexansäure (PFHxA), Perfluorheptanoat, -heptansäure (PFHpA), Perfluorooctanoat, -octansäure (PFOA), Perfluorononanoat, -nonansäure (PFNA), Perfluordecanoat, -decansäure (PFDA), Perfluorundecanoat, -undecansäure (PFUnA), Perfluordodecanoat, -dodecansäure (PFDoA), Perfluorbutansulfonat, -butansulfonsäure (PFBS), Perfluorhexansulfonat, -hexansulfonsäure (PFHxS), Perfluorooctansulfonat, -octansulfonsäure (PFOS), Perfluordecansulfonat, -decansulfonsäure (PFDS).

Validierung

Die Validierungsanalysen wurden von Juli 2014 bis Juni 2015 durchgeführt und kommen damit den Vergleichsbedingungen von Eignungsprüfungen recht nahe (Tabelle 1 und Tabelle 2).

Tab. 1: Validierungsdaten für Boden

PFC	Dotierung [µg/kg]	WF [%]	MW [µg/kg]	v	V [%]	MU [%]	n
PFBA	100	100,0	100	7	7,1	14,3	14
PFBS	100	118,4	118	18	15,5	30,9	14
PFPeA	100	111,2	111	11	9,5	19,1	14
PFHxA	100	100,9	101	6	6,3	12,6	14
PFHxS	100	106,9	107	13	11,8	23,6	14
PFHpA	100	103,4	103	9	9,0	18,1	14
PFOA	100	100,2	100	6	6,1	12,3	14
PFOS	100	102,3	102	7	6,4	12,8	14
PFNA	100	98,9	99	7	6,9	13,8	14
PFDA	100	98,8	99	9	9,3	18,6	14
PFDS	100	98,0	98	5	4,7	9,3	14
PFUnA	100	98,2	98	8	8,0	15,9	14
PFDoA	100	98,9	99	10	10,1	20,1	14

WF = Wiederfindung; MW = Mittelwert; v = Standardabweichung; V = relative Standardabweichung; MU = Messunsicherheit; n = Anzahl der Messungen

Tab. 2: Validierungsdaten für pflanzliches Material:

PFC	Dotierung [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	WF [%]	MW [$\mu\text{g}/\text{kg}$]	v	V [%]	MU [%]	n
PFBA	40	102,1	41	3,7	9,1	18,3	29
PFBS	40	106,3	43	3,9	9,3	18,6	29
PFPeA	40	111,6	45	4,0	8,9	17,8	29
PFHxA	40	103,4	41	2,4	5,9	11,8	29
PFHxS	40	102,8	41	3,3	8,0	15,9	29
PFHpA	40	99,9	40	2,3	5,7	11,4	29
PFOA	40	105,3	42	2,4	5,6	11,2	29
PFOS	40	103,1	41	2,0	5,0	9,9	29
PFNA	40	102,7	41	2,6	6,2	12,5	29
PFDA	40	102,5	41	2,3	5,7	11,4	29
PFDS	40	101,3	41	2,2	5,5	11,0	29
PFUnA	40	104,1	42	2,3	5,6	11,3	29
PFDoA	40	104,3	42	2,3	5,6	11,2	29

WF = Wiederfindung; MW = Mittelwert; v = Standardabweichung; V = relative Standardabweichung; MU = Messunsicherheit; n = Anzahl der Messungen

Die Wiederfindungen, die Standardabweichungen und die Mess- bzw. Ergebnisunsicherheiten waren meist sehr gut. Lediglich für PFBS im Bodenmaterial waren die durchschnittliche Wiederfindung mit 118,4 % und die durchschnittliche relative Standardabweichung mit 15,5 % sowie die daraus resultierende erweiterte Messunsicherheit mit 30,9 % etwas erhöht. Die Bestimmungsgrenzen waren für Böden $5 \mu\text{g}/\text{kg}$ bezogen auf die Trockensubstanz und für pflanzliches Material $2 \mu\text{g}/\text{kg}$ bezogen auf die Originalsubstanz.

3. Untersuchungsergebnisse

Von Verdachtsflächen wurden im Jahre 2014 Bodenproben von 0-30 cm sowie von 30-60 cm gezogen und auf PFC untersucht. In den kontaminierten Böden wurden in der oberen Bodenschicht PFC-Summengehalte von $42 \mu\text{g}/\text{kg}$ bis $183 \mu\text{g}/\text{kg}$ und in der unteren von nicht nachweisbar bis $182 \mu\text{g}/\text{kg}$ nachgewiesen. Dabei wurden nur geringe Konzentrationen der kurzkettigen PFBA, PFPeA, PFHxA und PFHpA (kk-PFC) gefunden. Die Summenwerte setzten sich vor allem aus den langkettigen Komponenten PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA, PFDoA und PFOS (lk-PFC) zusammen (Tabelle 3).

In Nutzpflanzen war die PFC-Verteilung ganz anders. Dort wurden vor allen die kurzkettigen Vertreter PFBA, PFPeA und PFHxA bestimmt, obwohl diese in den Böden überhaupt nicht oder lediglich in geringen Mengen festgestellt wurden (Tabelle 3). In einem Foliengewächshaus war der Oberboden mit mehr kurzkettigen Verbindungen kontaminiert als mit langkettigen. In der Schicht von 30 – 60 cm waren keine nachweisbaren Mengen an PFC vorhanden. Die dort angepflanzten Tomaten wurden mit PFC-haltigem Wasser bewässert. In den verwendeten kontaminierten Grund- und Trinkwässern waren ebenfalls mehr kk-PFC als lk-PFC enthalten.

Die orientierenden Untersuchungen von 2014 ließen vermuten, dass selbst bei sehr geringen Gehalten (auch unter der analytischen Bestimmungsgrenze) im Boden die kk-PFC mit dem Wasser aufgenommen und in Pflanzen angereichert wurden. Bislang wurde der Transfer von kk-PFC vom Boden in die darauf wachsenden Pflanzen kaum untersucht. Deshalb vergab das Ministerium für ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR) Baden-Württemberg an das LTZ Augustenberg ein dreiteiliges Forschungsprojekt zur Klärung der offenstehenden Fragen.

Tab.3: Auswahl PFC-Gehalte 2014 in $\mu\text{g}/\text{kg}$

Probenart	PFC	PF BA	PF PeA	PF HxA	PF HpA	PF OA	PF NA	PF DA	PF UnA
Weizenkorn	50	46	6	u.B.	2	u.B.	u.B.	u.B.	
Weizenkorn	52	43	11	u.B.	9	u.B.	u.B.	u.B.	
Boden 0-30 cm	u.B.	5	3	u.B.	9	7	81	17	
Boden 30-60 cm	6	2	u.B.	15	11	109	15	23	
Weizenkorn	70	64	7	u.B.	2	u.B.	u.B.	u.B.	
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	6	4	45	8	
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	7	7	75	11	
Tomaten	2	13	6	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	
Boden 0-30 cm	5	7	8	6	14	1	1	u.B.	
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	
Topinambur	30	9	u.B.	u.B.	u.B.	1	u.B.	u.B.	
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	5	3	62	9	
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	8	10	11	u.B.	

Tab.3: Fortsetzung Auswahl PFC-Gehalte 2014

Probenart	PFC DoA	PF BS	PF HxS	PF OS	PF DS	kk-PFC Summe	lk-PFC Summe	PFC Summe
Weizenkorn	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	102	2	104
Weizenkorn	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	106	9	115
Boden 0-30 cm	31	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	8	145	153
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	1	u.B.	u.B.	24	158	182
Weizenkorn	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	141	2	143
Boden 0-30 cm	19	u.B.	u.B.	2	u.B.	u.B.	84	84
Boden 30-60 cm	13	u.B.	u.B.	15	u.B.	u.B.	128	128
Tomaten	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	21	u.B.	21
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	26	16	42
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Topinambur	u.B.	u.B.	u.B.	2	u.B.	39	3	42
Boden 0-30 cm	19	u.B.	u.B.	85	u.B.	u.B.	183	183
Boden 30-60 cm	u.B.	u.B.	u.B.	50	u.B.	u.B.	79	79

PFC-Gehalte in $\mu\text{g}/\text{kg}$ beim pflanzlichen Material bezogen auf die Originalsubstanz und bei den dazugehörigen Böden bezogen auf die Trockensubstanz; u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze vgl. Validierung; kk-PFC = kurzkettige PFC; lk-PFC = langkettige PFC

Im ersten Projektteil werden im Rahmen eines Vorerntemonitorings alle Aufwüchse der belasteten Flächen untersucht. Des Weiteren sollen Gefäßversuche im Gewächshaus die Kontamination von Pflanzen durch Beregnung bzw. Bewässerung mit PFC-haltigem Wasser überprüfen. Schließlich wird ein Exaktversuch auf ausgewählten belasteten Flächen durchgeführt, der den Transfer der PFC unter Freilandbedingungen vom Boden in die Nutzpflanzen erforschen soll.

Im Frühjahr 2015 wurde im Sinne des Verbraucherschutzes sofort mit dem Vorerntemonitoring begonnen und die beiden anderen Teilprojekte vorbereitet. Von diesen werden erste Ergebnisse erst Ende 2015 vorliegen. Da das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) angesichts der dürftigen Datenlage für kk-PFC in pflanzlichen Lebensmitteln keine Risikoabschätzung durchführen konnte, leitete das MLR des Landes Baden-Württemberg gemäß der nationalen Verzehrstudie Beurteilungswerte (BW) ab (Tabelle 4). Diese entscheiden über die Verkehrsfähigkeit eines landwirtschaftlichen Produktes solange das BfR keine Risikobewertung vorlegen kann.

Bis Mitte September 2015 wurden von den belasteten Ackerflächen verschiedene pflanzliche Lebensmittel und Futtermittel untersucht. Tabelle 5 zeigt Beispiele von höheren PFC-Kontaminationen in Korrelation mit den entsprechenden PFC-Gehalten im Oberboden (0-30 cm). Die PFC-Gehalte bei Obst sowie Gemüse beziehen sich auf die Originalsubstanz und bei Getreide, Gras, Heu sowie Böden auf die Trockensubstanz. Die Abkürzungen haben dieselbe Bedeutung wie in Tabelle 3.

Tab. 4: Beurteilungswerte (BW) von Baden-Württemberg für kurzkettige PFC in Obst, Gemüse und Getreide

gültig für	Lebensmittel	PF BA	PF BS	PF PeA	PF HxA	PF HxS	PF HpA
2015	Obst, Gemüse	13,2	5,7	5,7	<2	<1	<2
	Getreide	30	13	13	4	<1	<2
2016	Obst, Gemüse	6,6	2,8	2,8	<2	<1	<2
	Getreide	15	6,5	6,5	2	<1	<2
2017	Obst, Gemüse	3,3	<2	<2	<2	<1	<2
	Getreide	7,5	3,3	3,3	<2	<1	<2

Durch das Vorerntemonitoring wurden die Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen des letzten Jahres bestätigt. Die Pflanzen nehmen lediglich die kk-PFC mit dem Wasser aus dem Boden auf. Meist sind dies die PFC PFBA, PFPeA und PFHxA. Nur bei recht hohen Gehalten z.B. in Bohnen und im Grünsaufwuchs wurde auch PFHpA nachgewiesen. In einigen Böden waren nur die kk-PFC und PFOA zu finden. In diesen Fällen wurden die Kulturen mit Wasser bewässert oder beregnet, das mit PFC belastet war. Die hohen PFC-Gehalte in den Cocktailltomaten resultierten auch von einer zusätzlichen Kontamination des Bodens.

Schälen von Spargel und Kartoffeln führte zu keiner Reduzierung der kk-PFC. Dies war zu erwarten, weil die PFC mit dem Bodenwasser über die Wurzeln in die Pflanzenteile transportiert wurden und nicht von außen in das Gemüse eindringen. In einer Melone reicherten sich PFBA, PFPeA und PFHxA in der Schale an. Dennoch wurde der BW für PFPeA im weniger kontaminierten Fruchtfleisch überschritten. Petersilie, Tomaten, Weizen und Grünsaufwüchse zeigten eine ausgeprägte Bereitschaft zur Aufnahme der kk-PFC.

Tab.5: Hohe PFC-Gehalte 2015 in $\mu\text{g}/\text{kg}$ in pflanzlichem Material

Probenart	PFC	PF BA	PF PeA	PF HxA	PF HpA	PF OA	PF NA	PF DA	PF UnA
Spargel ungeschält		6	18	8	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Spargel geschält		5	12	6	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	11	12	152	55
Erdbeeren		16	24	4	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	5	73	10
Bohnen		38	245	32	2	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		5	22	22	8	36	u.B.	u.B.	u.B.
Tomaten		36	218	31	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	14	5	18	u.B.	u.B.	u.B.
Cocktailtomaten		57	229	21	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		6	15	19	10	29	9	48	8
Zucchini		5	8	5	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	14	5	18	u.B.	u.B.	u.B.
Melone Frucht		5	13	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Melone Schale		13	52	5	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	14	5	18	u.B.	u.B.	u.B.
Kohlrabi Knolle		3	10	4	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	27	22	6	10	u.B.	u.B.	u.B.
Petersilie		32	95	8	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	27	22	6	10	u.B.	u.B.	u.B.
Wirsing		5	21	4	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	27	22	6	10	u.B.	u.B.	u.B.
Kartoffel geschält		u.B.	8	2	u.B.	9	u.B.	u.B.	u.B.
Kartoffel ungeschält		u.B.	6	u.B.	u.B.	4	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	7	5	41	6
Winterweizen Korn		115	109	30	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	5	u.B.	u.B.	16	9	84	15
Maispflanze		70	5	3	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	43	9
Grünaufwuchs		786	1222	182	13	22	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	8	8	6	26	12	104	16
Futterweizen Korn		117	102	22	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.
Boden 0-30 cm		u.B.	7	5	u.B.	23	20	165	34

Tab. 5: Fortsetzung hohe PFC-Gehalte 2015

Probenart	PFC DoA	PF BS	PF HxS	PF OS	PF DS	kk-PFC Summe	lk-PFC Summe	PFC Summe
Spargel ungeschält	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	32	u.B.	32
Spargel geschält	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	23	u.B.	23
Boden 0-30 cm	97	u.B.	u.B.	113	u.B.	u.B.	440	440
Erdbeeren	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	44	u.B.	44
Boden 0-30 cm	31	u.B.	u.B.	111	u.B.	u.B.	230	230
Bohnen	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	317	u.B.	317
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	57	36	93
Tomaten	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	285	u.B.	285
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	19	18	37
Cocktailtomaten	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	307	u.B.	307
Boden 0-30 cm	19	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	50	113	163
Zucchini	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	18	u.B.	18
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	19	18	37
Melone Frucht	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	18	u.B.	18
Melone Schale	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	70	u.B.	70
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	19	18	37
Kohlrabi (Knolle)	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	17	u.B.	17
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	55	10	65
Petersilie	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	135	u.B.	135
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	55	10	65
Wirsing	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	30	u.B.	30
Boden 0-30 cm	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	55	10	65
Kartoffel geschält	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	10	9	19
Kartoffel ungeschält	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	6	4	10
Boden 0-30 cm	12	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	71	71
Winterweizen Korn	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	254	u.B.	254
Boden 0-30 cm	36	u.B.	u.B.	390	u.B.	5	550	555
Maispflanze	u.B.	u.B.	u.B.	10	u.B.	88	11	99
Boden 0-30 cm	25	u.B.	u.B.	77	u.B.	u.B.	153	153
Grünaufwuchs	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	2203	22	2225
Boden 0-30 cm	19	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	22	177	199
Futterweizen Korn	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	u.B.	241	u.B.	241
Boden 0-30 cm	47	u.B.	u.B.	9	u.B.	12	297	309

Beim Vergleich der Gehaltsangaben muss berücksichtigt werden, dass diese für Weizen und die Grünaufwüchse auf die Trockensubstanz bezogen wurden. Dagegen ist für Obst und Gemüse lebensmittelrechtlich der Bezug auf das Frischgewicht relevant.

Bei hohen PFC-Gehalten im Weizenkorn war es wichtig zu wissen, ob die fluorierten Schadstoffe auch in den Mehlkörper gelangten. Zwar befand sich der größere Anteil in der Kleie, doch können im Mehl trotzdem die BW deutlich überschritten werden (Abbildung 2).

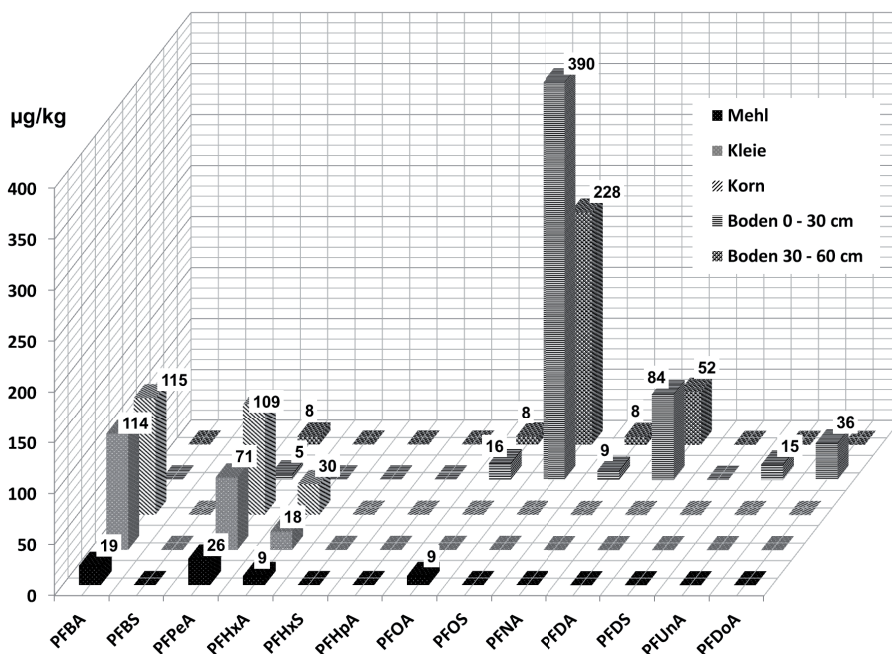


Abb. 2: Transfer von kurzkettigen PFC vom Ackerboden in Weizen bis ins Mehl

Auch in diesem Fall waren die Gehalte der kk-PFC im Boden gering oder nicht bestimmbar. Trotzdem gelangten diese Substanzen mit der kontinuierlichen Wasseraufnahme über die Pflanze bis in den Fruchtkörper und wurden dort angereichert. Die PFC-Analyse der Bodeneluatete belegte die Anwesenheit aller kk-PFC im Ackerboden (Abbildung 3). Bislang konnten in allen Fällen, bei denen in Pflanzen kk-PFC gefunden wurden, diese auch in den Bodeneluaten quan-

titativ erfasst werden. Somit waren die Bodenanalysen für die Abschätzung einer möglichen Belastung der Aufwüchse weniger geeignet. Sie waren lediglich ein Indiz für eine allgemeine PFC-Kontamination. Zur Abschätzung einer möglichen Kontamination der Nutzpflanzen werden künftig zusätzlich auch die Bodeneluatate nach einem standardisierten Verfahren (DIN, 2012) auf kk-PFC untersucht.

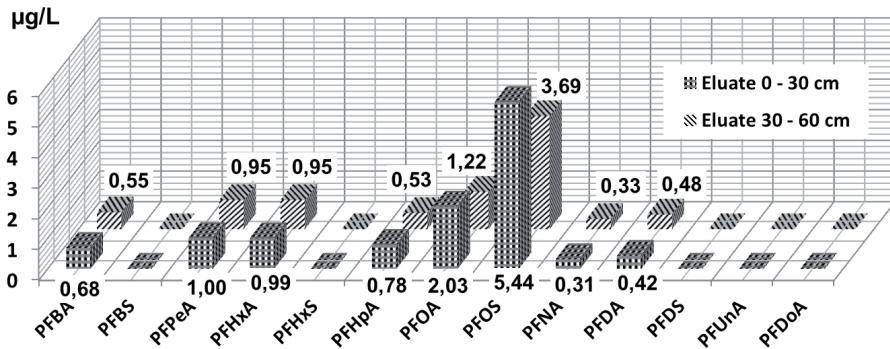


Abb. 3: PFC-Gehalte in Bodeneluaten

Letztes Jahr wurden die kk-PFC nur in Maispflanzen aber nicht im Maiskolben, weder in der Spindel noch in den Maiskörnern, gefunden. Im Rahmen des diesjährigen Vorerntemonitorings wurden in etlichen Maiskolben kk-PPC nachgewiesen. Dabei verblieb der größte Teil jedoch in der Spindel des Maiskolbens. Die Schadstoffgehalte in den Körnern waren recht gering und lagen wie bei dem in Abbildung 4 dargestellten Fall immer deutlich unter den BW für Getreide. Die dazu gehörige Ackerfläche hatte einem PFC-Summengehalt von 219 µg/kg und folgende Gehalte der PFC-Komponenten: 6 µg/kg PFBA, 8 µg/kg PFPeA, 7 µg/kg PFHxA, 6 µg/kg PFHpA, 55 µg/kg PFOA, 82 µg/kg PFNA, 7 µg/kg PFUnA, 16 µg/kg PFDoA und 17 µg/kg PFOS. Wie viele PFC letztlich von der Maispflanze aufgenommen werden und bis ins Korn gelangen, hängt von der jeweiligen Bodenbelastung ab.

Zu den kontaminierten Flächen gehörte eine Weide, deren Grünsaufwuchs recht hohe Gehalte von PFBA, PFPeA und PFHxA aufwies (Abbildung 5). Dem stehen wieder niedrige Gehalte dieser PFC im Boden gegenüber. Die PFC-Aufnahme wurde sicherlich durch das dichte Wurzelwerk der Weidepflanzen begünstigt.

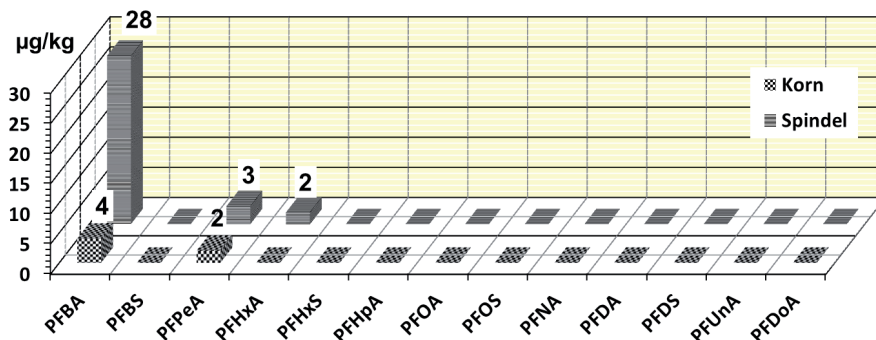


Abb. 4: Kurzkettinge PFC in Maiskorn und Maisspindel

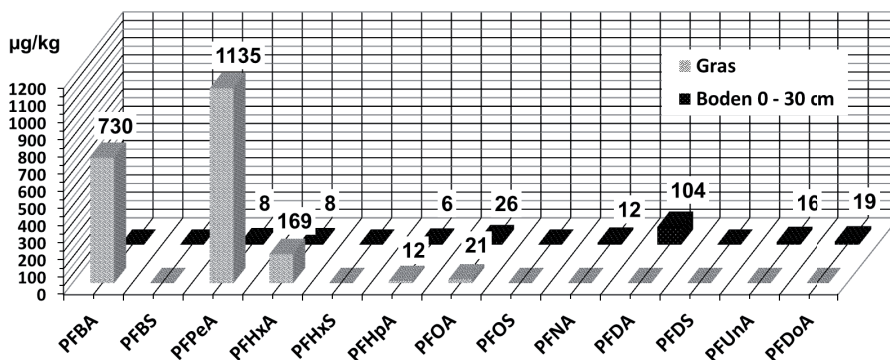


Abb. 5: Transfer kurzkettinger PFC vom Boden ins Weidegras (Grünaufwuchs; PFC-Gehalte bezogen auf die Trockensubstanz)

Die wichtigsten Untersuchungen im Rahmen des Vorerntemonitorings bis Mitte September 2015 sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Die Probenahme war risikoorientiert. Die pflanzlichen Lebensmittel und Futtermittel wurden ausschließlich von Verdachtsflächen genommen. Das waren solche Agrarflächen, bei denen es Hinweise auf eine Ausbringung von verunreinigten Papierschlamm gab. Daher war ein höherer Anteil an stärker belasteten Proben zu erwarten.

Bei den Salaten, Zwiebelgewächsen und Strauchbeeren wurden die BW nicht überschritten. Diese Erntegüter wuchsen auf unbelasteten oder nur geringfügig belasteten Anbauflächen.

Tab. 6: Auswertung Vorerntemonitoring 2015 bis Mitte September

Probe	A	PFBA			PFPeA		
		Max	MW	>BW Ü/%	Max	MW	>BW Ü/%
Spargel	88	10	u.B.	0/0	25	3	15/16,5
Erdbeeren	34	16	4	3/8,8	25	6	13/38,2
Strauchbeeren	5	2	2	0/0	2	u.B.	0/0
Tomaten	8	57	30	5/62,5	229	130	5/62,5
Bohnen	4	44	21	2/50,0	245	124	3/75,0
Petersilie	3	32	11	1/33,3	95	43	3/100,0
Kohlarten	5	5	2	0/0	21	7	2/40,0
Salate	9	u.B.	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Zwiebelgewächse	11	8	2	0/0	5	u.B.	0/0
Kartoffeln	6	u.B.	u.B.	0/0	8	u.B.	1/16,7
Weizen Korn	51	101	24	10/19,6	96	20	20/39,2
Weizen Kleie	4	160	76	3/75,0	146	55	2/50,0
Weizen Mehl	4	48	19	2/50,0	63	23	2/50,0
Triticale Korn	14	33	10	2/14,3	23	4	3/21,4
Roggen Korn	29	15	3	0/0	11	u.B.	0/0
Gerste Korn	8	4	1	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Getreidestroh	8	54	20	--	87	28	--
Körnermais Kolben	125	32	u.B.	0/0	7	u.B.	0/0
Saatmais Pflanzen	12	118	37	--	18	3	--
Futtergetreide	9	117	49	--	102	42	---
Futtermais Körner	19	8	2	--	9	2	--
Silomais Pflanzen	6	7	2	--	u.B.	u.B.	--
Grünaufwuchs	21	887	193	--	1222	159	--

u.B. = unterhalb der Bestimmungsgrenze von 2 µg/kg; A = Anzahl der Proben; Max = Maximalgehalt in µg/kg; MW = Mittelwert der Gehalte in µg/kg; > BW = über dem Beurteilungswert; Ü = Anzahl der Überschreitungen; % = prozentualer Anteil Überschreitungen

Tab. 6: Fortsetzung Auswertung Vorerntemonitoring 2015 bis Mitte September

Probe	A	PFHxA			PFHpA		
		Max	MW	>BW Ü/%	Max	MW	>BW Ü/%
Spargel	88	10	u.B.	22/24,2	u.B.	u.B.	0/0
Erdbeeren	34	4	u.B.	4/11,8	u.B.	u.B.	0/0
Strauchbeeren	5	u.B.	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Tomaten	5	32	15	5/62,5	u.B.	u.B.	0/0
Bohnen	4	32	17	3/75,0	3	1	2/50,0
Petersilie	3	8	3	2/66,7	u.B.	u.B.	0/0
Kohlarten	5	4	2	2/40,0	u.B.	u.B.	0/0
Salate	9	u.B.	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Zwiebelgewächse	11	u.B.	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Kartoffeln	6	2	u.B.	1/16,7	u.B.	u.B.	0/0
Weizen Korn	51	29	5	19/37,3	4	0	1/2,0
Weizen Kleie	4	41	16	3/75,0	u.B.	u.B.	0/0
Weizen Mehl	4	18	6	2/50,0	u.B.	u.B.	0/0
Triticale Korn	14	6	u.B.	3/21,4	u.B.	u.B.	0/0
Roggen Korn	29	3	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Gerste Korn	8	u.B.	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Getreidestroh	8	15	5	--	5	u.B.	--
Körnermais Kolben	125	4	u.B.	0/0	u.B.	u.B.	0/0
Saatmais Pflanzen	12	5	2	--	u.B.	u.B.	--
Futtergetreide Körner	9	31	11	--	u.B.	u.B.	--
Futtermais Körner	19	4	u.B.	--	u.B.	u.B.	--
Silomais Pflanzen	6	2	u.B.	--	u.B.	u.B.	--
Grünaufwuchs	21	182	32	--	16	3	--

Tomaten, Bohnen und Petersilie stammten aus Gewächshäusern, die mit PFC-haltigem Wasser bewässert wurden oder deren Böden noch zusätzlich kontaminiert waren. Daher war der hohe Prozentsatz der BW-Überschreitungen und damit nicht verkehrsfähigen Erntegütern nicht verwunderlich.

Relativ hoch war die Beanstandungsquote bei Spargel (24,2 %), Erdbeeren (38,2 %) und Weizenkörnern (39,2 %). Nach Vergleich der PFC-Gehalte in den

Böden schien von den Getreidearten der Weizen die kk-PFC am besten zu akkumulieren. Dann folgten nach den Ergebnissen aus dem Untersuchungsprogramm 2015 Triticale, Roggen und Gerste. Wie alle Getreidepflanzen nahmen auch Maispflanzen die kk-PFC aus dem Boden auf. Doch in den Maiskörnern waren bislang die Gehalte für den Verbraucher unproblematisch.

Nach den positiven Befunden im Getreide insbesondere im Weizen war es wichtig zu wissen, ob die kk-PFC in den einschlägigen Futtermitteln auftauchten. Dies war beim Futtergetreide vor allem beim Futterweizen und bei Grünaufwüchsen von belasteten Weideflächen der Fall. Für Futtermittel wurden bislang noch keine BW abgeleitet. Hier wird es auf eine Risikoabschätzung im Einzelfall ankommen. Andererseits ist bei der Futtermittelherstellung eine Verdünnung der belasteten Getreidepartien durch unbelastete zu erwarten. Dadurch werden im Handel in Futtergetreide und in Futtermitteln mit hohem Getreideanteil die PFC-Gehalte unterhalb der BW für Lebensmittel sein. Problematischer ist die Situation für wirtschaftseigene Futtermittel wie Gras oder Heu. Im Zweifelsfall muss hier der PFC-Transfer in die geschlachteten Weidetiere überprüft werden.

4. Zusammenfassung

Die Analysenergebnisse der diesjährigen Vorerntemonitorings bestätigten die Untersuchungen von 2014. Die kk-PFC PFBA, PFPeA und PFHxA wurden bevorzugt von den Pflanzen aufgenommen. PFHpA überschritt lediglich bei hohen PFC-Gehalten in Bohnen und Weizenkörnern die BW. Zu ähnlichen Resultaten bei vergleichbaren PFC-Konzentrationen in den Böden kamen Lysimeterversuche (Müller, 2014; Stahl et al., 2013; Stahl et al., 2015). In der Regel waren durch die Versuchsbedingungen dort die PFC-Gehalte in den Pflanzen tendenziell höher als im Freiland. Zudem wurden die Versuche teilweise mit sehr hohen PFC-Zugaben durchgeführt, die der Situation in Mittelbaden nicht entsprachen. Während die kk-PFC in den verschiedenen oberirdischen Pflanzenteilen zu finden waren, wurde eine Anreicherung der übrigen lk-PFC in den Pflanzenwurzeln festgestellt (Müller, 2014).

Die orientierenden Voruntersuchungen im Jahre 2014 und die Analysen im Rahmen des Vorerntemonitorings in diesem Jahr bestätigten somit neuere Ergebnisse zum Transfer von kk-PFC aus kontaminierten Böden in die Nutzpflanzen. Unsere Erfahrungen bei der Bewässerung von Kulturen in Gewächshäusern

mit PFC-haltigem Wasser unterstreichen neben dem Pfad Boden→Pflanze die zusätzliche Bedeutung des Pfades Wasser→Pflanze.

Daher ist der dreiteilige Ansatz des PFC-Forschungsprojektes des Landes Baden-Württemberg sinnvoll. Die bislang erzielten Untersuchungsergebnisse werden in den nächsten Jahren durch ein problemorientiertes Vorerntemonitoring, durch die Untersuchung der PFC-Aufnahme von Nutzpflanzen unter Freilandbedingungen und die Experimente im Gewächshaus durch die Bewässerung mit PFC-haltigem Wasser bestätigt und ergänzt werden. Durch die bessere Datenlage sollte dann eine praxis- und verbraucherschutzorientierte Risikobewertung der PFC eher möglich sein.

5. Literaturangaben

- Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), 2008: Stellungnahme 004/2009 des BfR vom 11.09.2008: Gesundheitliche Risiken durch PFOS und PFOA in Lebensmitteln sind nach dem derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand unwahrscheinlich
- DIN 38414-14, 2011: Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Schlamm, Kompost und Boden – Verfahren mittels HPLC-MS-MS S14
- DIN 19527, 2012: Elution von Feststoffen – Schüttelverfahren zur Untersuchung des Elutionsverhaltens von organischen Stoffen mit einem Wasser/Feststoff-Verhältnis von 2 l/kg.
- European Food Safety Authority (EFSA): Perfluorooctane sulfonate (PFOS), perfluorooctanoic acid (PFOA) and their salts. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food chain. The EFSA Journal, 2008, 653, 1-131.
- Müller, J., 2014: Occurrence of PFAS in Food of Plant Origin. BfR Symposium 6-7 März 2014 in Berlin. Per- and Polyalkyl Substances (PFAS): Status Quo of consumer health assessment on PFAS
- Stahl, Th., Riebe, R. A., Falk, S., Failing, K., Brunn H., 2013: Long-Term Lysimeter Experiment to Investigate the Leaching of Perfluoroalkyl Substances (PFASs) and the Carry-over from Soil to Plants: Results of a Pilot Study. Agric. Food Chem., 2013, 61, 1784 - 1793

- Stahl, Th, Falk S., Brunn H., 2015: Verbreitet, aber kaum bewertet – perfluorierte Alkylsubstanzen. Nachrichten aus der Chemie 63, 557-562 sowie dort zitierte Literatur.
- Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA, Herausg.), 2011: Methode 3.3.2.5. Bestimmung von Perfluoroktancarbonsäure (PFOA) und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) als Leitsubstanzen der perfluorierten Chemikalien (PFC) in Futtermitteln mittels Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion. Bd. VII Umweltanalytik 4. Aufl., VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- Wölfle, D., 2014: Toxicological Background. BfR-Symposium 6-7 März in Berlin. Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances (PFAS): Status Quo of consumer health assessment on PFAS.

PFT-Belastung von hessischen Bioabfällen und Klärschlämmen (2011-2015) sowie das Aufnahmeverhalten von Kulturpflanzen nach PFT-Applikation im Bodenmodellversuch

H. Schaaf, S. Georgii, T. Stahl

Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, Kassel/Wiesbaden

1. Einleitung

Perfluorierte Tenside (PFT) sind anthropogenen Ursprungs und werden in Gewässern, in Trinkwasser, in Klärschlamm, in Bioabfall, in Boden, in tierischen Organismen, in Lebensmitteln sowie in menschlichem Blut und in Muttermilch gefunden. Untersuchungen an Tieren haben gezeigt, dass einige Vertreter der PFT in hohen Dosen Gesundheitsschäden z. B. Leberkrebs (Ratten), hervorrufen können. PFT zählen, wie andere persistente halogenorganische Verbindungen, zu den ubiquitär vorkommenden Kontaminanten.

PFT sind Verbindungen, die ein Kohlenstoffgerüst aufweisen, bei dem die Wasserstoffatome – mit Ausnahme der Wasserstoffatome als Bestandteil funktioneller Gruppen – durch Fluoratome substituiert sind. PFT sind nach dem derzeitigen Kenntnisstand ausnahmslos anthropogenen Ursprungs und kommen daher in der Umwelt nicht natürlich vor. PFT bestehen aus einem hydrophoben Kohlenwasserstoffrest und einem hydrophilen Molekülteil, wodurch sie amphiphile Eigenschaften haben und Tensidwirkung entfalten können. Diese Tenside haben die Fähigkeit, die Oberflächenspannung einer Flüssigkeit oder die Grenzflächenspannung zwischen zwei Phasen herabzusetzen und die Bildung von Dispersionen zu ermöglichen oder zu unterstützen.

Zahlreiche PFT gehören zu der Gruppe der persistenten Substanzen, da sie chemisch sehr stabil und biologisch nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht abbaubar sind.

2. Hintergrund der Untersuchungen

Von landwirtschaftlich genutzten Flächen, die mit PFT-kontaminiertem Wasser bewässert werden und auf denen z. B. Sonderkulturen wie Gemüse oder auch

Getreide angebaut werden, können PFT von den Pflanzen aufgenommen werden, was bereits im Rahmen von verschiedenen Studien gezeigt werden konnte (Stahl et al, 2009; Lechner und Knapp, 2011; Zhao et al, 2011; Krippner et al, 2014, 2015; Stahl et al 2013). Eine andere Möglichkeit des carry over von PFT in Pflanzen ist die Aufnahme aus den Böden nach Aufbringung von organischen Düngemittel wie z. B. Klärschlamm oder Papierschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Flächen oder die genehmigte Ablagerung von PFT-haltigem Abfall auf Deponien. Aber auch die illegale Entsorgung von Abfall bzw. Abfallgemischen kann lokal für eine erhebliche Kontamination des Bodens sorgen. So wurden in verschiedenen Bundesländern in den Jahren 2002-2006 mehrere tausend Tonnen PFT-belasteter Sekundärrohstoffe (Mischungen aus Abwasserschlämmen der Nahrungs- und Genussmittelproduktion sowie Gesteinsmehlen) auf Ackerflächen aufgebracht (LANUV, 2011). Neben der direkten PFAS-Aufnahme über kontaminierte Böden, können Niederschlagsereignisse wie z. B. Regen schließlich bewirken, dass vor allem die gut wasserlöslichen PFASs aus Böden oder Abfalldeponien ausgetragen werden (Lin et al, 2010; Gellrich et al, 2012) und so wiederum über den Massenfluss durch Pflanzenwurzeln aktiv aufgenommen werden können. Dienen diese Pflanzen der Erzeugung von Lebensmitteln oder Futtermitteln, gelangen die Substanzen schließlich direkt oder indirekt in die Nahrungskette, wie bereits in einer Studie mit PFASs kontaminierter Maissilage an Schafen nachgewiesen werden konnte (Kowalczyk et al., 2012).

3. Untersuchungen von hessischen Bioabfällen und Klärschlämmen

In dem Zeitraum von 2011 bis 2015 wurden im Rahmen der Routineanalytik sowie im Vollzug (Düngemittelverordnung - DüMiV) regional anfallende Bioabfälle und Klärschlämme aus Hessen auf ihre PFT-Gehalte untersucht. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde insbesondere die Homologenverteilung (C4 bis C14) berücksichtigt. Definitionsgemäß zählen zu den kurzkettingen PFT die Verbindungen mit 4-7 Kohlenstoffatomen (Perfluorbutansäure, Perfluorbutansulfonsäure, Perfluorpentansäure, Perfluorhexansäure, Perfluorhexansulfonsäure, Perfluorheptansäure) und zu den langkettingen die Verbindungen mit 9-14 Kohlenstoffatomen (Perfluornonansäure, Perfluordekansäure, Perfluorundecansäure, Perfluordodekansäure, Perfluortridekansäure, Perfluortetradecansäure). Die durch DüMV zu untersuchenden Parameter Perfluorocansäure und Perfluorsulfonsäure enthalten acht Kohlenstoffatome und sind

die beiden einzigen Verbindungen innerhalb der Substanzgruppe der PFT, die derzeit hinreichend toxikologisch bewertet wurden. Durch diese Sonderstellung werden diese beiden Parameter stets gesondert betrachtet. Die Untersuchungen der Bioabfälle und der Klärschlämme führte zu folgenden Ergebnissen:

In 23 hessischen Bioabfall- und 126 Klärschlammproben (Abb. 1 und 2) wurden für die PFT-Summenkonzentration (C4 bis C12 bzw. C14) arithmetische Mittelwerte von 24 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM für Bioabfälle und 53 $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM für Klärschlämme festgestellt.

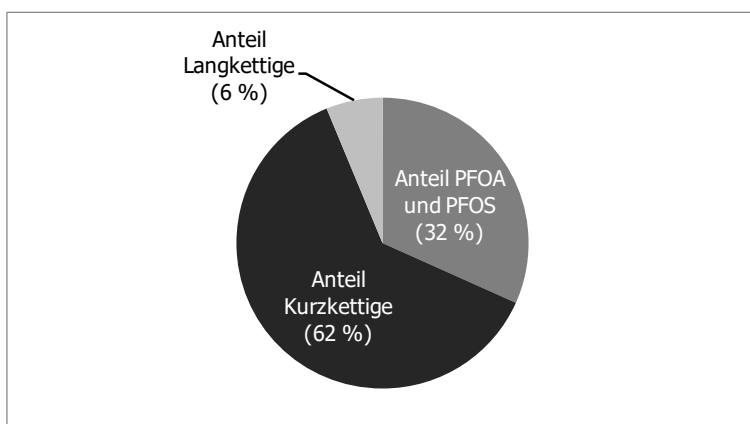


Abb. 1: Prozentuale Anteile PFOA/PFOS, Langkettige, Kurzkettige im Bioabfall

Bezüglich der Homologenverteilung wurde das folgende Verteilungsmuster nachgewiesen:

C4 bis C7 Klärschlamm 17,1 %, Bioabfall 62 %

C9 bis C12 bzw. C14 Klärschlamm 31,6 %, Bioabfall 6,3 %

PFOA und PFOS Klärschlamm 48,2 %, Bioabfall 31,7 %.

Es lässt sich festhalten, dass im Bioabfall der Anteil der kurzkettigen PFT im Vergleich zum Klärschlamm etwa $\frac{2}{3}$ der Gesamtbelastung ausmacht, während im Klärschlamm der Anteil der langkettigen PFT zusammen mit PFOA/PFOS 86 % ausmacht. Daraus kann auch geschlossen werden, dass der Klärschlamm als Senke für länger-kettige PFT (≥ 8 Kohlenstoffatome) dient, während diese im Bioabfall lediglich eine untergeordnete Rolle spielen.

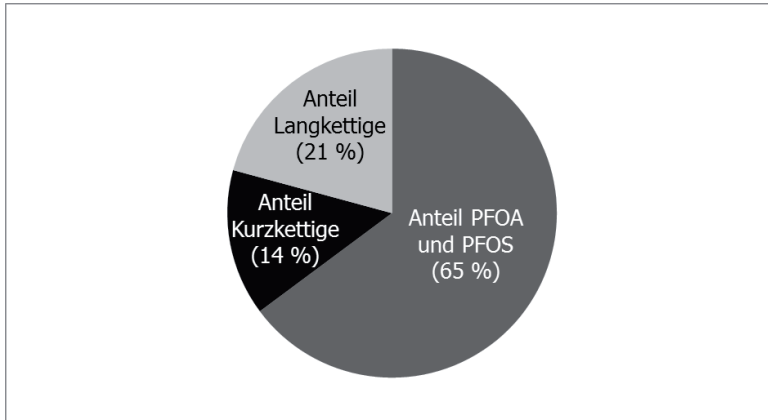


Abb.2: Prozentuale Anteile PFOA/PFOS, Langkettige, Kurzketttige im Klärschlamm

4. Untersuchungen von hessischen Biofällen und Klärschlämmen

Die in den Jahren 1992 und 1993 gebaute und seither verwendete Lysimeter-Anlage besteht aus 32 Edelstahl-Lysimeterbehältern mit Bodensäulen einer Dimension von 1x1,5 m (entspr. 1,5 m³ Boden). Die monolithischen Bodensäulen aus Löß-Parabraunerde sind am unteren Ende mit einem Lochblech versehen, aus dem das Sickerwasser nach natürlicher Beregnung (eine künstliche Bewässerung findet nicht statt) austreten kann. In einem unter der Erdoberfläche liegenden Bedienungsgang stehen gläserne Großgefäße (jeweils 60 L Inhalt) zum Auffangen des aus dem Boden austretenden Sickerwassers. Um die in zwei Reihen angeordneten Lysimeter sind sogenannte Simulierbeete angelegt, deren Bewuchs den mikroklimatischen Inseleffekt in den eigentlichen Versuchspartellen verringern soll. Zum Schutz vor Vogelfraß ist die Anlage mit einem engmaschigen Maschendraht überspannt. Der schematische Aufbau der Lysimeterversuchsanlage ist im Querschnitt aus Abbildung 3 ersichtlich.

Im Juni 2007 wurden aus dem randomisierten Versuch vier Lysimeter eines Versuchsgliedes mit wässrigen Lösungen von PFOA und PFOS (jeweils technisches Gemisch; Reinheitsgrad 96 %) in einer Konzentration von jeweils 25 mg/kg Boden beaufschlagt. Um das Bodengefüge der Lysimeter nicht zu beeinflussen, musste auf die Untersuchung des Bodens hinsichtlich PFASs vor Versuchsbeginn (Dotierung) verzichtet werden. Wegen der vergleichsweise hohen

Dotierung von 25 mg PFOA bzw. PFOS je kg Boden können aber ggf. im Boden vorhandene PFT-Hintergrundbelastungen vernachlässigt werden, die in Hessen nach eigenen Untersuchungen üblicherweise Gehalte im einstelligen $\mu\text{g}/\text{kg}$ Bereich betragen. In dem behandelten Versuchsglied kommen im Rahmen einer Fruchtfolge Weizen – Roggen – Raps - Gerste zur Anwendung. Nachdem in der Direktwirkung 2007 PFT-Aufnahmen sowohl in das Stroh festgestellt als auch danach in das Korn festgestellt wurden, werden in den Folgejahren im Gegensatz zum Stroh in den Früchten PFT in deutlich geringeren Konzentrationen („Spuren“) nachgewiesen (Verhältnis Stroh/Korn etwa 100:1).

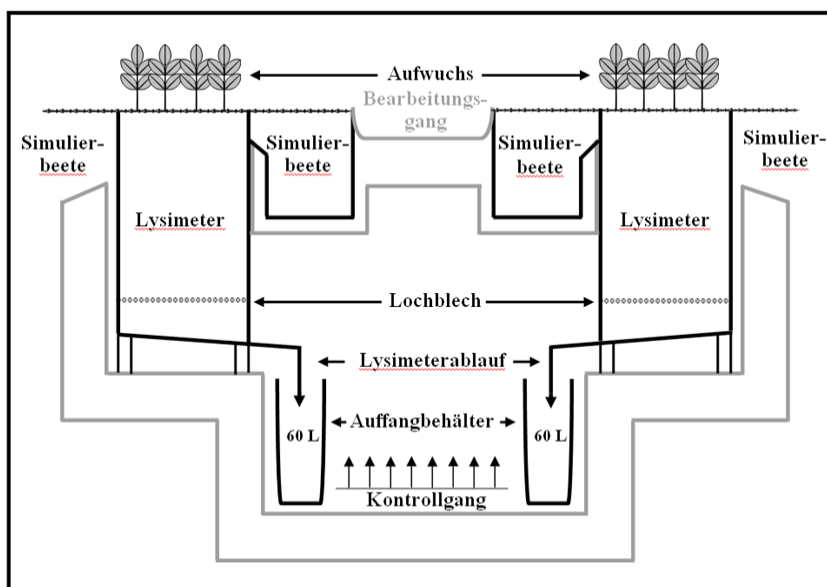


Abb. 3: Schematischer Lysimeterquerschnitt

Somit wird seit 2008 auch als Folge der einmaligen PFT-Applikation eine Aufnahme in die vegetativen Pflanzenteile festgestellt. Im Vergleich zu Roggen, Hafer und Raps erweisen sich Weizen und Gerste (2014) hinsichtlich ihrer Aufnahme- und Translokationsdynamik allerdings als effizienter. Abbildung 4 zeigt die Aufnahme von PFOA und PFOS in Stroh und Korn in Abhängigkeit von Pflanzenart und Jahr.

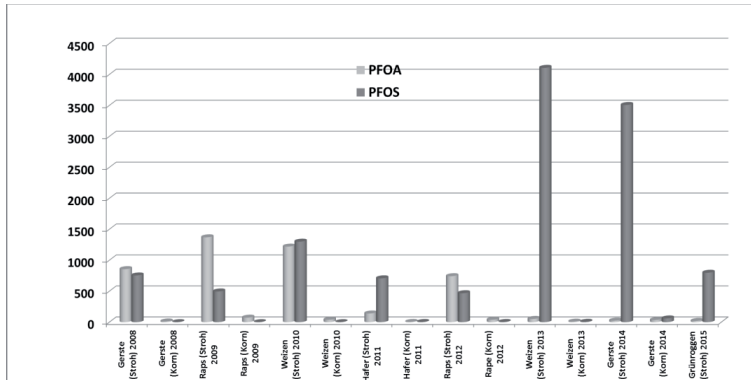


Abb. 4: Aufnahme von PFOA und PFOS in Stroh und Korn in Abhängigkeit von Pflanzenart und Jahr

5. Probenvorbereitung und Analytik

Auf den Lysimetern wurden jedes Jahr Korn und Stroh der jeweiligen Frucht getrennt geerntet. Die Teilmengen der vier Lysimeter wurden jeweils zu einer Gesamtprobe „Korn“ und „Stroh“ vereinigt. Die vereinigten Aufwuchsproben wurden bei 40 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, eine Teilprobe von 100 g entnommen und daraufhin mittels Grindomix zerkleinert und homogenisiert. Um Querkontaminationen auszuschließen und aus Gründen der Qualitätssicherung wurde eine PFAS-freie Weizenprobe auf die gleiche Weise dreifach aufbereitet. Im Rahmen für die Probenvorbereitung zur Analytik der PFT werden 0,5 g der getrockneten und homogenisierten Probe in ein 20 ml Kunststoffröhrchen eingewogen und mit 2 ml Acetonitril, 2 ml entionisiertem Wasser sowie 50 µl der internen Standardlösung, die ¹³C-markierte Standards enthält, versetzt. Die Verwendung isotonenmarkierter Standards ist erforderlich, um Einflüsse der Probenmatrix, die je nach Analyt und Matrix zu einer Signalverstärkung oder einer Signalunterdrückung führen können, auf das Messergebnis zu minimieren. Das Zentrifugenröhrchen wird verschlossen, 1 Minute kräftig von Hand und anschließend weitere 15 Minuten mittels Schüttelmaschine geschüttelt. Nach Zugabe von 1,5 g QuEChERS-Mix wird die Probe erneut kräftig von Hand geschüttelt. Anschließend wird das Gemisch 5 Minuten bei 4000 U/min zentrifugiert.

Der gesamte organische Überstand - inklusive der gelösten PFT (Rohextrakt)

– wird im letzten Schritt der Probenaufbereitung mit 2 ml entionisiertem Wasser gemischt und mittels Festphasenextraktion gereinigt bzw. durch Einengen zur Trockene und Rekonstitution in 250 μ L Methanol/Wasser (1:1) angereichert. Aufgrund der polaren hydrophilen funktionellen Gruppe der PFAS erfolgt die Analytik mittels LC-MS/MS. Die Bestimmungsgrenze je analysierte Substanz liegt bei 1 μ g/kg.

6. Literaturangaben

- Stahl, T., Heyn, J., Thiele, H., H  ther, J., Failing, K., Georgii, S., Brunn, H., 2009: Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 57, 289-298.
- Lechner, M., Knapp, H., 2011: Carryover of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) from Soil to Plant and Distribution to the Different Plant Compartments Studied in Cultures of Carrots (*Daucus carota* ssp. *Sativus*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), and Cucumbers (*Cucumis Sativus*). *J Agric Food Chem* 59(20), 11011-11018.
- Zhao, H., Chen, C., Zhang, X., Chen, J., Quan, X., 2011: Phytotoxicity of PFOS and PFOA to *Brassica chinensis* in different Chinese soils. *Ecotoxicol Environ Saf* 74(5), 1343-1347.
- Krippner, J., Falk, S., Brunn, H., Georgii, S., Schubert, S., Stahl, T., 2015: Accumulation potentials of perfluoroalkyl carboxylic acids (PFCAs) and perfluoroalkyl sulfonic acids (PFSA) in maize (*Zea mays*). *J. Agric. Food Chem* 63(14), 3646-3653.
- Krippner, J., Brunn, H., Falk, S., Georgii, S., Schubert, S., Stahl, T., 2014: Effects of chain length and pH on the uptake and distribution of perfluoroalkyl substances in maize (*Zea mays*). *Chemosphere* 94, 85-90.
- Stahl, T., Riebe, R.A., Falk, S., Failing, K., Brunn, H., 2013: A long-term lysimeter experiment to investigate the leaching of perfluoroalkyl substances (PFASs) and the carryover from soil to plants – Results of a pilot study. *J Agric Food Chem* 61(8), 1784-1793.
- Landesamt f  r Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV), 2011: Verbreitung von PFT in der Umwelt. Ursachen – Untersuchungsstrategie – Ergebnisse – Ma  nahmen. LANUV-Fachbericht 34. D  sseldorf, Germany.

- Lin, A.Y., Panchangam, S.C., Ciou, P.S., 2010: High levels of perfluorochemicals in Taiwan's wastewater treatment plants and downstream rivers pose great risk to local aquatic ecosystems. *Chemosphere* 80(10), 1167-1174.
- Gellrich, V., Stahl, T., Knepper, T.P., 2012: Behavior of perfluorinated compounds in soils during leaching experiments. *Chemosphere* 87(9) 1052-1056.
- Kowalczyk, J., Ehlers, S., Fürst, P., Schafft, H., Lahrssen-Wiederholt, M., 2012: Transfer of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) From Contaminated Feed Into Milk and Meat of Sheep: Pilot Study. *Arch Environ Contam Toxicol* 63(2), 288-298.

Qualitätssicherung in der Analytik – Verdeckter Ringversuch mit Kultursubstraten

D. Lohr, E. Meinken

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising

1. Einleitung

Ringversuche sind innerhalb des VDLUFA ein zentrales Element der Methodenentwicklung und -validierung (VDLUFA, 2007a). Gleichzeitig helfen sie, einen hohen Qualitätsstandard bei den teilnehmenden Laboren sicherzustellen. Allerdings wird immer wieder kritisiert, dass die Ergebnisse geschönt seien, da die teilnehmenden Labore Gewähr bei Fuß stehen und die Ringversuchsproben besonders sorgfältig bearbeiten. Um die Substanz dieser Kritikpunkte zu überprüfen, wurde parallel zum regulären Ringversuch des Arbeitskreises Kultursubstrate der Fachgruppe II ein verdeckter Ringversuch durchgeführt.

2. Material und Methoden

Der AK Kultursubstrate der FG II richtet jedes Jahr einen Ringversuch aus, um den Mitgliedern die Möglichkeit zu geben, ihre Analysenqualität unabhängig zu kontrollieren. Gleichzeitig werden die angewandten Methoden auf ihre Zuverlässigkeit überprüft und statistische Maßzahlen zur Ermittlung von Messunsicherheiten erarbeitet. Die Durchführung des Ringversuchs erfolgt gemäß den Vorgaben im VDLUFA-Positionspapier „Ringversuche zur Methodenentwicklung“ (VDLUFA, 2007a). Bei den Proben handelt es sich um gärtnerische Kultursubstrate unterschiedlicher Zusammensetzung. Die Einheitlichkeit der Teilproben wird vor dem Versand durch einen Homogenitätstest nach DIN ISO 13528 (DIN 2009) sichergestellt. Die Proben werden von den Laboren innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters dreifach untersucht und die Einzelwerte gemeldet. Aus diesen Daten werden mit robusten statistischen Verfahren (Q-Methode mit Hampelschätzung) die Mittelwerte sowie die zulässigen Streuungsintervalle auf Basis von Z_u -Scores berechnet (DIN, 2003).

Im November 2011 wurden zwei Proben aus dem parallel laufenden 65. Ringversuch mit neutralem Absender an folgende zehn Teilnehmer geschickt, die Substratproben in der Routine für externe Auftraggeber untersuchen:

- Bioanalytik Weihenstephan
- Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
- Institut Koldingen
- Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie Hohenheim
- LTZ Augustenberg
- LUFA Nord-West
- LUFA NRW
- LUFA Rostock der LMS
- LUFA Speyer
- LVG Hannover-Ahlem

Bei den beiden Proben handelte es sich um identisch aufgekalkte und aufgedüngte Kultursubstrate auf Basis von Kokosmark. Die erste Probe wurde vor dem Versand bereits auf die optimale Kulturfeuchte (VDLUFA, 2007b) eingestellt, während die zweite Probe zu trocken versandt wurde. Die Labore mussten also vor der Untersuchung die optimale Kulturfeuchte dieser Probe erst noch einstellen. Folgende Parameter sollten nach VDLUFA-Methodenbuch Band I (VDLUFA, 2007b) untersucht werden:

- Rohdichte feucht (A 13.2.1)
- pH-Wert in CaCl_2 (A 5.1.1)
- Salzgehalt im Wasserextrakt (A 10.1.1)
- $\text{N}_{\text{lös}}$, P_2O_5 , K_2O im CAT-Extrakt (A 13.1.1)

Für die Auswertung wurden die Mittelwerte (gestrichelte grüne Linie) und Toleranzgrenzen (gestrichelte rote Linien) des regulären Ringversuchs herangezogen. Die Analysenwerte des verdeckten Ringversuchs sind aufsteigend geordnet als blaue Rauten eingezeichnet. Blaue „X“ rechts auf der X-Achse kennzeichnen fehlende Werte.

3. Ergebnisse und Diskussion

Rohdichte (RDF)

Bei der Rohdichte-Bestimmung wird einer der Kritikpunkte gegenüber angekündigten Ringversuchen – die besonders sorgfältige Bearbeitung – eindrücklich bestätigt. Zwar macht die Bestimmung der Rohdichte selbst keine Probleme,

wie die Ergebnisse bei der kulturfeucht verschickten Probe 1 zeigen, allerdings wird in der Routine der Feuchtezustand von Proben offensichtlich nicht gewissenhaft genug geprüft und wie in der Methode A 13.2.1 gefordert bei Bedarf eingestellt. Dies wurde bei der zu trocken verschickten Probe 2 nur von zwei Laboren korrekt erledigt. Bei diesen beiden Teilnehmern liegt die RDF innerhalb des zulässigen Toleranzbereichs. Ein weiterer Teilnehmer hat die Probe nicht ausreichend stark angefeuchtet. Fünf Teilnehmer nutzten die Probe offensichtlich wie erhalten für die Untersuchung. Die zwei übrigen Labore haben die RDF nicht gemeldet bzw. nicht bestimmt (Abb. 1). Dass die Einstellung der Kulturfeuchte den Laboren eigentlich keine Probleme bereitet, zeigt ein Blick auf den regulären Ringversuch. Hier wurde dieselbe Probe von allen Teilnehmern sehr gleichmäßig angefeuchtet, der Trockenmassegehalt schwankte nur um 4 Gew.-%. Allerdings wurden die Labore im Anschreiben auch ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sie die Kulturfeuchte bei dieser Probe noch einstellen müssen.

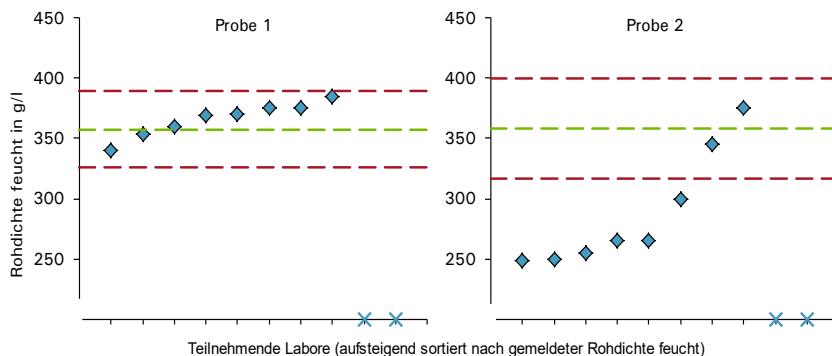


Abb. 1: Ergebnisse der Rohdichte_{feucht}-Bestimmung

pH-Wert

Die gemeldeten pH-Werte liegen mit einer nur geringen Schwankungsbreite von 4,0 bis 4,2 alle innerhalb der Toleranzgrenzen des regulären Ringversuchs. Dieser Parameter wird damit in der Routine mit einer Genauigkeit bestimmt, wie sie auch auf Grund der aus vorangegangenen Ringversuchen ermittelten Kenngrößen zu erwarten ist.

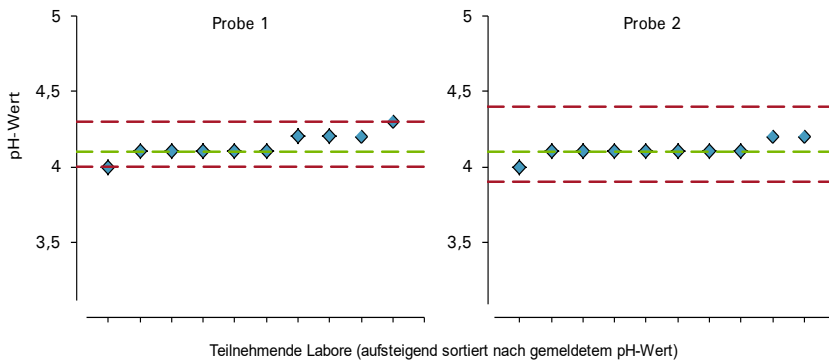


Abb. 2: Ergebnisse der pH-Wert-Bestimmung

Salzgehalt

Ein Teilnehmer wurde aus der Auswertung herausgenommen, da er die Salzgehalte masse- und nicht wie gefordert volumenbezogen berichtete. Die von den übrigen Teilnehmern gemeldeten Werte liegen alle innerhalb der Toleranzgrenzen des regulären Ringversuchs (Abb. 3). Die etwas größere Schwankung der Salzgehalte bei Probe 2 im Vergleich zu Probe 1 sowohl im verdeckten als auch im regulären Ringversuch ist eventuell darauf zurückzuführen, dass diese Probe vor der Untersuchung noch angefeuchtet werden musste. Bemerkenswert ist dabei aber, dass sich die nicht korrekt durchgeführte Einstellung der Kulturfeuchte durch die meisten Teilnehmer nicht negativ auswirkt. Die Methode erweist sich in dieser Hinsicht also als recht robust, allerdings ist die Einstellung der Kulturfeuchte deshalb keinesfalls grundsätzlich verzichtbar.

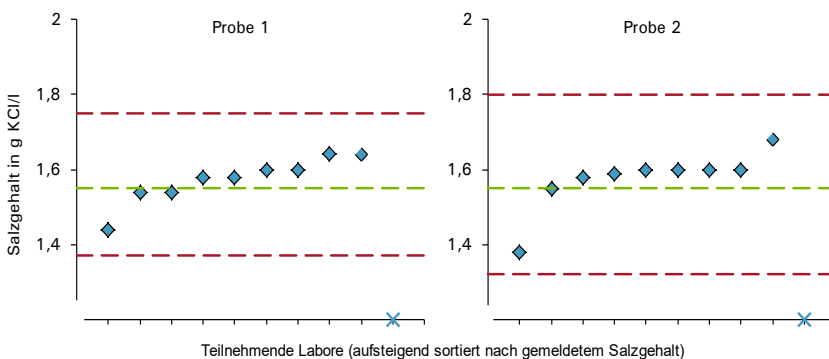


Abb. 3: Ergebnisse der Salzbestimmung

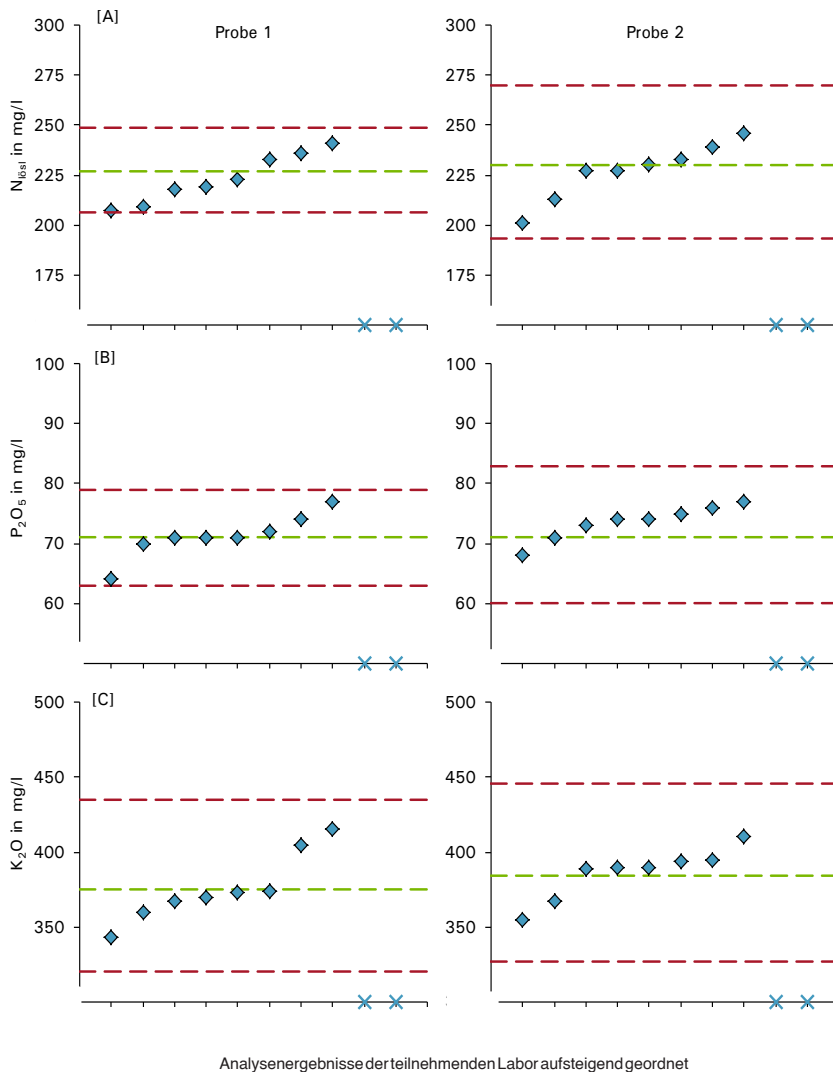


Abb. 4: Ergebnisse der [A] Stickstoff-, [B] Phosphat- und [C] Kaliumbestimmung im CAT-Extrakt

Stickstoff- ($N_{\text{lös}}$), Phosphat- (P_2O_5) und Kaliumgehalte (K_2O) im CAT-Extrakt

Auch bei den Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumgehalten liegen bis auf die Werte zweier Teilnehmer, die als Ausreißer gewertet wurden, alle gemeldeten Ergebnisse innerhalb der Toleranzbereiche des regulären Ringversuchs (Abb. 4 A-C).

Bei den beiden Ausreißern handelt es sich zum einen wie beim Salzgehalt um den Teilnehmer, der die Ergebnisse bezogen auf die Masse gemeldet hat. Zum zweiten hatte ein Teilnehmer auf Grund eines nicht eindeutigen Begleitschreibens die Proben mit CaCl_2 sowie CAL anstelle von CAT extrahiert.

Ähnlich wie bereits beim Salzgehalt beschrieben, weist die zu trocken verschickte Probe 2 im regulären Ringversuch auch bei den Nährstoffgehalten etwas größere Schwankungen (breitere Toleranzbereiche) auf als Probe 1, die vor dem Versand auf die optimale Kulturfeuchte eingestellt wurde. Im verdeckten Ringversuch sind demgegenüber keine Unterschiede zwischen den beiden Proben zu erkennen. Die Bestimmung der CAT-löslichen Hauptnährstoffe scheint damit genauso wie die Salzbestimmung relativ unempfindlich gegenüber einer nicht korrekt eingestellten Kulturfeuchte zu sein.

4. Zusammenfassung

Der verdeckte Ringversuch bestätigt überwiegend die Ergebnisse des regulären Ringversuchs und entkräftet damit den Vorwurf geschönter Ergebnisse bei angekündigten Ringversuchsproben. Kritisch zu sehen ist allerdings, dass die überwiegende Zahl der Labore die im Methodenbuch vorgeschriebene Einstellung der Kulturfeuchte in der Routine nicht konsequent durchführt, obwohl sie dies – wie im regulären Ringversuch gezeigt – beherrschen. Der Kritikpunkt, dass Ringversuchsproben mit besonderer Sorgfalt behandelt werden, ist daher nicht ganz von der Hand zu weisen.

5. Literaturangaben

DIN (2003): DIN 38402-45: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 45: Ringversuche zur Eignungsprüfung von Laboratorien (A 45). Beuth Verlag, Berlin.

DIN (2009): DIN ISO 13528: Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche. Beuth Verlag, Berlin.

VDLUFA (2007a): Positionspapier des VDLUFA zur Planung, Durchführung und Auswertung von Ringversuchen zur Methodenentwicklung.

VDLUFA (2007b): Methodenbuch Band I: Die Untersuchung von Böden. 4. Auflage mit 1. bis 5. Teillieferung, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

Sorptionsisothermen – Ein geeignetes Verfahren zur Charakterisierung des Phosphatspeichervermögens von Biokohlen?

D. Lohr, E. Meinken

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising

1. Einleitung

Biokohlen wird trotz des bisher nicht geklärten Wirkungsmechanismus eine Phosphatsorptionskapazität zugeschrieben (Lehmann, 2007), da durch Biokohlen die P-Auswaschung reduziert und Phosphat (z.B. aus Biogasgülle) gebunden werden kann (Yao et al., 2012; Sarkhot et al., 2013; Yao et al., 2013; Soinne et al., 2014). In der Literatur wird die P-Sorptionskapazität vielfach mittels Sorptionsisothermen beschrieben. Die von verschiedenen Autoren berichteten maximalen P-Sorptionskapazitäten reichen dabei von null bis zu mehreren mg je g (Lehmann, 2007; Zeng et al., 2013; Chintala et al., 2014; Obermaier, 2014; Xu et al., 2014).

Eine mögliche Erklärung für die Variabilität der Ergebnisse sind durch unterschiedliche Ausgangsstoffe, Herstellungsverfahren oder Vorbehandlungen verursachte spezifische Eigenschaften der verwendeten Biokohlen. Darüber hinaus stellt sich jedoch die Frage, inwieweit methodische Unterschiede als Ursache in Betracht kommen und damit Sorptionsisothermen nur bedingt zur Charakterisierung des Phosphatspeichervermögens von Biokohlen geeignet sind. Bei Böden ist bekannt, dass u.a. Art und Konzentration der Hintergrundlösung einen großen Einfluss auf die gemessene P-Sorption haben (Helyar et al., 1976; Gimsing und Borggard, 2001).

In den bisherigen Untersuchungen mit Biokohlen wurden teilweise völlig unterschiedliche Hintergründe gewählt (Wasser, Lösungen mit verschiedenen Salzen, Puffergemische mit unterschiedlichen pH-Werten etc.). Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, welchen Einfluss dies auf die gemessene Phosphatsorption von Biokohlen hat.

2. Material und Methoden

Für die Versuche wurden zwei Biokohlen aus naturbelassenen Waldhackschnitzeln verwendet, die bei 450 °C bzw. 750 °C in einem einfachen Ofenverfahren pyrolysiert wurden. Die wichtigsten chemischen Eigenschaften der beiden Kohlen sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Chemische Eigenschaften der bei 450 °C (Kohle 1) bzw. 750 °C (Kohle 2) pyrolysierten Waldhackschnitzel

	Kohle 1 (450 °C)	Kohle 2 (750 °C)
N _t (mg/g)	4,9	5,2
P _t (mg/g)	0,81	0,89
K _t (mg/g)	42,0	48,3
Ca _t (mg/g)	13,8	15,5
pH (CaCl ₂)	7,0	8,7
C _{org} (mg/g)	752	882
C _t (mg/g)	757	883

Die P-Sorption der Biokohle wurde in Batchversuchen ermittelt. Die P-Konzentration der Schüttellösungen betrug 0, 100, 200, 300 bzw. 400 mg P/l (als KH₂PO₄). Als Standardhintergrundlösungen wurden ungepufferte 0,01 M CaCl₂- sowie KCl-Lösungen verwendet (Nair et al., 1984). Im ersten Ansatz kamen anstelle von CaCl₂ bzw. KCl andere Salze (Ca(NO₃)₂, KNO₃, K₂SO₄) in 0,01 molarer Lösung bzw. destilliertes Wasser (Aqua dest.) als Hintergrundlösung zum Einsatz. Im zweiten Ansatz wurden die CaCl₂- und KCl-Lösungen mit einem Na-Citrat/HCl- bzw. Na-Citrat/NaOH-Puffer auf pH-Werte von 4,5 bzw. 6,5 eingestellt. Im dritten Ansatz erfolgte eine Absenkung der Hintergrundlösungen auf 0,001 M bzw. eine Anhebung auf 0,1 M.

Von den in einer Scheibenschwingmühle feinvermahlene Kohlen wurde jeweils 1 g in 50 ml Zentrifugenröhrchen eingewogen. Nach der Zugabe von 25 ml Schüttellösung wurden die Proben zur Einstellung eines Gleichgewichtes zwischen gelöstem und sorbierten Phosphat für 24 h geschüttelt (liegend auf einem Horizontalschüttler) und nach einer einstündigen Sedimentationsphase durch 45 µm Membranfilter filtriert (Nair et al., 1984). Die Bestimmung des P-Gehaltes im Filtrat erfolgte mittels ICP-OES.

Die P-Sorption wurde aus der Differenz des P-Gehaltes der verwendeten Schüttellösung und des gemessenen P-Gehaltes im Filtrat (Gleichgewichtslösung) errechnet und auf den C_{org} -Gehalt der Biokohlen bezogen. Alle Batchversuche wurden in zweifacher Wiederholung durchgeführt.

3. Ergebnisse

Zusammensetzung der Hintergrundlösung

Beide Biokohlen sorbieren bei Verwendung von calciumhaltigen Hintergrundlösungen erhebliche Mengen an Phosphat (Abb. 1). Die P-Sorptionskapazität von Kohle 1 beträgt rund 6 mg/g C_{org} . Kohle 2 sorbiert sogar knapp 10 mg/g C_{org} . Ein völlig anderes Bild ergibt sich für Aqua dest. und die Hintergrundlösungen mit Kalium als Kation. In diesen Fällen bindet die bei 750 °C pyrolysierte Kohle kein Phosphat mehr und die bei 450 °C hergestellte Kohle gibt sogar geringe Mengen Phosphat ab. Im Gegensatz zum Kation haben die verschiedenen Anionen keinen messbaren Effekt auf die P-Sorption.

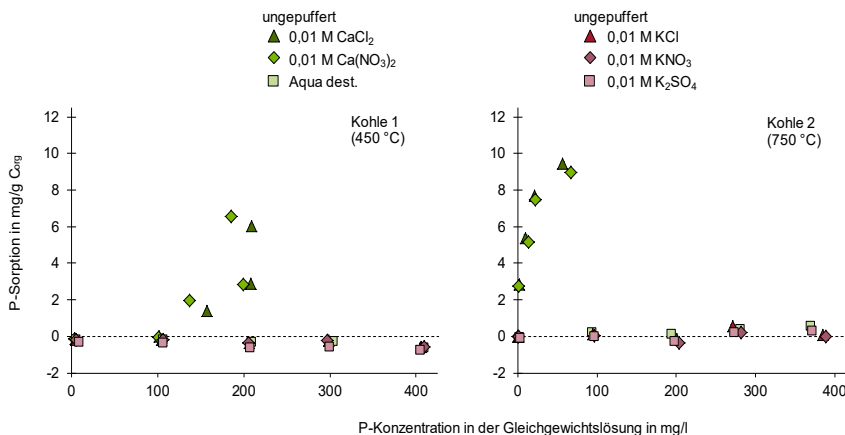


Abb.1: P-Sorption der beiden Biokohlen in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Hintergrundlösungen

pH-Wert der Hintergrundlösung

Wird der pH-Wert der Hintergrundlösung gepuffert, hat im Gegensatz zu den ungepufferten Lösungen die Zusammensetzung (CaCl_2 bzw. KCl) keinen Ein-

fluss mehr auf die gemessene P-Sorption. Keine der beiden Kohlen weist bei Verwendung einer gepufferten Hintergrundlösung eine nennenswerte P-Sorption auf, zum Teil wird sogar Phosphat desorbiert (Abb. 2).

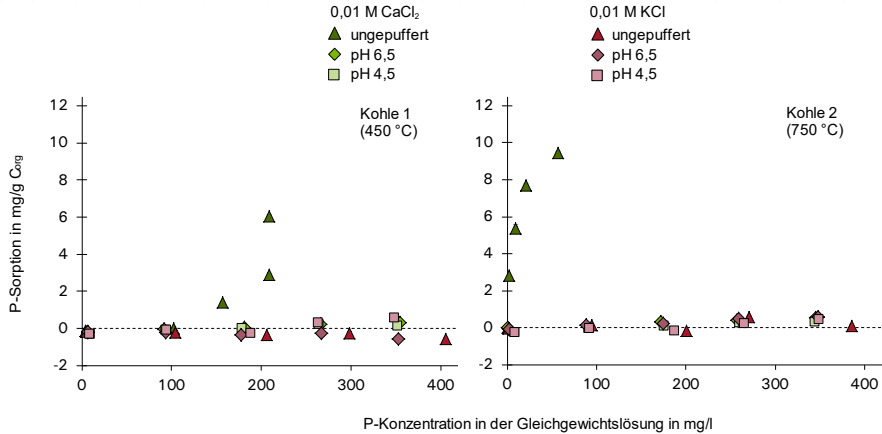


Abb. 2: P-Sorption der beiden Biokohlen in Abhängigkeit vom pH-Wert der Hintergrundlösungen

Konzentration der Hintergrundlösung

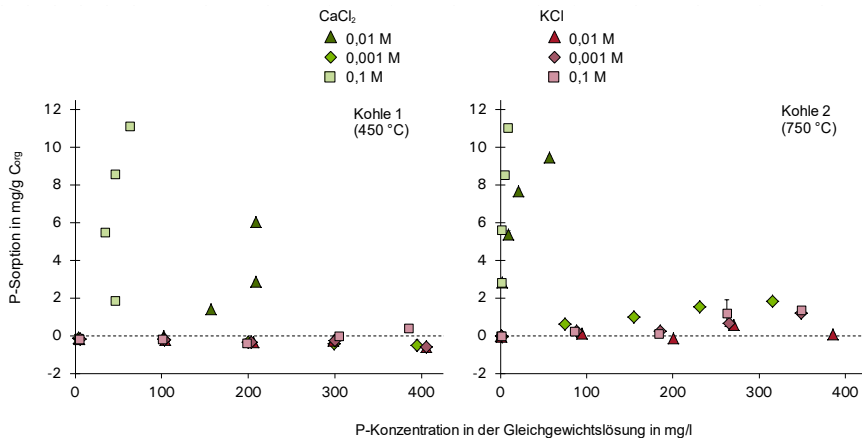


Abb. 3: P-Sorption der beiden Biokohlen in Abhängigkeit von der Konzentration der Hintergrundlösungen

Bei Verwendung von KCl-Hintergrundlösungen hat deren Konzentration kaum Einfluss auf die gemessene P-Sorption (Abb. 3). Im Falle von Kohle 1 ist sogar

bei Verwendung einer 0,1 molaren Lösung keine P-Sorption messbar, Kohle 2 zeigt eine geringfügige P-Sorption von knapp 1,5 mg P je g C_{org}. Bei CaCl₂-Hintergrundlösungen ist dagegen eine deutliche Abhängigkeit der P-Sorption von der Konzentration zu erkennen. Während bei Verwendung der 0,001 molaren Lösung keine (Kohle 1) bzw. nur eine sehr geringe (Kohle 2) P-Sorption gemessen wird, sind bei der 0,1 molaren Lösung deutlich höhere Werte zu verzeichnen. Die P-Sorption beider Kohlen beträgt maximal etwa 11 mg/g C_{org}, wobei im Falle von Kohle 2 selbst bei einer P-Anfangskonzentration in der Schüttellösung von 400 mg/l nur sehr geringe P-Konzentrationen in der Gleichgewichtslösung (< 10 mg/l) gefunden werden. Die P-Menge war in diesem Fall vermutlich nicht ausreichend, um das Maximum der P-Sorption zu erreichen.

4. Diskussion

Die maximale P-Sorption bei Verwendung eines ungepufferten 0,01 M CaCl₂-Hintergrundes ist mit 6 bzw. 10 mg P/g C_{org} deutlich höher als Ergebnisse von Chintala et al. (2014), die bei Pyrolysekohlen aus Maisstroh bzw. Rutenhirse und einem 0,01 M CaCl₂-Hintergrund eine P-Sorption von ca. 4,5 mg/g C_{org} ermittelten. Allerdings betrug die höchste P-Ausgangskonzentration in diesem Fall auch nur 100 mg/l. Die erheblich geringere P-Sorption bei Verwendung eines kaliumhaltigen Hintergrundes ist konsistent mit Ergebnissen von Xu et al. (2014) für eine Biokohle aus Weizenstroh und Verwendung eines 0,01 M KCl-Hintergrunds. Selbst bei der höchsten P-Ausgangskonzentration von 240 mg/l erzielten die Autoren nur eine P-Sorption von weniger als 0,1 mg/g C_{org}, bei geringeren P-Ausgangskonzentrationen kam es, wie bei der 450 °C-Kohle in der vorliegenden Arbeit, zu einer geringen Desorption von Phosphat.

Die fehlende P-Sorption bei im sauren Bereich gepufferten Hintergrundlösungen führt zu der Vermutung, dass die gemessene P-Sorption zumindest zum großen Anteil nicht auf eine Bindung des Phosphates an die Biokohlen zurückzuführen ist, sondern auf einer Ausfällung von Calciumphosphaten beruht, deren Löslichkeit bei steigendem pH-Wert stark abnimmt (Diaz et al., 1994). Dies erklärt auch den Unterschied in der P-Sorption der beiden Kohlen bei Verwendung der ungepufferten CaCl₂-Hintergrundlösung. Auf Grund der höheren Alkalität von Kohle 2 – mit einem pH-Wert von 8,7 im Vergleich gegenüber 7,8 bei Kohle 1 – kommt es zu einem stärkeren Anstieg des pH-Wertes der Hintergrundlösung und in der Folge zur vermehrten Ausfällung von Calciumphosphaten.

Der Effekt des pH-Wertes der Biokohle auf die gemessene P-Sorption bei Verwendung eines CaCl_2 -Hintergrundes wird auch in der bereits genannten Arbeit von Chinatala et al. (2014) deutlich. Bei einer Biokohle aus Kiefernholz lag die gemessene P-Sorption mit nur 0,9 mg/g C_{org} wesentlich niedriger als bei Biokohlen aus Maisstroh und Rutenhirse (ca. 4,5 mg/g C_{org}). Der wesentliche Unterschied zwischen den Biokohlen war deren pH-Wert. Während die Kiefernholzkohle einen leicht sauren pH-Wert von 5,8 aufwies, waren die beiden Biokohlen aus Maisstroh und Rutenhirse mit pH-Werten > 10 stark alkalisch. Die Ergebnisse von Obermaier (2014) mit einer Kohle aus hydrothermalen Carbonisierung (HTC) und einer Pyrolysekohle jeweils auf Basis von Buchenholzspänen deuten ebenfalls in diese Richtung. Während bei der Pyrolysekohle (pH 8,1) eine erhebliche P-Sorption gemessen wurde, war diese bei der HTC-Kohle (pH 4,7) zu vernachlässigen.

Die Vermutung, dass die gemessene P-Sorption wesentlich auf einer pH-abhängigen Ausfällung von Calciumphosphaten beruht, wird auch durch den Anstieg der P-Sorption mit zunehmender Ca-Konzentration der Hintergrundlösung bei beiden Kohlen gestützt. Mit steigender Ca-Konzentration wird das Löslichkeitsprodukt von Calciumphosphat auch noch bei einer sehr geringen P-Konzentration in der Gleichgewichtslösung überschritten, wodurch eine sehr hohe P-Sorption der Kohle ermittelt wird (Gimsing und Borggard, 2001). Neben der Ca-Konzentration der Hintergrundlösung ist auch der Ca-Gehalt der Biokohlen zu beachten. Zum Teil werden bei Sorptionsexperimenten erhebliche Ca-Mengen desorbiert (Sarkhot et al., 2013), wodurch es sogar bei einer calciumfreien Hintergrundlösung zu Ca-Ausfällungen kommen kann. Dies könnte die Ursache für den leichten Anstieg der P-Sorption mit zunehmender Kalium-Konzentration der Hintergrundlösung sein. Jedoch selbst unter der Annahme, dass die bei Verwendung einer 1 M KCl-Lösung gemessene P-Sorption bei Kohle 2 nicht auf eine Ausfällung von Calciumphosphaten zurückzuführen ist, entspräche die P-Sorption von 1,5 mg/g C_{org} bei einer sehr hohen Ausbringmenge von 100 t Biokohle je Hektar (Jeffery et al., 2011) nur einer P-Sorption von etwa 30 mg/kg Boden. Dieser Wert ist fünf- bis zehnmal geringer als die P-Sorption ackerbaulich genutzter Böden (Börling et al., 2001).

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Interpretation der P-Sorptionskapazität von Biokohlen Vorsicht geboten ist und in Batchexperimenten ermittelte Sorptionsisothermen auf Grund des erheblichen Einflusses der verwendeten Methode nur bedingt zur Charakterisierung der P-Sorptionskapazität geeignet sind.

5. Literaturangaben

- Börling, K., Otabbong, E. und Barberis, E. (2001): Phosphorus sorption in relation to soil properties in some cultivated Swedish soils. *Nut. Cycl. Agroecosyst.* 59, 39-46.
- Chintala, R., Schumacher, T.E., McDonald, L.M., Clay, D.E., Malo, D.D., Papiernik, S.K., Clay, S.A. und Julson, J.L. (2014): Phosphorus sorption and availability from biochars and soil/biochar mixtures. *Clean – Soil, Air, Water* 42, 626-634.
- Diaz, O.A., Reddy, K.R. und Moore Jr., P.A. (1994): Solubility of inorganic phosphorus in stream water as influenced by pH and calcium concentration. *Water Res.* 28, 1755-1763.
- Gimsing, A.L. und Borggaard, O.K. (2001): Effect of KCl and CaCl₂ as background electrolytes on the competitive adsorption of glyphosate and phosphate on goethite. *Clays and Clay Minerals* 49, 270-275.
- Helyar, K.R., Munns, D.N. und Burau, R.G. (1976): Adsorption of phosphate by gibbsite – I. Effects of neutral chloride salts of calcium, magnesium, sodium, and potassium. *J. Soil Sci.* 27, 307-314.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M. und Bastos A.C. (2011): A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agricult. Eco-syst. Environ.* 144, 175-187.
- Lehmann, J. (2007): Bio-energy in the black. *Front Ecol. Environ.* 5, 381-387.
- Nair, P.S., Logan, T.J., Sharpley, A.N., Sommers, L.E., Tabatabai, M.A. und Yuan, T.L. (1984): Interlaboratory comparison of a standardized phosphorus adsorption procedure. *J. Environ. Qual.*, 13(4), 591-595.
- Obermaier, S. (2014): Nährstoffverfügbarkeit und Nährstoffbindung diverser Pflanzenkohlen bei variierender Nährstoffanreicherung. M.Sc.-Thesis, TUMünchen.
- Sarkhot, D.V., Ghezzehei, T.A. und Berhe, A.A. (2013): Effectiveness of biochar for sorption of ammonium and phosphate from dairy effluent. *J. Environ. Qual.* 42, 1545-1554.
- Soinne H., Hovi, J. Tammeorg, P. und Turtola, E. (2014): Effect of bio-char on phosphorus sorption and clay soil aggregate stability. *Geoderma* 219-220, 162-167.
- Xu, G., Sun, J.N., Shao, H.B., Chang, S.X. (2014): Biochar had effects on phosphorus sorption and desorption in three soils with differing acidity. *Ecol. Engin.* 62, 54-60.

- Yao, Y., Gao, B., Chen, J. und Yang, L. (2013): Engineered biochar reclaiming phosphate from aqueous solutions: mechanisms and potential application as a slow-release fertilizer. *Environ. Sci. Technol.* 47, 8700-8708.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. und Zimmermann, A.R. (2012): Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89, 1467-1471.
- Zeng, Z., Zhang, S., Li, T., Zhao, F., He, Z., Zhao, H., Yang, X., Wang, H., Zhao, J. und Rafiq M.T. (2013): Sorption of ammonium and phosphate from aqueous solution by biochar derived from phytoremediation plants. *J. Zhejiang Uni. – Sci. B* 14, 1152-1161.

6. Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen des vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten geförderten Forschungsprojektes Wirkung karbonisierter, organischer Reststoffe (Pyrolyse und hydrothermale Kohle) auf die Bodenfruchtbarkeit durchgeführt.

Bodenenzymologische Untersuchungen auf Thüringer Böden

R. Neumann, J. Schönlebe

Jena

Der Boden ist die größte Quelle der biologischen Vielfalt auf unserem Planeten. Mikroorganismen (Pilze und Bakterien) setzen durch ihre Arbeit im Boden Nährstoffe frei. Ohne die Arbeit der Mikroorganismen gäbe es keinen fruchtbaren Boden (*Francois Bruscot*).

In einem Monitoring werden regelmäßig Bodenproben von ausgewählten Standorten Thüringens auf eine Vielzahl an chemischen, physikalischen sowie biologischen Parameter geprüft.

Im Laborbereich Mikrobiologie der TLL werden diese Böden auf die Parameter „Biomasse“, „Bodenatmung“ sowie „Katalaseaktivität“ geprüft.

Als mikrobielle Biomasse angegeben in (mg C/100 g Boden TS), wird der Anteil an organischer Substanz im Boden definiert, der aus lebenden Mikroorganismen besteht.

Hierbei wird in einem geschlossenen System modifiziert nach Isermeyer die von naturfeuchten Böden nach Glukosezugabe während einer kurzzeitigen Bebrütung abgegebene CO₂-Menge nach Diffusion und Absorption in einer vorgelegten Natronlauge in Gegenwart von Bariumchlorid mit Salzsäure titrimetrisch bestimmt (nach Anderson und Domsch, 1978). Das Verfahren ist für alle Böden ohne frische organische Substanz geeignet.



Abb. 1: Inkubationsgefäß

Über die Bodenatmung wird die Umsetzung der organischen Substanz des Bodens erfasst.

Der Boden wird in einem geschlossenen Gefäß bei 25 °C inkubiert und das entweichende CO₂ in Natronlauge absorbiert.

Nach Rücktitration der unverbrauchten Lauge wird die CO₂-Freisetzung errechnet (Isermeyer, 1952, mod. nach Jäggi, 1976). Die Bodenatmung reagiert unterschiedlich auf Bodenverarbeitungs- und Kultivierungsmethoden und wurde am häufigsten zur Beurteilung ökotoxikologischer Wirkung von Umweltchemikalien und Pflanzenschutzmitteln eingesetzt. Die Bodenatmung wird in mg CO₂/50 g Boden TS/24 h) angegeben.

Die Messung der Katalasesaktivität bildet die Tätigkeit der Mikroorganismen im Boden ab. Die Katalase ist das Enzym, das H₂O₂ zu O₂ und H₂O umsetzt. Die Methode beruht auf einer manometrischen Bestimmung des freigesetzten Sauerstoffs aus zugesetztem Wasserstoffperoxid während einer 3-minütigen Inkubation der Bodenprobe bei Raumtemperatur in einer an der TLL entwickelten Apparatur. Die Katalaseaktivität wird als Katalasezahl angegeben.



Abb. 2: Katalaseapparatur

Über einen Zeitraum von 13 Jahren (2001-2013) wurden jährlich an 14 verschiedenen Standorten jeweils vier Bodenproben gezogen und auf die Untersuchungsparameter „Biomasse“, „Bodenatmung“ und „Katalaseaktivität“ geprüft. Die Analysen erfolgten nach Beck (1971), Isermeyer (1952) und Jäggi (1976).

Tab. 1: Übersicht über die Standorte und deren mittlere bodenbiologische Aktivität

Standort	Biomasse [mg C/100g Boden TS]	Bodenatmung [mg CO ₂ /50g Boden TS/24h]	Katalaseaktivität	Nutzung	Standorteinheit	Bestimmender Bodenwasserhaushalt
1	73,55	12,43	15,39	Acker	AI3	Sickerwasser
2	129,79	20,23	28,91	Acker	AI3	Grundwasser
3	50,36	3,77	11,39	Acker	Lö1	Sickerwasser
4	75,88	9,38	17,36	Acker	Lö2	Stauwasser
5	96,15	11,45	25,16	Acker	V1	Haftwasser
6	65,60	4,14	10,39	Acker	V4	Sickerwasser
7	75,46	3,85	11,97	Acker	V4	Hangwasser
8	134,43	14,51	32,62	Acker	V2	Haftwasser
9	54,41	3,40	7,55	Acker	V5	Stauwasser
10	60,62	2,89	9,63	Acker	V5	Sickerwasser
11	222,23	13,88	41,13	Grünland	V8	Sickerwasser
12	76,01	10,18	13,71	Grünland	V8	Stauwasser
13	212,01	26,60	43,70	Grünland	V3	Sickerwasser
14	96,70	10,75	26,28	Grünland	V9	Sickerwasser

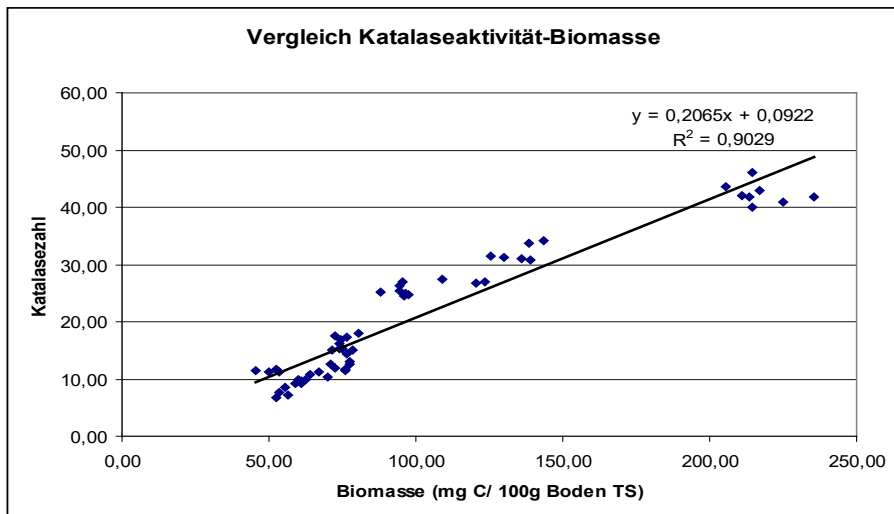


Abb. 3: Vergleich Katalaseaktivität (angegeben in Katalasezahl) und Biomasse (mg C/100g Boden TS)

Die im Untersuchungszeitraum untersuchten Bodenpartien weisen in Abhängigkeit des Standortes eine hohe mikrobielle Biomasse auf.

Dieser Wert wird in einer nachgewiesenen hohen Katalaseaktivität sowie Bodenatmung widerspiegelt.

Bei detaillierterer Betrachtung im konkreten Vergleich Biomasse und Katalaseaktivität ergibt sich für das Gesamtzahlenkollektiv ein korrelativer Zusammenhang.

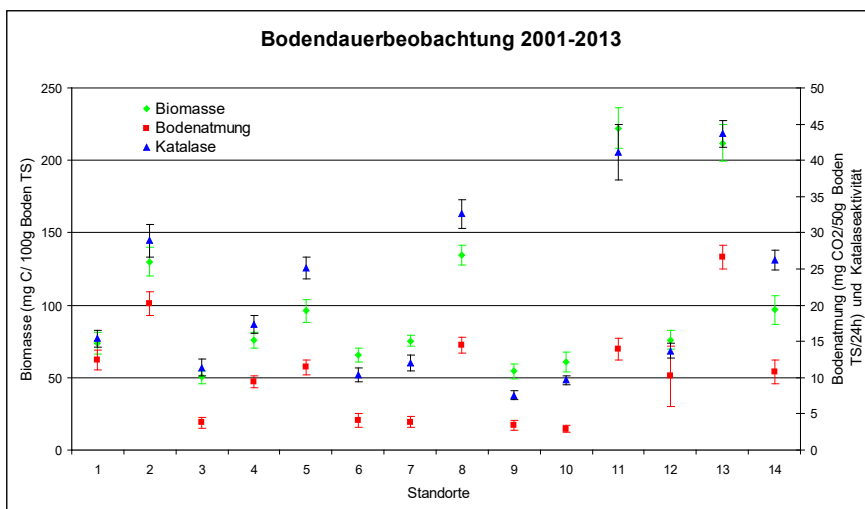


Abb. 4: Biomasse, Bodenatmung und Katalaseaktivität auf 14 Standorten mit je 4 Einzelmessungen über 13 Jahre

Für die oben genannten Parameter konnten unter Berücksichtigung von Standort, Bodenart und Nutzung über den Untersuchungszeitraum der Jahre 2001-2013 keine Auffälligkeiten nachgewiesen werden. Bei identischen Probenahmetiefen von 30 cm an ausgewählten Standorten Thüringens, weisen Grünlandflächen eine höhere bodenbiologische Aktivität als Ackerflächen auf.

Der Zweck der Bestimmung dieser bodenbiologischen Parameter besteht in der Erfassung von Einflussgrößen zur Einschätzung der Bodenfruchtbarkeit. Die Unterschiede in der Mikrobenaktivität zwischen Acker- und Grünland werfen Fragen nach ihrer Relevanz für die Bodenfruchtbarkeit. Diesen Fragen sollte durch intensivere Sichtung des Zahlenmaterials nachgegangen werden.

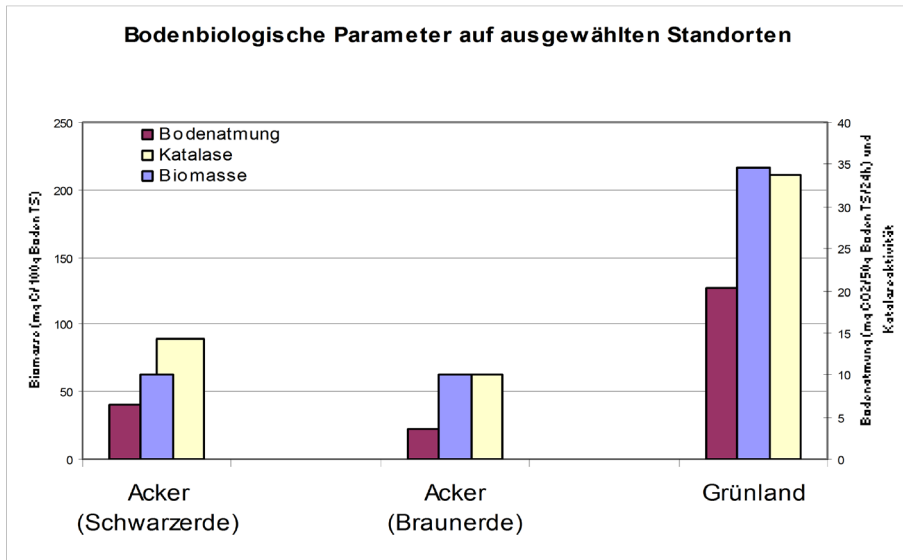


Abb. 5: Einfluss von Bodentyp und Nutzungsform auf bodenbiologische Parameter (Mittelwerte über die 13 Untersuchungsjahre).

Literaturangaben

- Anderson, J.P.H., Domsch, K.H., 1978: A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. In: *Alef, K. (1991): Methodenbuch Bodenmikrobiologie. Ecomed Verlagsgesellschaft mbh, Landsberg/Lech.*
- Beck, T., 1971: Die Messung der Katalaseaktivität von Böden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 130(1), 68-81.
- Brusco, F., 2015: „Das Wunder unserer Böden“ MDR Figaro 2015.
- DIN ISO 14240-1 (Bestimmung der mikrobiellen Biomasse von Böden).
- Isermeyer, H., 1952: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde* 56(1-3), 26-38.
- Jäggi, W., 1976: Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. In: *Alef, K. (1991): Methodenbuch Bodenmikrobiologie. Ecomed Verlagsgesellschaft mbh, Landsberg/Lech.*

Woran starben die Bienen? Auf der Suche nach Rückständen von Pflanzenschutzmitteln

G. Bischoff¹, K. Jänicke¹, H. Nowak¹, J. Pistorius²

¹Julius Kühn-Institut, Berlin, ²Julius Kühn-Institut, Braunschweig

1 Einleitung

Honigbienen sind im Laufe des Jahres verschiedenen Gefährdungen ausgesetzt, die für Bienenschäden verantwortlich sein können. Dazu gehören Bienenkrankheiten und -schädlinge, landwirtschaftliche und imkerliche Praktiken, Umwelt- und Lebensraumveränderungen oder auch gezieltes Vergiften (Frevell). Das Julius Kühn-Institut (JKI) hat laut Pflanzenschutzgesetz (§ 57 Abs. 2 Nr. 11) die Aufgabe, Bienen auf Schäden durch Pflanzenschutzmittel zu untersuchen. Diese Aufgabe wird von der Untersuchungsstelle für Bienenvergiftungen (UBieV) wahrgenommen, die in zwei Instituten des JKI mit Sitz in Braunschweig und Berlin angesiedelt ist.

Damit ein Schadensverursacher ermittelt werden kann, sollten nicht nur die toten Bienen sondern auch Pflanzen eingesandt werden, an denen sich die Bienen bei der Nahrungssuche vergiftet haben könnten. Eine chemische Untersuchung der eingesandten Proben erfolgt bei geeignetem Probenmaterial in der Regel dann, wenn anhand der vorliegenden Informationen zum Schadfall und des vorliegenden Probenmaterials eine mögliche Vergiftung nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann oder zuvor im Biotest (Aedes-Test, Indikator: Larven der Gelbfieber-Mücke *Aedes aegypti* L.) eine Kontaktgiftwirkung nachgewiesen wurde und zu klären ist, ob eine Vergiftung durch Pflanzenschutzmittel vorliegt.

Die Proben werden mit einer rückstandsanalytischen Multimethode untersucht. Die aktuelle Aufarbeitungsmethode wurde nach 2003 von Seefeld (2008) auf Basis eines von Klein und Alder (2003) publizierten Verfahrens entwickelt und etabliert.

Im April 2007 erhielt die chemische Bienenuntersuchung moderne Analysetechnik, um den gestiegenen Anforderungen an die Rückstandsuntersuchungen gerecht werden zu können. Für die Identifizierung und Quantifizierung der

Zielsubstanzen in den Probenextrakten stehen seitdem ein GC-MS- und ein LC-MS/MS-Messsystem zur Verfügung. Damit wurde der Tatsache Rechnung getragen, dass viele der nachzuweisenden Pflanzenschutzmittelwirkstoffe vorzugsweise mit der LC-MS/MS-Technik nachweisbar sind. Daneben gibt es aber nach wie vor eine Reihe von Wirkstoffen (z.B. chlororganische Insektizide, Pyrethroide), die nur oder besser mit GC-MS bestimmt werden können. Hinsichtlich der Vielzahl an Substanzen, die mit beiden Messsystemen ermittelt werden können, bietet das Untersuchungsverfahren zusätzliche Sicherheit bei der Befunderstellung.

Die Multimethode wurde ab 2007 optimiert und für Bienen und alle Bienenrelevanten Materialien umfassend validiert. Die Proben werden auf aktuell 280 Wirkstoffe, darunter 140 Insektizide, Akarizide und Varroazide untersucht. Das Screening-Programm beinhaltet in Deutschland und anderen europäischen Ländern zugelassene und nicht mehr zugelassene Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe, bienentoxische Substanzen aus anderen Anwendungsgebieten (z.B. Insektensprays) und solche, die in der Imkerei zum Einsatz kommen. Es sind insgesamt fünf Messungen (drei mit LCMS/MS und zwei mit GC-MS) erforderlich, um das Wirkungsspektrum zu erfassen. Die Multimethode wird kontinuierlich an aktuelle Erfordernisse und neue Wirkstoffe angepasst und beinhaltet auch ausgewählte Metaboliten von z.B. Clothianidin, Imidacloprid, Fipronil oder Amitraz.

2 Methoden

2.1 Aufarbeitung

Die Analysenproben für die Rückstandsanalytik bestehen aus 100 Bienen (ca. 5 - 10 g) bzw. 10 g Pflanzenmaterial, das vor der Entnahme mit einer Schere vorzerkleinert wird. Für die Bienenprobe werden 10 Bienen gewogen und das Gewicht von 100 Bienen errechnet. Die Analysenprobe wird in ein Zentrifugenglas mit einem Fassungsvermögen von 100 ml eingewogen und nach Zugabe von 50 µl einer Surrogat-Standard-Lösung mit 20 ml (Bienen) bzw. 40 ml (Pflanzen) Aceton und einer definierten Menge Reinstwasser (0,055 µS/cm) versetzt.

Die Gesamtwassermenge (Restfeuchte in der Probe plus Zugabe) soll bei den Bienenproben 10 ml betragen. Da aufgrund der eingesandten Gesamtprobenmenge in der Regel eine individuelle Wassergehaltsbestimmung nicht möglich

ist, erfolgt die Wasserzugabe aufgrund empirisch ermittelter Werte in Abhängigkeit des Gewichtes von 10 Bienen.

Bei den Pflanzenproben soll die Gesamtwassermenge 20 ml betragen. Es wird pauschal von einer Restfeuchte von 80 % ausgegangen und jeder Analysenprobe werden 12 ml Wasser zugesetzt.

Nach einer Einwirkzeit von 30 min werden die Proben 3 min mit einem Dispergiergerät homogenisiert und anschließend 10 min bei 3000 U/min zentrifugiert. Nach dem Zentrifugieren werden 15 ml des überstehenden Probenextrakts entnommen, mit 5 ml einer 20 %-igen Natriumchloridlösung versetzt und auf eine ChemElut-Kartusche (20 ml, unbuffered, Agilent) gegeben. Nach einer Einwirkzeit von 15 min wird zweimal mit je 50 ml Dichlormethan in einen 250 ml Rundkolben eluiert. Die Eluate werden am Rotationsverdampfer bei max. 35 °C bis zur Trockne konzentriert. Der Rückstand wird mit 2,5 ml einer Lösung in Acetonitril versetzt, welche die internen deuterierten Standards (aktuell 12) für die Quantifizierung enthält, und für 30 Sekunden im Ultraschallbad gelöst. Der verschlossene Rundkolben wird über Nacht in einen Tiefkühlschrank (-18 °C) gestellt, wodurch störende Begleitstoffe zum Teil ausgefroren werden. Der Probenextrakt wird über einen Spritzenfilter (0,2 µm) in ein Probenfläschchen filtriert.

Die Surrogat-Standard-Lösung enthält vier deuterierte Referenzsubstanzen (z.B. Acetamidiprid D3, Chlorpyrifos D10). Die im Zuge der Gesamtanalyse erzielten Ergebnisse (Wiederfindung) für die Surrogat-Standards dienen der Kontrolle und werden nicht in die Ergebnisberechnung einbezogen.

2.2 Messungen

Für die GC-MS-Messungen wird ein DSQ II-Gerät (Single Stage Quadrupol, Thermo Fisher Scientific) gekoppelt an einen Trace GC Ultra mit split/splitless-Injektor (210 °C, Splitless: 0,0 bis 1,5 min) und CTC CombiPAL Autosampler (15 °C) in den Messmodi EI und NICI verwendet. Die Trennung erfolgt an einer Zebron ZB-MultiResidue-1 Kapillare (30 m, 0,25 mm i.D., 0,25 µm Filmdicke, Phenomenex) mit Helium 5.0 als Trägergas, einem Fluss von 1,2 ml/min (constant flow) und folgendem Temperaturprogramm: 70 °C, 2 min → 5 °C/min → 320 °C, 10 min. Die massenspektrometrischen Messbedingungen sind im EI-Mode: 70 eV, Full scan 50-650 u, Ionenquelle 225 °C, Transferline 275 °C und im NICI-Mode: 70 eV, Full scan 20-650 u, CI Gas Methan 1,7 ml/min, Ionenquelle 180 °C, Transferline 275 °C.

Das Injektionsvolumen ist 1 μl und die Messzeit beträgt 62 min. Zwischen den Proben wird n-Hexan injiziert und mit einem kurzen Temperaturprogramm gemessen.

Die Zielsubstanzen werden in zwei Schritten anhand ihrer Retentionszeit und der Full Scan-Spektren identifiziert. Im halbautomatischen Grob-Screening wird anhand von Layouts (Abb. 1) eine Liste der potentiell in der Probe enthaltenen Wirkstoffe erstellt, deren Identität im Fein-Screening durch Spektrenvergleich abgesichert wird. Für die Identifizierung werden vorrangig die in eigenen EI- und NCI-Bibliotheken niedergelegten Substanzspektren herangezogen.

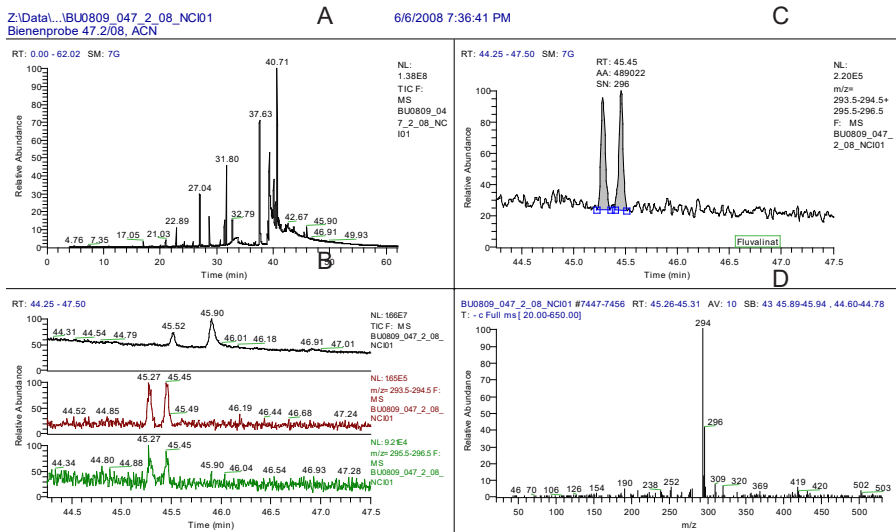


Abb. 1: Layouts zur Auswertung der GC-MS-Messergebnisse am Beispiel von tau-Fluvalinat (7 $\mu\text{g}/\text{kg}$) in einer Bienenprobe (Chromatogramm (A), m/z für Grob-Screening (B) und Quantifizierung (C), Spektrum für Bibliotheksvergleich (D))

Für die LC-MS/MS-Messungen kommt ein Triple Stage Quadrupole Massenspektrometer 4000 QTRAP (AB Sciex) mit ESI-Quelle (550 °C) zum Einsatz, dass an eine Prominence UFLC XR HPLC-Anlage (Shimadzu) gekoppelt ist. Die Säulenofentemperatur ist auf 40 °C und die des Autosamplers auf 15 °C gesetzt. Im Positiv-Mode werden die Messungen an einer Synergi Hydro Trennsäule (150 x 3 mm; 4 μm ; 80 Å) mit einer SecurityGuard cartridge AQ C₁₈ als Vorsäule

Tab. 1: Für die Trennung verwendete Gradienten in der LC-MS/MS

Gradient im:	Zeit [min]	Fluss [ml/min]	Solvent A [%]	Solvent B [%]
Positiv-Mode	0,0	0,6	10	90
	12,0	0,6	100	0
	18,0	0,6	100	0
	18,1	0,6	10	90
	22,0	0,6	10	90
Negativ-Mode	0,0	0,7	10	90
	0,5	0,7	100	0
	3,8	0,7	100	0
	4,8	0,7	10	90
	6,0	0,7	0	100

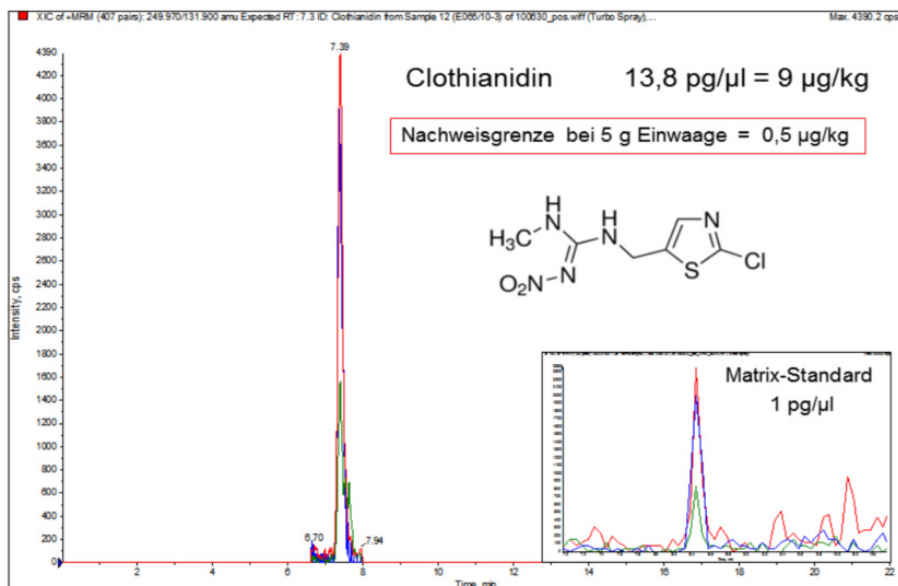


Abb. 2: Chromatogramm von Clothianidin in einer Bienenprobe

(4 x 2,0 mm) (beide von Phenomenex) durchgeführt. Es werden 10 μl je Probe-extrakt injiziert, bei einem Fluss von 0,6 ml/min und einer Messzeit von 22 min.

Im Negativ-Mode wird eine Kinetex C₁₈-Trennsäule (50 x 3 mm; 2,6 μm; 100 Å) mit einer SecurityGuard Cartridge Ultra als Vorsäule verwendet (beide von Phenomenex). Es werden 5 μl je Probenextrakt injiziert, bei einem Fluss von 0,7 ml/min und einer Messzeit von 6 min.

Für die Gradiententrennung (Tab. 1) werden ein Methanol/Wasser-Gemisch (90/10, v/v, Solvent A) und Wasser (Solvent B) verwendet, die beide 0,1 % Essigsäure und 5 mM Ammoniumformiat enthalten.

Die Zielsubstanzen werden anhand ihrer Retentionszeit und drei charakteristischen MRM-Übergängen identifiziert (Abb. 2). Die Quantifizierung erfolgt über die relativen Peakflächen nach der Methode des internen Standards. Für die Kalibrierung werden Matrixstandardlösungen in den Konzentrationen 1, 10, 100 und 500 pg/ μ l verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Ohne Berücksichtigung des Ausnahmejahres 2008 mit der großen Zahl an Bienenvergiftungen durch Wirkstoffabrieb von Saatgutbehandlungsmitteln bei der Aussaat von Mais (Pistorius et al., 2009) wurden im Zeitraum 2009 bis 2014 durchschnittlich 124 Schadfälle pro Jahr verzeichnet und ca. 1200 bis 2400 Bienenvölker als geschädigt gemeldet. Es ist allerdings von einer Dunkelziffer bezüglich der Anzahl der Bienenvergiftungen auszugehen, da nicht jeder Schaden zur Anzeige kommt bzw. sachgerecht an das JKI gemeldet wird. In normalen Jahren ist bei maximal 30–50 % der Schadfälle der Verdacht nicht auszuschließen, dass ein Zusammenhang mit einer Pflanzenschutzmittel-Anwendung besteht. Bei einer Reihe von Proben bestätigt sich jährlich der Verdacht, dass die Bienen gezielt, z.B. mit Insektensprays, vergiftet wurden (Frevelfälle). In diesen Fällen werden Wirkstoffe wie z.B. Tetramethrin oder Permethrin nachgewiesen, die ausschließlich in Bioziden, nicht aber im Pflanzenschutz eingesetzt werden. Auch aus diesem Grund muss in den Proben mit Wirkstoff-Gehalten vom ng/kg- bis zum mg/kg-Bereich gerechnet werden, und es ist besondere Sorgfalt bei der Aufarbeitung nötig, um Querkontaminationen während der Analysen zu vermeiden.

Im Zeitraum von 2009 bis 2014 wurden zwischen 53 und 149 Bienenproben chemisch analysiert und darin 35 bis 40 verschiedene Insektizide pro Jahr identifiziert, einschließlich in der Imkerei verwendeter Varroazide. Die 12 am häufigsten gefundenen Insektizide zeigt Abb. 3. In 3 bis 18 % der Bienenproben waren keine Wirkstoffe des Screeningprogramms nachweisbar.

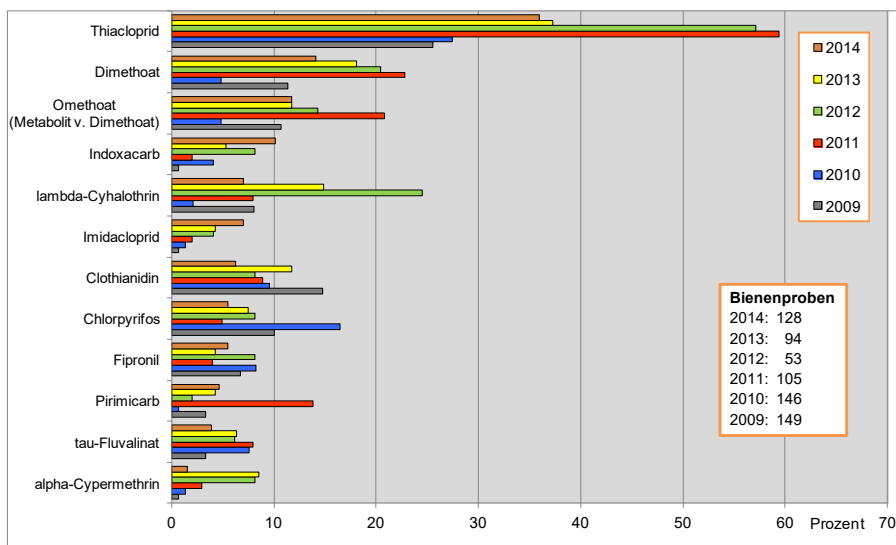


Abb.3: Verteilung der von 2009 bis 2015 am häufigsten in Bienenproben gefundenen Insektizide in Prozentanteil pro Jahr

Jeder Probe werden zu Beginn der Aufarbeitung deuterierte Wirkstoffe (Surrogate) für die Qualitätskontrolle der Gesamtanalyse zugesetzt. Die Streuung der Surrogat-Wiederfindungen in echten Bienenproben gibt einen Einblick in die zum Teil erheblichen Einflüsse der Matrix. Stahnke et al. (2009) fanden, dass für den Großteil der von ihnen untersuchten Wirkstoffe die Eigenschaften der Analyte keinen signifikanten Einfluss auf die Stärke der Signalsuppression in der LCMS/MS hatten. Es zeigte sich, dass die Matrixeffekte retentionszeitabhängig waren; da die Retentionszeit bestimmt, mit welcher Fraktion der Matrix die Analyte koeluiieren. Eigenschaften und Konzentration der Matrix wurden als entscheidende Parameter für das Ausmaß von Matrixeffekten identifiziert.

Zur Reduktion der Matrix-Einflüsse werden in der Bienenanalytik, soweit im Rahmen einer Multimethode möglich, verschiedene Maßnahmen wie Cleanup, Verdünnung der Probenextrakte und chromatographische Trennung genutzt. Da diese Maßnahmen in der Regel nicht ausreichen oder wie die Verdünnung selten genutzt werden können, wird die Quantifizierung der Wirkstoffe mit Matrixstandards vorgenommen, um die Matrixeinflüsse zu kompensieren. Die Matrix-Standards zur Erstellung der Kalibrierkurven werden in jeder Probenserie mitgemessen. Die Matrix-Standards für die Rückstandsanalysen von Pflan-

zenmaterial werden nur mit Raps-Matrix hergestellt, um die Messzeit auf das notwendige Maß zu begrenzen und einen möglichst hohen Probendurchsatz zu erreichen. Wichtig für die Bewertung des Schadfalles und Ermittlung des potentiellen Verursachers eines Schadens sind die Identifizierung möglichst vieler übereinstimmender Wirkstoffe in Bienen- und Pflanzenproben und die Konzentration der gefundenen toxischen Wirkstoffe.

Um aufzuzeigen, ob und mit welcher Qualität die für das Screening ausgewählten Wirkstoffe mit der Multimethode nachgewiesen werden können, wurde eine Vielzahl von Zusatzversuchen mit unbehandeltem Material und verschiedenen Konzentrationen durchgeführt, um insbesondere Wiederfindungsraten und Nachweisgrenzen zu bestimmen. Die Wiederfindungsraten für die etwa 140 Insektizide des Screeningprogramms in Bienenmatrix liegen mit wenigen Ausnahmen zwischen 70 % und 110 %, mit relativen Standardabweichungen unter 15% (Zusatzniveau: 10 µg/kg). Die Nachweisgrenzen für die sichere Identifizierung dieser für die Bienen teilweise sehr toxischen Wirkstoffe liegen zwischen 0,05 µg/kg (z.B. Fipronil), 0,5 µg/kg (z.B. Clothianidin, Imidacloprid) und 5 µg/kg (z.B. Deltamethrin).

Im Rahmen der vielfältigen Methoden-Validierungen hat sich gezeigt, dass die Multimethode für die Analyse einer Vielzahl von Probenmaterialien (Bienen, Pflanzen, Pollen, Bienenbrot, Nektar, Gelée Royal, Bienenlarven) gut geeignet ist. Über die Schadfalkklärung hinaus werden auch Rückstandsanalysen in diesen Matrices im Rahmen von Kooperationen mit Wissenschaftlern von Bieneninstituten und Universitäten zu Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen einzelner bis hin zu einer Vielzahl an Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffen auf Bienen (z.B. Böhme et al., noch nicht erschienen) durchgeführt.

Weitere Informationen zur Schadfallaufklärung und zu Details der Arbeit der UBieV sind unter dem Themenportal „Bienen“ auf der Internetseite des JKI zu finden (<http://bienen.jki.bund.de>).

4 Literaturangaben

- Böhme, F., Bischoff, G., Zebitz, C., Rosenkranz, P., Wallner, K.: Chronic exposure of honeybees *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae) to a field-realistic pesticide mixture – Residue analysis of bees and effects on pre-imaginal development and size of hypopharyngeal glands. *Apidologie* (in Review)
- Klein, J. and Alder, L., 2003: Applicability of Gradient Liquid Chromatography with Tandem Mass Spectrometry to the Simultaneous Screening for About 100 Pesticides in Crops. *J. AOAC Int.*, 86 (5), 1015-1037.
- Pistorius, J., Bischoff, G., Heimbach, U., 2009. Bienenvergiftungen durch Wirkstoffabrieb von Saatgutbehandlungsmitteln während der Maisaussaat im Frühjahr 2008. *Journal für Kulturpflanzen*, 61, 9-14.
- Seefeld, F., 2008: Chemische Untersuchungen zur Aufklärung von Schadensfällen an Honigbienen durch Pflanzenschutzmittel im Zeitraum 1985 bis 2006. *Mitteilungen aus dem Julius Kühn-Institut Heft 418*.
- Stahnke, H., Reemtsma, T., Alder, L., 2009. Compensation of Matrix Effects by Postcolumn Infusion of a Monitor Substance in Multiresidue Analysis with LC-MS/MS. *Analytical Chemistry*, 81 (6), 2185-2192.

Autorenindex

Abou El-Khir, A.	325	Ebel, G.	396
Abraham, U.	572	Ebertseder, F.	228
Amon, B.	149	Edelmann, P.	625
Appel, T.	170, 178, 187, 308, 358	Eder, K.	600
Aschhoff, K.	438	Ehrhart, E.	366
Babskaya, Y.	719	Eisenhardt, S.	532
Barthelmes, G.	396	Engels, C.	257
Baumecker, M.	249	Essich, C.	366
Bauriegel, A.	266	Ettle, T.	404, 540, 625
Beisecker, R.	358	Fabricius, R. T.	690
Berendonk, C.	532	Federolf, C.	216
Bereswill, S.	178, 308	Fischer-Kaiser, K.	228
Beßler, H.	257	Flaig, H.	350
Bischoff, G.	773	Förster, F.	478
Bonsels, T.	649	Forster, F.J.	165
Brandhuber, R.	67	Freibauer, A.	50
Brock, C.	372	Friedrich, K.	178, 308
Brolsma, K.	104	Frieten, D.	600
Brüning, D.	548	Fritsch, F.	170
Bürcky, K.	213	Georgii, S.	745
Busch, U.	676	Gerbert, C.	600
BZE Team	50, 386	Gerlach, K.	548
Claassen, N.	274, 279	Gerndt, N.	419
Dänicke, S.	75	Göbel, B.	187
Dannehl, T.	372	Goerlich, O.	676
Delling, M.	706	Görlach, B.	206
Demmel, M.	67	Gorniak, T.	500
Dersch, G.	149	Gruber, L.	517, 663
Diepolder, M.	300	Grundler, M.K.	686
Dittert, K.	274, 279	Grünewald, K.-H.	427, 649
Döhler, H.	141	Haas, Ch.	228
Dreyer, M.	206	Haase, N.U.	700
Dreysse, T.	378	Halle, I.	434
Düll, E.	350	Halli, K.	447
Dunkel, S.	438	Hammon, H.M.	600
Dusel, G.	600	Hartwig, H.	286

Heidkamp, A.	50	Kowalczyk, J.	463
Heinze, A.	594	Kroschewski, B.	249, 266
Hengelhaupt, F.	156	Kuhnitzsch, C.	509
Henkelmann, G.	228	Lahrssen-Wiederholt, M.	463, 556
Henning, M.	434	Leithold, G.	294, 372
Herbst, F.	112	Liebert, F.	419, 579, 586
Herwig, N.	94	Lieboldt, M. A.	434
Herzog, E.	491, 594	Lohr, D.	228, 753, 760
Hetterich, T.	213	Makary, T.	366
Heuwinkel, H.	228	Mechtler, K.	149
Heyn, J.	213	Meinken, E.	7753, 760
Hilmer, R.	279	Menke, A.	641
Höcker, S.	257	Merbach, W.	112
Homeier, E.	228	Meyer, C.	1
Höper, H.	58	Mikolajewski, S.	404
Hoppe, S.	532	Moll, W.	366
Horn, D.	187, 213	Möller, K.	196, 238
Horst, H.	692	Moser, T.	149
Hoy, S.	447	Mühling, K.H.	206
Hülsbergen, K.-J.	165	Müller, E.	338
Hummel, J.	500	Müller, T.	366
Jänicke, K.	773	Neumann, R.	768
Jilg, T.	633	Neumann, S.	419
Kapp, T.	719	Nick, M.	178, 308
Kardel, S.	500	Niessen, L.	686
Kehraus, S.	607, 617	Nöhren, N.	279
Keupp, C.	187	Novak, H.	773
Kießling, G.	86, 156	Nülken, C.	572
Killermann, B.	682, 686	Obermaier, A.	625
Klein, J.	713	Oerlemans, K.	104
Klein, M.	713	Olf, H.-W.	216
Kluth, H.	572, 657	Oltmer, K.	104
Knoblauch, S.	156	Ostertag, J.	540
Koch, D.	213	Pawelzik, E.	7
Koch, C.	447, 600	Pekrun, C.	238
König, V.	316	Peschke, S.	338
Korn, U.	509	Petrova, I.	238
Körschens, M.	122	Pieper, B.	509

Pingen, S.	35	Spiekers, H.	404, 500, 525, 540
Pistorius, J.	773	Spolders, M.	556
Pralle, H.	216	Stahl, T.	745
Pries, M.	532	Steevens, L.	641
Pries, M.	641	Steffens, D.	187
Prietz, R.	50	Steinberger, S.	525
Pröver, S.	690	Steinhöfel, O.	478, 509, 657
Raschbacher, S.	300	Steyer, M.	404
Rau, K.	594	Strube, M.	438
Rauen, A.	455	Strumpf, T.	94
Reijneveld, A.	104	Südekum, K.-H.	427, 455, 500, 548, 607, 617
Richardt, W.	509, 706	Sünder, A.	419, 579, 586
Riehl, G.	478	Sundrum, A.	487
Rodehutscord, M.	404	Terler, G.	517, 663
Romberg, F.-J.	600	Töpfer, A.	471
Römer, W.	274, 279	Trauboth, K.	438
Roscher, S.	657	Trautwein, F.	671
Saffan, M.M.	325	Trautz, D.	216
Schaaf, H.	745	Trenkle, A.	727
Schäfer, W.	58	Tzschentke, B.	434
Schafft, H.	463, 556	Übelhör, W.	286
Schaller, L.	149	Vana, S.	682
Schenkel, H.	23	Verhoeven, A.	532
Schlechtriem, C.	713	Voit, B.	682, 686
Schmidt, L.	112	von Tucher, S.	228
Schmidt, W.	338	Vos, C.	50
Scholz, H.	706	Wagner, B.	556
Schöne, F.	491	Wagner, W.	412, 564
Schönlebe, J.	768	Wecke, C.	579, 586
Schröter, H.	86, 131	Weiser, C.	386
Schuster, M.	404, 540	Weiß, K.	548
Schütze, S.	338	Westerschulte, M.	216
Schweitzer, K.	249	Wollmann, I.	196
Seidel, N.	338	Zeyner, A.	427, 509, 657
Seimetz, H.-J.	10	Zimmer, J.	266
Seiz, P.	238	Zorn, W.	86, 131
Sommer, H.	294, 298, 487		
Sørensen, S.	690		

Adressliste der korrespondierenden Autoren

Abou El-Khier, A.M.

Kafr-El-Sheikh Universität
Kafr-El-Sheikh (EG)

Dr. Abraham, Ulrich

Börde-KRAFTKORN-SERVICE
GmbH
Gröningen

PD Dr. Amon, Barbara

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e. V.
Potsdam

Prof. Dr. Appel, Thomas

Fachhochschule Bingen
Bingen

Dr. Armbruster, Martin

Landwirtschaftliche Untersuchungs-
u. Forschungsanstalt Speyer
Speyer

Aschhoff, Karsten

DEUKA
Erfurt

Babskaya, Yulia

Bundesamt für Verbraucherschutz
und Lebensmittelsicherheit
Berlin

Dr. Barthelmes, Gert

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg
Teltow

Baumecker, Michael

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Dr. Bischoff, Gabriela

Julius Kühn-Institut, Institut
für ökologische Chemie,
Pflanzenanalytik und Vorratsschutz,
Berlin

Dr. Bauriegel, Albrecht

Landesamt für Bergbau, Geologie und
Rohstoffe des Landes Brandenburg
Cottbus

Dr. Beisecker, Richard

Ingenieurbüro für Ökologie und
Landwirtschaft
Kassel

Dr. Berendonk, Clara

Versuchs- und Bildungszentrum
Landwirtschaft Haus Risweck
Kleve

Bereswill, Sarah

Fachhochschule Bingen
Bingen

Beßler, Holger

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Bonsels, Thomas

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kassel

Brandhuber, Robert

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Dr. Brock, Christopher

Justus-Liebig-Universität
Gießen

Dr. Brolsma, Karst

BLGG AgroXpertus
Wageningen (NL)

Brüning, Dave

Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn
Bonn

Dr. Bürcky, Klaus

Südzucker AG
Ochsenfurt

Dr. Busch, Ulrich

Bayerisches Landesamt
für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Prof. Dr. Claassen, Norbert

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Prof. Dr. Dänicke, Sven

Friedrich-Loeffler-Institut
Braunschweig

Dannehl, Theresa

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Dr. Delling, Manja

Sächsischer Landeskontrollverband
e.V.
Niederwiesa OT Lichtenwalde

Dr. Dersch, Georg

Österreichische Agentur für
Gesundheit und Ernährungssicherheit
GmbH (AGES)
Wien (AT)

Dr. Diepolder, Michael

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Prof. Dr. Dittert, Klaus

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Döhler, Helmut

DoehlerAgrar
Untermerzbach

Dreyer, Michael

Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel
Kiel

Dreyse, Tilmann

Thünen-Institut
Braunschweig

Düll, Evelyn

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Dunkel, Silke

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Prof. Dr. Dusel, Georg

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Dr. Ebel, Gunter

Leibniz-Institut für Agrartechnik
Potsdam-Bornim e.V.
Stahnsdorf

Ebertseder, Florian

Technische Universität München
Freising

Edelmann, Peter

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Dr. Eder, K.

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Ehrhart, Elisabeth

Regierungspräsidium Tübingen
Tübingen

Eisenhardt, Simon

Versuchs- und Bildungszentrum
Landwirtschaft Haus Risweck
Kleve

Prof. Dr. Engels, Christof

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Essich, Christoph

Universität Hohenheim
Stuttgart

Dr. Ettle, Thomas

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Federolf, Carl-Philipp

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Fischer-Kaiser, Katrin

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Dr. Flaig, Holger

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Forster, Felix

Technische Universität München
Freising

Friedrich, Kevin

Fachhochschule Bingen
Bingen/Rhein

Frieten, Dörte

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Dr. Fritsch, Friedhelm

Dienstleistungszentrum ländlicher
Raum
Bad Kreuznach

Gerbert, Caroline

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Dr. Georgii, Sebastian

Landesbetrieb Hessisches
Landeslabor Wiesbaden

Dr. Gerlach, Katrin

Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn
Bonn

Gerndt, Nina

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Dr. Gleisner, Heike

Analytik Jena AG
Jena

Prof. Dr. Göbel, Bernhard

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf Triesdorf

Dr. Goerlich, Ottmar

Bayerisches Landesamt
für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim

Görlach, Bruno

Christian-Albrechts-Universität zu
Kiel
Kiel

Dr. Gorniak, Tobias

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

**Univ.-Doz. Dr. Gruber,
Leonhard**

Höhere Bundeslehr- und
Forschungsanstalt für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein
Irdning-Donnersbachtal (AT)

Grundler, Monika

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Dr. Grünewald, Karl-Hermann

Verein Futtermitteltest e.V.
Bonn

Haas, Christine

Technische Universität München
Freising

Dr. Haase, Norbert U.

Max Rubner-Institut
Detmold

Dr. Halle, Ingrid

Friedrich-Loeffler-Institut
Braunschweig

Halli, Kathrin

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Hartwig, Heiner

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Dr. Heinze, Arnd

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Henkelmann, Günter

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Dr. Henning, Martina

Friedrich-Loeffler-Institut
Mariensee

Dr. Herbst, Friedhelm

Halle

Dr. Herwig, Nadine

Julius Kühn-Institut
Berlin

Herzog, Elke

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Hetterich, Thomas

BGD-Bodengesundheitsdienst
GmbH
Ochsenfurt

Prof. Dr. Heuwinkel, Hauke

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf Freising

Dr. Heyn, Johannes

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kassel

Hilmer, Reinhard

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Höcker, Sven

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Homeier, Elisabeth

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf Freising

Dr. Höper, Heinrich

Landesamt für Bergbau, Energie und
Geologie
Hannover

Dr. Horn, Dietmar

EUF - Arbeitsgemeinschaft zur
Förderung der Bodenfruchtbarkeit
und -gesundheit
Ochsenfurt

Dr. Horst, Hartmut

Landesbetrieb Hessisches
Landeslabor
Kassel

Prof. Dr. Hoy, Steffen

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

**Prof. Dr. Hülsbergen, Kurt-
Jürgen**

Technische Universität München
Freising

Prof. Dr. Hummel, Jürgen

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Jänicke, Kerstin

Julius Kühn-Institut, Bundesfor-
schungsinstitut für Kulturpflanzen,
Institut für ökologische Chemie, Pflan-
zenanalytik und Vorratsschutz
Berlin

Dr. Jilg, Thomas

Landwirtschaftliches Zentrum
für Rinderhaltung,
Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft,
Wild und Fischerei
Baden-Württemberg
Aulendorf

Dr. Kapp, Timo

Bundesamt für Verbraucherschutz
und Lebensmittelsicherheit
Berlin

Kardel, Stephan

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Dr. Kehraus, Saskia

Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn
Bonn

Dr. Kemmlin, Sabine

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Keupp, Carmen

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf
Triesdorf

Dr. Killermann, Berta

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Klein, Judith

Fraunhofer Institute for Molecular
Biology and Applied Ecology
Schmallenberg

PD Dr. Kluth, Holger

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Halle

Dr. Knoblauch, Steffi

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Dr. Koch, Christian

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Koch, Dierk

Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen
Kassel

Dr. König, Volkmar

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Dr. Korn, Ulrich

Dr. Pieper GmbH
Wuthenow

Prof. Dr. Körschens, Martin

Förderverband Humus e. V.
Zossen

Dr. Kowalczyk, Janine

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Kroschewski, Bärbel

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Kuhnitzsch, Christian

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Halle

**Dr. Lahrssen-Wiederholt,
Monika**

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Prof. Dr. Leithold, Günter

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Prof. Dr. Liebert, Frank

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Lieboldt, Marc-Alexander

Friedrich-Loeffler-Institut
Braunschweig

Lohr, Dieter

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf
Freising

Makary, Thomas

Universität Hohenheim
Stuttgart

Mechtler, Klemens

Österreichische Agentur für
Gesundheit und Ernährungssicherheit
GmbH (AGES)
Wien (AT)

Dr. Meinken, Elke

Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf
Freising

Menke, Annette

Landwirtschaftskammer Nordrhein-
Westfalen
Münster

Prof. Dr. Merbach, Wolfgang

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Halle

Dr. Mikolajewski, Sabine

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Moll, Wolfram

Landratsamt Ehingen
Ehingen

PD Dr. Möller, Kurt

Universität Hohenheim
Stuttgart

Moser, Tobias

Universität für Bodenkultur Wien
Wien (AT)

Müller, Ellen

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Nossen

Prof. Dr. Müller, Torsten

Universität Hohenheim
Stuttgart

Neumann, Roland

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Prof. Dr. Neumann, Stephan

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Nick, Marcel

Fachhochschule Bingen
Bingen/Rhein

Prof. Dr. Niessen, Ludwig

Technische Universität München
Freising

Nöhren, Nick

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Nowak, Hartmut

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz, Berlin

Nülken, Claudia

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Halle

Obermaier, Anton

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Grub

Oerlemans, Karen

BLGG AgroXpertus
Wageningen (NL)

Prof. Dr. Olfs, Hans-Werner

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Dr. Oltmer, Katrin

BLGG AgroXpertus
Wageningen (NL)

Dr. Ostertag, Johannes

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Grub

Prof. Dr. Pekrun, Carola

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt
Nürtingen-Geislingen
Nürtingen

Peschke, Silke

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Nossen

Petrova, Ioana

Universität Hohenheim
Stuttgart

Dr. Pieper, Bernd

Dr. Pieper GmbH
Wuthenow

Pingen, Steffen

Deutscher Bauernverband
Berlin

Jens Dr. Pistorius

Julius Kühn-Institut, Institut für für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland
Braunschweig

Dr. Pries, Martin

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Raschbacher, Sven

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Freising

Rau, Katrin

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Jena

Rauen, Anna

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Bonn

Dr. Reijneveld, Arjan

BLGG AgroXpertus
Wageningen (NL)

Dr. Richardt, Wolfram

Sächsischer Landeskontrollverband e.V. Niederwiesa OT
Lichtenwalde

Dr. Riehl, Gerhard

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Christgrün

Prof. Dr. Rodehutsord,**Markus**

Universität Hohenheim
Stuttgart

Prof. Dr. Römer, Wilhelm

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Dr. Romberg, Franz-Josef

Lehr- und Versuchsanstalt für
Viehhaltung
Münchweiler an der Alsenz

Roscher, Simone

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Prof. Dr. Saffan, M. Mohye

Kafr-El-Sheikh Universität
Kafr-El-Sheikh (EG)

Schaaf, Harald

Landesbetrieb Hessisches
Landeslabor
Kassel

PD Dr. Schafft, Helmut

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Schaller, Lena

Universität für Bodenkultur Wien
Wien (AT)

Prof. Dr. Schenkel, Hans

Stuttgart

**Prof. Dr. Schlechtriem,
Christian**

Fraunhofer Institute for Molecular
Biology and Applied Ecology
Schmallenberg

Dr. Schmidt, Lothar

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Halle

Dr. Schmidt, Walter

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Nossen

Dr. Scholz, Heiko

Hochschule Anhalt
Bernburg

Prof. Dr. Schöne, Friedrich

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Schröter, Hubert

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Dr. Schuster, Manfred

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Dr. Schweitzer, Kathlin

Humboldt-Universität zu Berlin
Berlin

Dr. Seidel, Nicole

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Kamenz

**Prof. Dr. Seimetz, Hans-
Jürgen**

Struktur- und Genehmigungsdirektion
Süd
Neustadt a. d. Weinstraße

Dr. Sommer, Hendrik

Universität Kassel
Kassel-Witzenhausen

Sørensen, Steen

Tagarno
Bogense (DK)

Prof. Dr. Spiekers, Hubert

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Stahl, Thorsten

Landesbetrieb Hessisches
Landeslabor
Wiesbaden

Steevens, Ludger

Versuchs- und Bildungszentrum
Landwirtschaft Haus Risweck
Kleve

Prof. Dr. Steffens, Diedrich

Justus-Liebig-Universität Gießen
Gießen

Steinberger, Siegfried

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Dr. Steinhöfel, Olaf

Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie
Köllitsch

Steyer, Mariana

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Grub

Strube, Manfred

Landwirtschaftsgenossenschaft e.G.
Förtha
Eckardtshausen

Dr. Strumpf, Thomas

Julius Kühn-Institut
Berlin

Prof. Dr. Südekum, Karl-Heinz

Rheinische Friedrich-Wilhelms-
Universität Bonn
Bonn

Dr. Sünder, Angela

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Prof. Dr. Sundrum, Albert

Universität Kassel
Kassel-Witzenhausen

Terler, Georg

Höhere Bundeslehr- und
Forschungsanstalt für Gartenbau
Schönbrunn
Irdning-Donnersbachtal (AT)

Dr. Töpfer, Anja

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Trauboth, Katrin

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

Trautwein, Friedhilde

Bundessortenamt
Hannover

Prof. Dr. Trautz, Dieter

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Dr. Trenkle, Armin

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

PD Dr. Tzschentke, Barbara

Humboldt Universität zu Berlin
Berlin

Dr. Übelhör, Walter

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Vana, Sílke

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Verhoeven, Anne

Versuchs- und Bildungszentrum
Landwirtschaft Haus Risweck
Kleve

Voit, Benno

Bayerische Landesanstalt für
Landwirtschaft
Freising

Dr. von Tucher, Sabine

Technische Universität München
Freising

Wagner, Bettina

Bundesinstitut für Risikobewertung
Berlin

Dr. Wagner, Wolfgang

Landwirtschaftliches
Technologiezentrum Augustenberg
Karlsruhe

Dr. habil. Wecke, Christian

Georg-August-Universität Göttingen
Göttingen

Weiser, Christian

Thünen-Institut
Braunschweig

Dr. Weiß, Kirsten

Humboldt Universität zu Berlin
Berlin

Westerschulte, Matthias

Hochschule Osnabrück
Osnabrück

Wollmann, Iris

Universität Hohenheim
Stuttgart

Prof. Dr. Zeyner, Annette

Martin-Luther-Universität Halle-
Wittenberg
Halle

Zimmer, Jörg

Landesamt für Ländliche Entwicklung,
Landwirtschaft und Flurneuordnung
des Landes Brandenburg
Teltow/Ruhlsdorf

Dr. Zorn, Wilfried

Thüringer Landesanstalt für
Landwirtschaft
Jena

C. Gerhardt gehört zu den führenden Anbietern von Laborgeräten und Verfahren zur Analyse von Futter-, und Lebensmitteln. Wir arbeiten für Bereiche, die eine hohe Anforderung an Präzision und Zuverlässigkeit stellen und für die dauerhafte Partnerschaft, Flexibilität und kontinuierliche Serviceorientierung unabdingbare Voraussetzungen sind. Dafür stehen wir, das kennt man von uns seit 1846.

Produkte



- Automatisches Extraktionssystem zur Fettbestimmung
- Vollautomatisches Hydrolysesystem für den Fettaufschluss
- Stickstoffanalyzesystem nach der Verbrennungsmethode von Dumas
- Wasserdampf-Destillationssysteme für vielseitige Anwendungsbereiche
- Aufschlussgeräte für die Kjeldahlanalytik
- Automatische Systeme zur Rohfaserbestimmung
- Klassische Heizbänke für den vielfältigen Einsatz im Labor
- Robuste Schüttler, Überkopfschüttler und Inkubatoren

Cäsariusstraße 97
53639 Königswinter

info@gerhardt.de
www.gerhardt.de



PRAGMATIS.
LÖSUNGEN AUF DEN PUNKT.



Pragmatis ist Experte für Datenbankanwendungen in Labor und Technik. Wir verfügen über mehr als 30 Jahre Erfahrung in der Verwaltung und Verarbeitung von Messdaten (LIMS, LIS, LES, CAQ, AQS, ELN).

Pragmatis LIMS für Desktop, Tablet und Smartphone

Pragmatisch und modern - unsere Lösungen sind immer auf der Höhe der Zeit, und mit ihnen unsere Kunden, von denen wir die meisten seit vielen Jahren begleiten.

Informieren Sie sich über moderne Datenverarbeitung in Labor und Technik. Nehmen Sie Kontakt mit uns auf - wir freuen uns auf Sie!

www.pragmatis.de sales@pragmatis.de Telefon ++49.8165.999210 Fax ++49.8165.999218

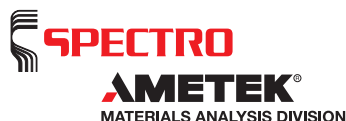
SPECTRO Analytical Instruments ist ein weltweit führender Anbieter von Instrumenten auf den Gebieten der Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie, der Optischen Emissions-Spektrometrie mit Bogen- und Funkenanregung, der Optischen Emissions-Spektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma sowie der ICP-Massenspektrometrie für die Elementanalytik in Industrie, Laborpraxis und Wissenschaft.

Als Unternehmensbereich der Materials Analysis Division der **AMETEK, Inc.**, stellt **SPECTRO** hervorragende Messinstrumente her, entwickelt optimale Lösungen für die Elementanalytik in zahlreichen Anwendungsbereichen und zeichnet sich durch beispielhaften Kundenservice aus.

Geräte von **SPECTRO** sind dafür bekannt, dass sie durch ihre überlegene technische Leistungsfähigkeit den Kunden messbaren Nutzen bringen. Seit der Gründung im Jahr 1979 hat **SPECTRO** über 30.000 Analysegeräte an Kunden in aller Welt ausgeliefert.

AMETEK, Inc. ist ein führender, weltweit aktiver Hersteller von elektronischen und elektromechanischen Produkten mit über 15.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern an nahezu 150 Produktions-, Vertriebs- und Servicestandorten in den Vereinigten Staaten und über 30 anderen Ländern.

AMETEK besteht aus zwei operativen Einheiten: Elektronische Geräte und Elektromechanik. Die Elektronische-Geräte-Gruppe stellt hochentwickelte Instrumente für die Prozess-, Luftfahrt- und Kraftwerkindustrie sowie weitere Branchen her. Die Elektromechanik-Gruppe ist ein differenzierter Anbieter von elektrischen Verbindungen, Lösungen für die Präzisionsbewegungssteuerung, Spezialmetallen, Temperaturmanagementsystemen, Bodenpflege und technischen Motoren.



**Gut zu wissen,
dass die
Messergebnisse
absolut
zuverlässig sind...**

elementar
EXCELLENCE IN ELEMENTS

- CHNSO Elementaranalysatoren
im Mikro- und Makrobereich
- Stickstoff-/Protein Analysatoren
- TOC/TN₅ Analysatoren
- S/N Analysatoren im ppb Bereich

... und das ganz ohne Helium

Elementar
Analysensysteme GmbH Donaustr. 7 eMail: info@elementar.de
63452 Hanau, Germany web: www.elementar.de

A member of elementargroup.

FOSS liefert analytische Systemlösungen für die optimale Produktion von Lebensmitteln sowie von landwirtschaftlichen, pharmazeutischen und chemischen Erzeugnissen.

Systeme von FOSS kontrollieren Ihre Erzeugnisse während der Produktion – damit Sie Qualität und Gewinn optimieren können.

FOSS bietet ein einzigartiges Portfolio maßgeschneiderter Lösungen auf Basis indirekter Verfahren und Referenzmethoden an.

Unsere Systemlösungen finden Anwendung im gesamten Produktionsprozess, vom Rohstoff bis zum Endprodukt, von der Routineanalyse bis zur At-Line- und In-Line-Prozesskontrolle.

Weltweit beschäftigt FOSS über 1.000 Mitarbeiter. Die Standorte für die Produktion sowie für Forschung und Entwicklung befinden sich in Dänemark, China und den USA.

Unsere Systeme werden durch Service- und Vertriebsgesellschaften in 25 Ländern und von mehr als 75 Generalvertretungen verkauft und betreut.

Weitere Informationen über unsere Lösungen für die Lebensmittel- und Futtermittelindustrie finden Sie unter www.foss.de oder schreiben Sie uns: info@foss.de

The logo for FOSS, consisting of the letters 'FOSS' in a bold, blue, sans-serif font.

SEAL Analytical GmbH ist führender Hersteller von Segmented-Flow AutoAnalyzern und Discreten Analyzern mit Sitz in Norderstedt bei Hamburg. Desweiteren haben wir Verkaufsbüros in UK, USA und China sowie ein flächendeckendes Vertriebsnetz mit Distributions- und Servicepartnern weltweit.

Die Einsatzgebiete der **SEAL Analyzer** finden sich im Umweltschutz, in der Lebensmittel-, pharmazeutischen und chemischen Industrie und in der Landwirtschaft.

Hier werden die SEAL Analyzer vor allem zur Bodenanalyse und zur Analyse von Wasser und Abwasser eingesetzt.

Gerätespezifisch stehen mehr als 1.000 Applikationen zur Verfügung.

Parameter, wie z.B. NO₃, NO₂, PO₄, SiO₂, NH₄ und viele weiter sind DIN / ISO, UKAS oder USEPA konform.

SEAL Analytical hat mehr als 50 Jahre Erfahrung in Entwicklung, Anwendung und Applikation.



t&p Triestram und Partner GmbH, Bochum

Mit mehr als 20jähriger Erfahrung haben wir unser Labor-Informations- und Managementsystem lisa.lims sehr erfolgreich am Markt etabliert und in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden ständig weiter entwickelt. Die aktuelle Version lisa.lims 10 zeichnet sich besonders durch ihre Benutzerfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit aus. Der modulare Aufbau ermöglicht die Anpassung an branchenspezifische Anforderungen.



Wir finden für jedes Labor die passende Lösung, denn die Zufriedenheit und qualifizierte Betreuung unserer Kunden steht für uns im Mittelpunkt. Namhafte Referenzkunden bestätigen

uns in dieser Philosophie mit einer erfolgreichen, in vielen Fällen langjährigen Zusammenarbeit, wie zum Beispiel AGES in Österreich, ART in der Schweiz, LALLF, LUFA Rostock, DTC oder UFA AG in der Schweiz.

www.t-p.com

Laborservice Onken GmbH

Jann Onken gründete 1997 Laborservice Onken in Gründau-Breitenborn als Dienstleistungsunternehmen für die klassische Aminosäurenanalytik. Aus Laborservice Onken wurde im Jahr 2000 die Laborservice Onken GmbH die sich heute zum führenden Anbieter von Geräten, Verbrauchsmaterialien und Serviceleistungen im Bereich der Aminosäurenanalytik in Deutschland, Österreich und der Schweiz entwickelt hat.

Mit dem Biochrom B30 Plus bieten wir den Anwendern im deutschsprachigen Raum heute einen der modernsten Aminosäurenanalysatoren, der zurzeit weltweit für die klassischen Aminosäurenanalytik erhältlich ist.

In enger Zusammenarbeit mit der Firma Biochrom in Cambridge beraten wir Anwender in applikativen Fragen zur klassischen Aminosäurenanalytik. Für praktische Ausarbeitungen und für Kontrollanalysen steht uns in Gründau ein eigenes Applikationslabor mit Biochrom Analysatoren zur Verfügung. Die Laborservice Onken GmbH führt für die Aminosäurenanalytik mehrtägige Anwenderseminare an den aktuellen Biochrom Analysatoren durch.

Zu unseren Zielen gehört es auch ehemaligen Aminosäurenanalytik-Kunden der Eppendorf AG (Biotronik) und der Amersham Pharmacia Biotech GmbH den weiteren Betrieb ihrer Analysatoren zu ermöglichen.

www.laborservice-onken.de

**laborservice Onken
GmbH**

ANTEC GmbH, Analysen- und Prozesstechnik

Die ANTEC GmbH ist Spezialanbieter für automatisierte Probenvorbereitungssysteme, insbesondere **Gelpermeationschromatographie (GPC)** und **Festphasenextraktion (SPE)** sowie TOC-Analytik.

Mit der Einführung des Probenvorbereitungssystems PrepLinc wurde die klassische GPC weiter automatisiert und mit neuen Funktionen wie der automatischen SPE und/oder weiteren Bearbeitungsschritten wie der automatischen **Inline-Probenaufkonzentration** versehen. Damit lassen sich komplexe Probenaufbereitungen, wie sie z. B. in der Dioxin- und Pestizidanalytik erforderlich sein können, nunmehr ebenfalls vollautomatisch durchführen. Durch den vollautomatisierten Ablauf werden Investitionskosten schnell amortisiert; beste Aufreinigungsergebnisse gewährleisten eine zuverlässige Analytik.

ANTEC GmbH

Analysen- und Prozesstechnik
Hauptstraße 4
82404 Sindelsdorf



Telefon +49 8856 9910
info@antec.de
www.antec.de

TAGARNO

DIGITALE KAMERAMIKROSKOPE

Wir sind ein internationales Unternehmen mit Schwerpunkt digitale Kameramikroskope für Qualitätskontrolle. Die einfach zu bedienenden, ergonomischen TAGARNO-Mikroskope mit integrierter Bildaufnahmefunktion bieten der Getreide- und Saatgutbranche wesentliche Vorteile. Die Arbeit mit einem TAGARNO-Mikroskop ermöglicht eine Verkürzung der Analysezeit, eine Reduzierung der Verspannungen in Nacken und Rücken sowie eine Vereinfachung der Dokumentationsarbeit.

TAGARNO - EINE FRAGE DER ARBEITSHALTUNG.

www.tagarno.com

TAGARNO
seeing solutions

Unity Scientific

Unity Scientific ist ein Unternehmen der „Westco Scientific Instruments, Inc.“ mit Sitz in Brookfield, Staat Connecticut, im Nordosten der USA. Seit 14 Jahren entwickelt und produziert Unity NIR-Systeme für den weltweiten Markt und hat sich zum Ziel gesetzt, die NIR-Analytik zu perfektionieren.

Mit dem SpectraStar XL™ bietet Unity Scientific ein NIR-Spektrometer der Spitzenklasse an. Vor allem auf dem Gebiet der Qualitätsanalytik von Agrarerzeugnissen, Lebensmitteln und industriellen Produkten findet dieses Hochleistungs-NIR Anwendung.

An unserem Standort in Weiler b. Bingen befinden sich die Geschäfts- und Schulungsräume, Werkstatt und Lager der Unity Scientific GmbH, zur Unterstützung von Unity Kunden in ganz Europa.


Unity Scientific GmbH

Duhlwiesen 32
55413 Weiler bei Bingen
Tel . 06721 988 6720
Fax. 06721 988 6725

Mehr über uns erfahren Sie auf unserer Website www.unityscientific.com



Erfahren Sie mehr über das Spiral-Konzept:






Ihr Fachpartner für einzigartige Produktpräsentation

Representative Sampling

Das Spiral-Konzept

Analyse von nassen Gras-, Maissilagen sowie Bodenproben

Unglaublich!
FT-NIR Scan
bis zu 375 cm²
Oberfläche

Value through insight

Q-Interline A/S
www.q-interline.com
Follow us at LinkedIn

Deutschland:
E-Mail: mwe@q-interline.com
Mobil: +49 (0) 151 4009 4253