



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 91 | Ausgabe 3

Dezember 2013

AGRARWISSENSCHAFT
FORSCHUNG
—
PRAXIS



Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses

Von WILFRIED BRADE, Hannover/Dummerstorf

1 Einleitung

Aktuell finden deutliche Klimaänderungen statt. Diese Änderungen verlaufen regional differenziert (27). Erste Auswirkungen zeigen sich in Form von Starkregen oder ausgeprägten Hitzeperioden. Auch dürften sich die Folgen des Klimawandels zukünftig zum Teil noch verstärken (zum Beispiel Zahl der Hitzetage/Jahr oder Länge der Dürreperioden). Generell wird vorausgesagt, dass die Sommer heißer und trockener werden.

Hitzestress tritt bei einer Kuh immer dann auf, wenn ihre metabolische Körperwärme größer ist, als die Kapazität, diese Wärme an die Umgebung abzugeben. Dies ist in der Regel schon bei Temperaturen über 20 Grad Celsius der Fall. Hitzedepressionen lassen sich beispielsweise durch stallbauliche oder technische Möglichkeiten reduzieren, indem die Stalltemperatur und die Luftfeuchtigkeit gesenkt, das Luftvolumen und die Luftaustauschrate im Stall gesteigert sowie die Wasseraufnahme permanent gesichert werden. Aber auch das richtige Herdenmanagement bietet interessante Möglichkeiten. Verbesserte Stall- und Lüftungssysteme sowie Veränderungen im Herdenmanagement und in der Fütterungsstrategie können somit die Wirkungen von Hitzestress mindern.

2 Anzeichen und Auswirkungen des Hitzestress

Der genetische Fortschritt sowie neue Haltungs- und Fütterungstechnologien in der Milchrindhaltung ermöglichten in den vergangenen Jahren einen rasanten Anstieg der Milchleistungen auf über 10.000 Kilogramm je Tier und Jahr. Dies erfordert im Leistungspeak eine Synthese von über 50 Kilogramm Milch je Tier und Tag. Energetisch betrachtet ist für diese Tagesleistung ein Input von mehr als 300 Megajoule (MJ) umsetzbare Energie erforderlich. Mehr als ein Drittel der aufgenommenen Energie mit dem Futter wird während des Stoffwechsels in Wärme umgewandelt, die von der Kuh an die Umgebung abgeführt werden muss (Abbildung 1).

Hohe Temperaturen belasten vor allem Hochleistungskühe, da diese notwendigerweise einen sehr intensiven Stoffwechsel aufweisen (Abbildung 1). Mit steigender Leistung der Kühe wird die Wärmeregulation in Milchrinderställen somit auch immer wichtiger.

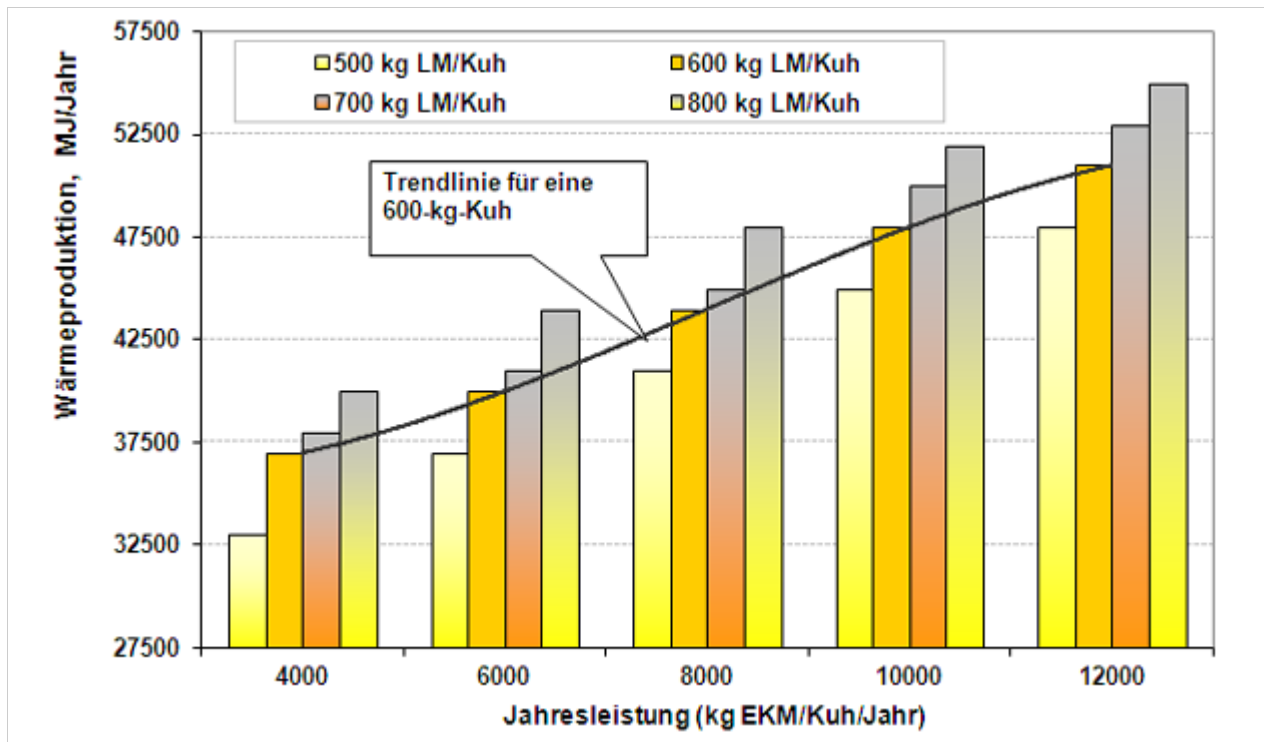


Abbildung 1: Wärmeproduktion von Milchkühen (in MJ pro Jahr) in Abhängigkeit von der Jahresleistung (kg EKM pro Kuh und Jahr) und der Lebendmasse der Kühe (kg)

Quelle: (12), eigene Darstellung.

Gleichzeitig ist die Wärmebildung in den verschiedenen Geweben unterschiedlich. Mit steigender Milchleistung nimmt beispielsweise die Wärmebildung in der Leber (steigender Umfang der Glukoneogenese oder der Lipoproteinsynthese) und in der Milchdrüse deutlich zu. Erwähnt sei auch, dass infolge der mikrobiellen Verdauungsvorgänge in den Vormägen, die Temperatur des Panseninhaltes um bis zu zwei Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) über der üblicherweise vorhandenen Rektaltemperatur ($38,5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) liegen kann (15, 16, 21).

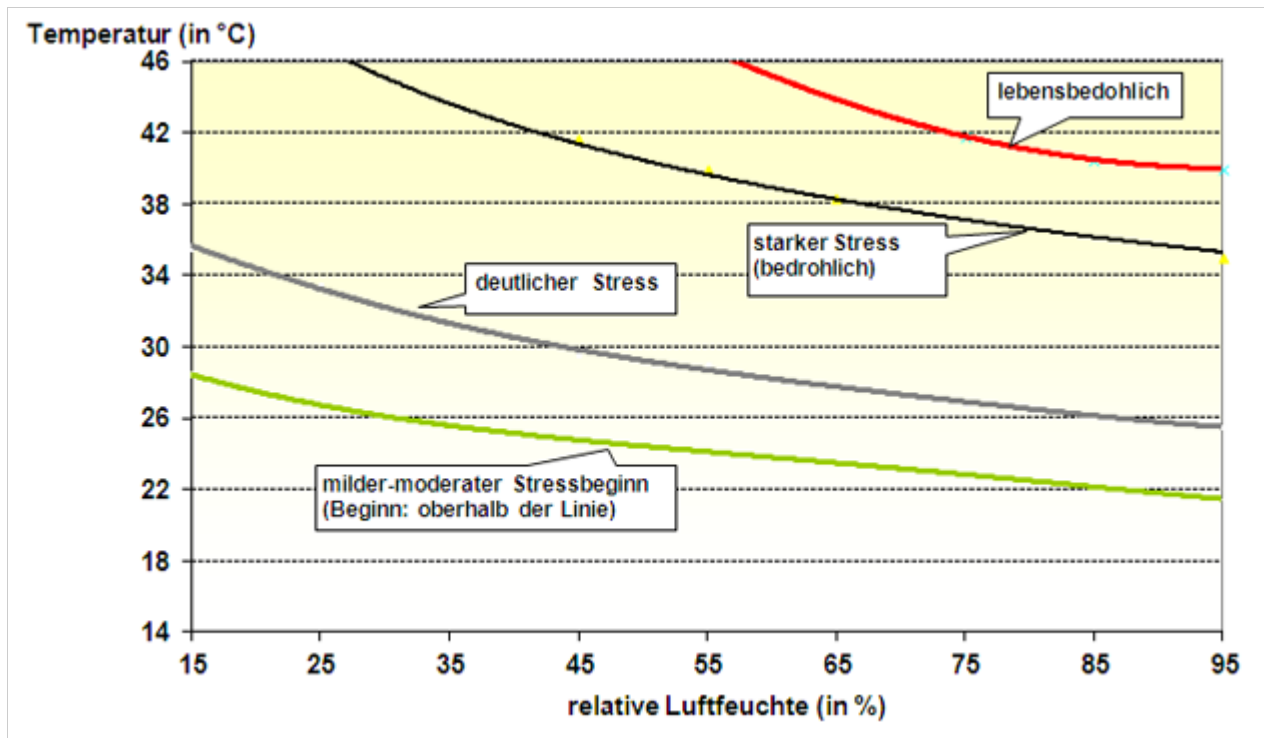


Abbildung 2: Stresscharakteristika; aufbauend auf dem Temperatur-Luftfeuchte-Index (TFI)

Quelle: (30), eigene Darstellung.

Bereits ab einer Umgebungstemperatur (UT) von etwa 24°C und einer relativen Luftfeuchte (RLF) von rund 70 Prozent kann für Milchkühe - mit mittlerer Milchleistung (ungefähr 30 Kilogramm Milch pro Kuh und Tag) – ein beginnender Hitzestress beobachtet werden¹⁾. Gleichzeitig kommt – bei Temperaturen von über 28°C – der RLF und der Luftbewegung (LB) eine besondere Bedeutung zu (Abbildungen 2 und 3).

Die Effekte der Hitzebelastung auf den Organismus hängen jedoch nicht nur von den genannten Faktoren (UT, RLF, LB), sondern darüber hinaus auch von der Dauer der Belastung ab (14). Parallel dazu wird die Sekretion von Thyroxin und weiteren Hormone eingeschränkt (14, 15, 19). Folgen des Hitzestresses sind eine sinkende Futteraufnahme und Milchleistung (Tabelle 1). Zu vermerken ist, dass die reduzierte Futteraufnahme mit einer zeitlichen Verzögerung von etwa zwei Tagen dem Temperaturanstieg folgt (5, 16, 9).

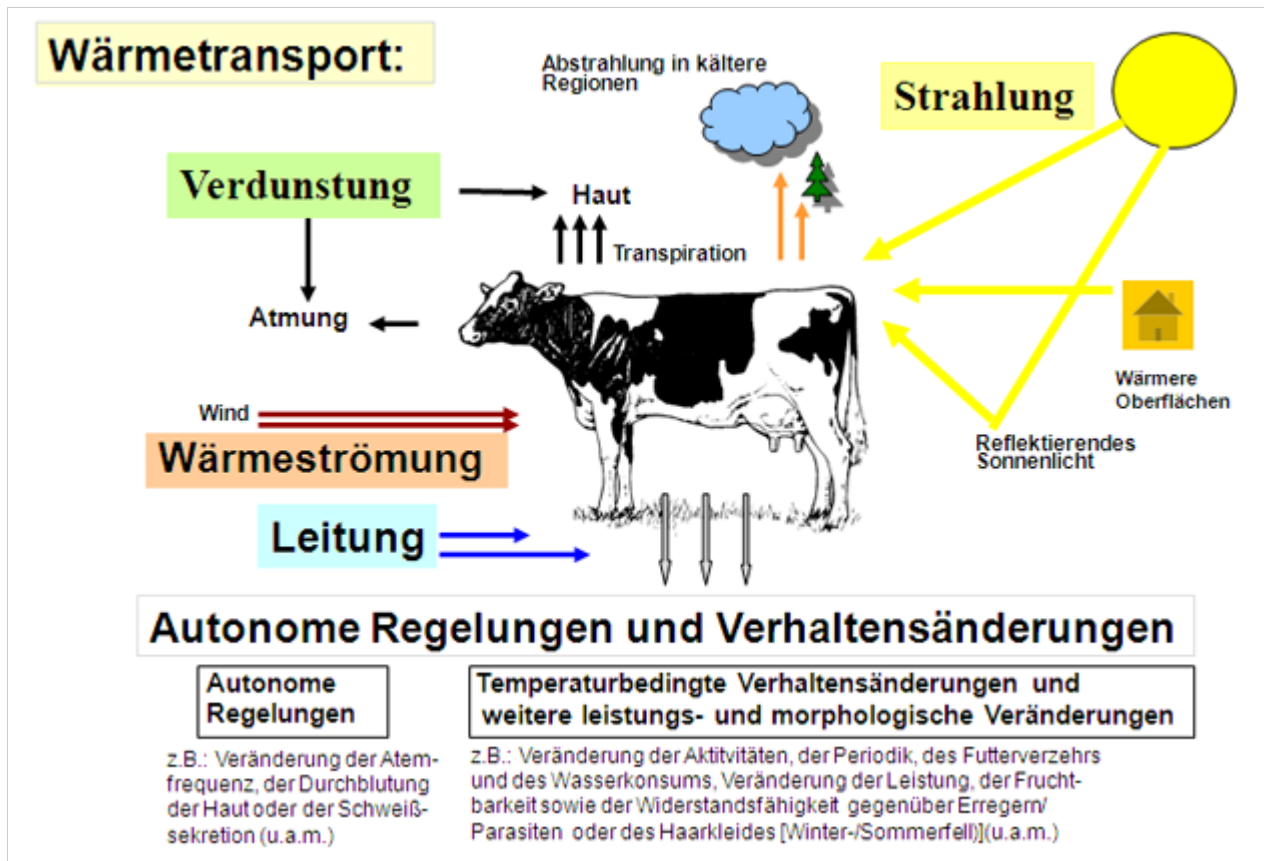


Abbildung 3: Wärmeregulation und temperaturbedingte Verhaltensänderungen

Quelle: eigene Darstellung.

In Bezug auf die Umgebungstemperatur/Luftfeuchte ist die Anpassungsfähigkeit der Tiere überfordert, wenn die physiologischen und ethologischen Mechanismen der Thermoregulation (zum Beispiel Schwitzen oder Reduktion der Futtermittelaufnahme) nicht mehr ausreichen, um eine optimale Körpertemperatur aufrecht zu erhalten (Abbildung 3).

Tabelle 1: Anzeichen von Hitzestress

Anzeichen von Hitzestress	Auswirkungen von Hitzestress
<p>leichter Stress (ab 24°C bis 27°C Umgebungstemperatur):</p> <ul style="list-style-type: none"> • liegende Tiere "pumpen", Atemfrequenz über 80/min*, • Tiere liegen weniger, stehen auf Gängen, bevorzugt an offenen Toren und Tränken und • innere Körpertemperatur steigt über 39°C. 	<p>bei direkter, längerer Sonneneinstrahlung zeigt sich Sonnenbrand zum Beispiel auf Euterhaut und Zitzen</p>
<p>erheblicher Stress (über 27°C Umgebungstemperatur):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiere hecheln mit langem Hals und offenem Maul*, • Tiere schwitzen im Flankenbereich und am Rücken und • Körpertemperatur steigt auf über 39,6°C 	<p>Futteraufnahme** sinkt; die Speichelproduktion steigt; Häufigkeit von Stoffwechsel-erkrankungen steigt</p>
	Milchleistung*** geht zurück
	Immunglobulingehalt im Blut sinkt (verminderte Abwehrbereitschaft)
	Zellzahlen in der Milch steigen an
	Fruchtbarkeit geht zurück (Brunstsymptome weniger stark ausgeprägt, geringere Brunstraten, häufigerer embryonaler Früh Tod)
	auch Tod durch Kreislaufversagen ist möglich

* erhöhte Atemfrequenz ("Hecheln"): etwa 80 bis 120 Atemzüge pro Minute bei mittlerem Hitzestress; rund 120 bis 160 Atemzüge pro Minute bei starker Wärmebelastung; über 160 Atemzüge pro Minute bei schwerem Hitzestress; ** bei 40°C kann die Nahrungsaufnahme um bis zu 40 Prozent sinken; *** die Milchleistung kann bei 35°C bis zu 33 Prozent und bei 40°C bis zu 50 Prozent sinken

Quellen: (11, 15, 18, 19).

Bereits KLEIN (14) zeigte in einem vergleichenden Haltungsveruch von Milchkühen mit/ohne kontinuierlicher

Temperaturbelastung (= "Warmstallgruppe": kontinuierliche Temperaturbelastung: $\geq 28^{\circ}\text{C}$; "Kontrollgruppe": Stalltemperatur möglichst nicht über 18°C – siehe auch Abbildungen 4 und 5):

- die mittlere tägliche Milchmenge der unter einer Temperaturbelastung stehenden Tiere ist während der gesamten Laktationsdauer niedriger als die der Kontrolltiere (Abbildung 4),
- in allen Laktationsabschnitten ist die Futter- oder Energieaufnahme im Kontrollstall höher (Abbildung 4) und
- die Kühe tranken im Warmstall regelmäßig mehr Wasser pro Tag. Bezogen auf die Futteraufnahmemenge betrug der durchschnittliche tägliche Wasserkonsum je Kilogramm aufgenommene Trockensubstanz im Warmstall 5,6 Liter und im Kontrollstall 4,5 Liter.

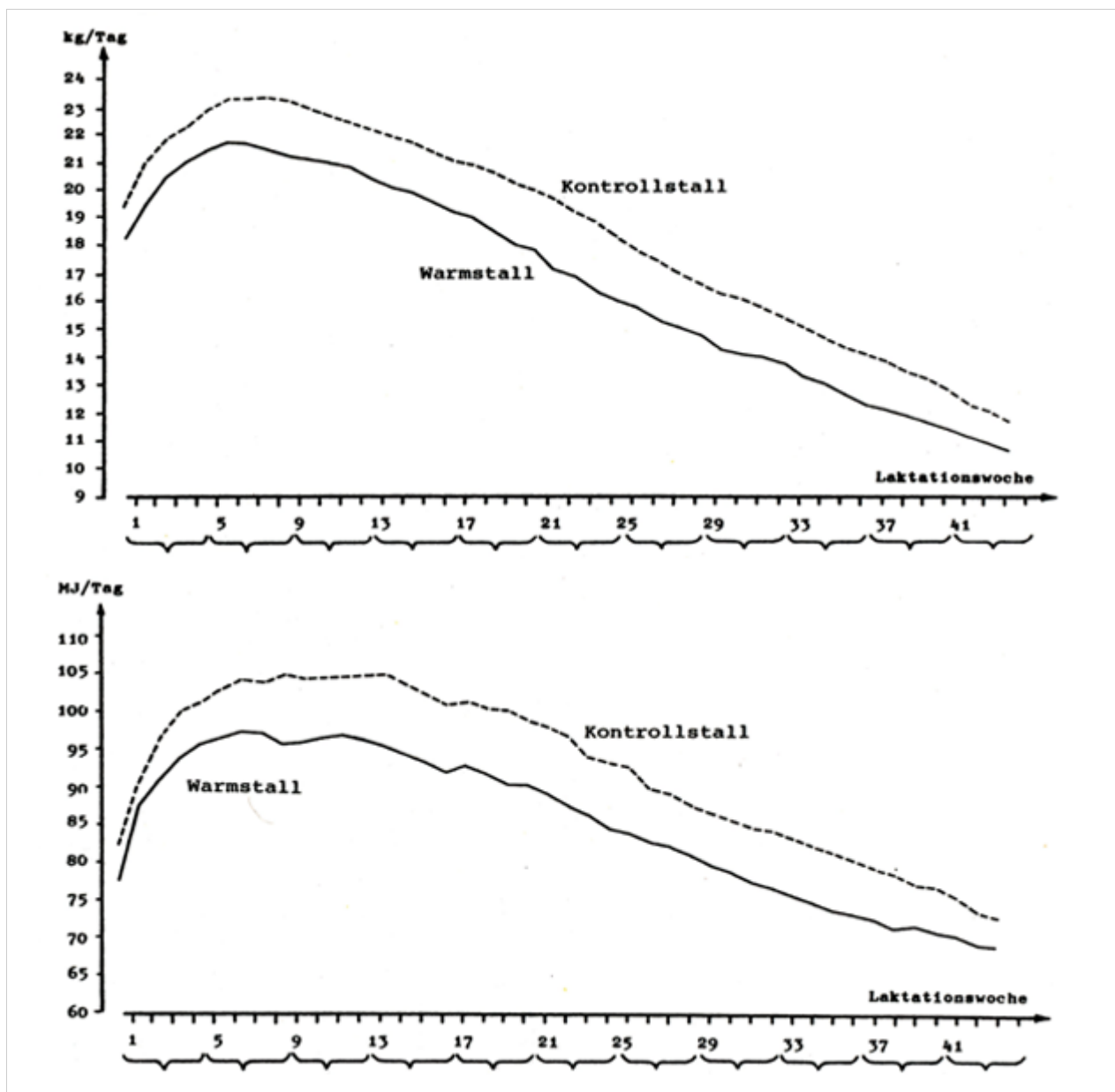


Abbildung 4: Milchleistung (oben) und Futterenergieaufnahme (NEL in MJ/Tag) im Laktationsverlauf; beobachtete Wochenmittelwerte im Haltungsveruch

Quelle: (14)

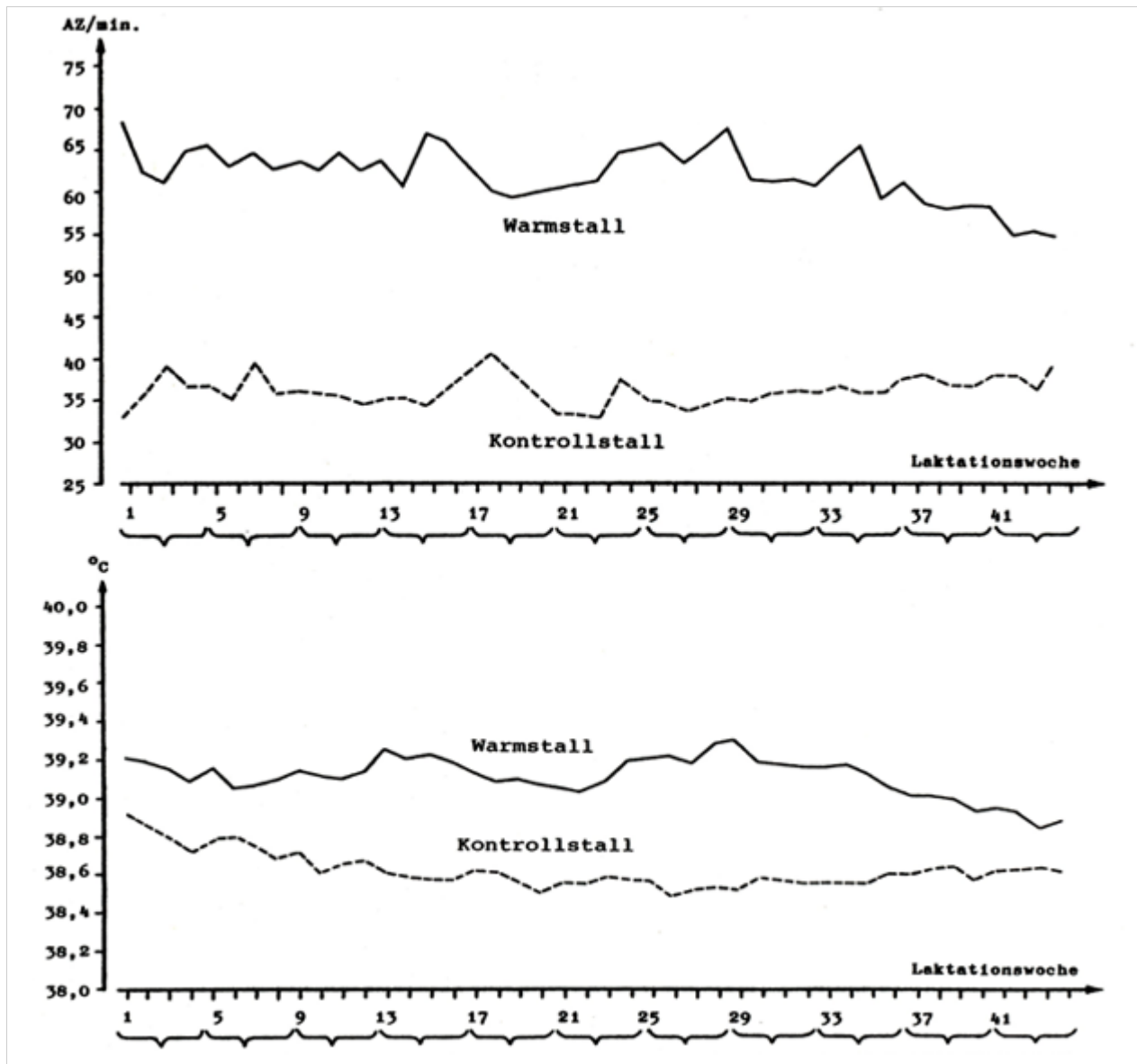


Abbildung 5: Atemfrequenz (oben) und Rektaltemperatur im Laktationsverlauf; beobachtete Wochenmittelwerte im Haltungsveruch

Quelle: (14)

Zur Wärmeabgabe werden tierseitig verschiedene Möglichkeiten genutzt. Die direkte Wärmeabgabe (WA), auch sensible Wärmeabgabe genannt, basiert auf folgenden Mechanismen (Abbildung 3):

- Wärmeleitung (= Konduktion, das heißt Wärmeleitung von der Kuh zu kälteren Körpern zum Beispiel Liegebox),
- Wärmeübergang (= Konvektion, das heißt Wärmeübergang an vorbei strömende Luft),
- Wärmestrahlung (= Radiation).

Die indirekte Wärmeabgabe (WA), auch evaporative oder latente WA genannt, basiert auf der Wasserverdunstung mit der Atemluft oder durch das direkte Schwitzen. Je niedriger die UT, desto höher ist der mögliche Anteil der sensiblen Wärmeabgabe, die an die Umgebung abgegeben werden kann (11, 13). Bei einer Stalltemperatur von 30°C beträgt das Verhältnis von sensibler zu latenter Wärmeabgabe bereits etwa 30:70 (18). Mit zunehmender RLF wird die evaporative WA eingeschränkt. An heißen Sommertagen schwitzt und

veratmet eine Hochleistungskuh bis zu 35 Liter Flüssigkeit. Diese Flüssigkeitsmenge muss notwendigerweise auch aus dem Stall abgeführt werden. Doch genau das ist oft ein Problem, denn häufig ist eine hohe Umgebungstemperatur mit hoher Luftfeuchtigkeit (= schwülwarme Luft) verbunden.

3 Weitere physiologisch-ethologische Reaktion bei Hitzestress

Bei auftretendem Hitzestress infolge hoher TFI-Werte (= Temperatur-Feuchte-Index; engl.: Temperature-Humidity-Index, THI) ²⁾ sind eine Vielzahl physiologischer und ethologischer Reaktionen für Milchrinder beschrieben worden (Abbildung 3). Der Anstieg der Atemfrequenz (AF) ist eine erste physiologische Schutzreaktion des Organismus bei hohen Temperaturen. Bei extremen Wärmebelastungen konnten für die AF-Maximalwerte von 200 Atemzügen pro Minute beobachtet werden (15). Das Angebot von Schatten hat einen deutlich senkenden Einfluss auf die AF (28). Eine hohe RLF behindert wiederum die Evaporation über die Haut; ein erheblicher Anstieg der AF ist die Folge (14, 15, 28, 29).

Als ein sicherer Indikator für eine bestehende Hitzebelastung, die mit den zur Verfügung stehenden physiologischen Mechanismen der Thermoregulation nicht (vollständig) ausgeglichen werden kann, ist der Anstieg der Körperkerntemperatur (KKT) anzusehen. Die Regulation der Körperkerntemperatur bei Rindern zwischen 37,5°C und 39,4°C besitzt in der Hierarchie der körpereigenen Regelsysteme höchste Priorität, so dass in Kompensationsituationen andere Systeme benachteiligt und gestört werden können (9, 16). Periphere Rezeptoren in Haut und Mundschleimhaut sowie zentrale Rezeptoren, vor allem im Hypothalamus und Rückenmark, erfassen Ist-Werte, die im thermoregulatorischen Zentrum des Hypothalamus mit dem Soll-Wert verglichen werden (9, 11). Abweichungen führen zu erhöhter Wärmeabgabe und verminderter Wärmeproduktion bei Hitzebelastung (Abbildung 3). Bei einer UT von (nur) 28°C beobachtete (14) bei Schwarzbunten Rindern eine um 0,5°C erhöhte KKT ein. Bei einer KKT zwischen 40,5°C und 41,7°C kommt es für die meisten Rinderrassen zum völligen Aussetzen der Körperfunktionen; man bezeichnet diese Schwelle auch als Letaltemperatur (1, 16, 28).

Weitere physiologische Parameter die zur Identifizierung einer Hitzebelastung verwendet werden können, zählen unter anderem die Herzfrequenz, Schilddrüsenhormone, Metaboliten des Fettstoffwechsels und eine Reihe chemischer Blutparameter (15, 21, 22, 29). Bei einem hohen TFI sind kürzere Liegezeiten zu beobachten (Abbildung 6). Abweichende Ergebnisse sind wahrscheinlich auf unterschiedliche Mikroklimata zurückzuführen (zum Beispiel Liegeboxengestaltung, Position der Liegeboxen, Milchleistung).

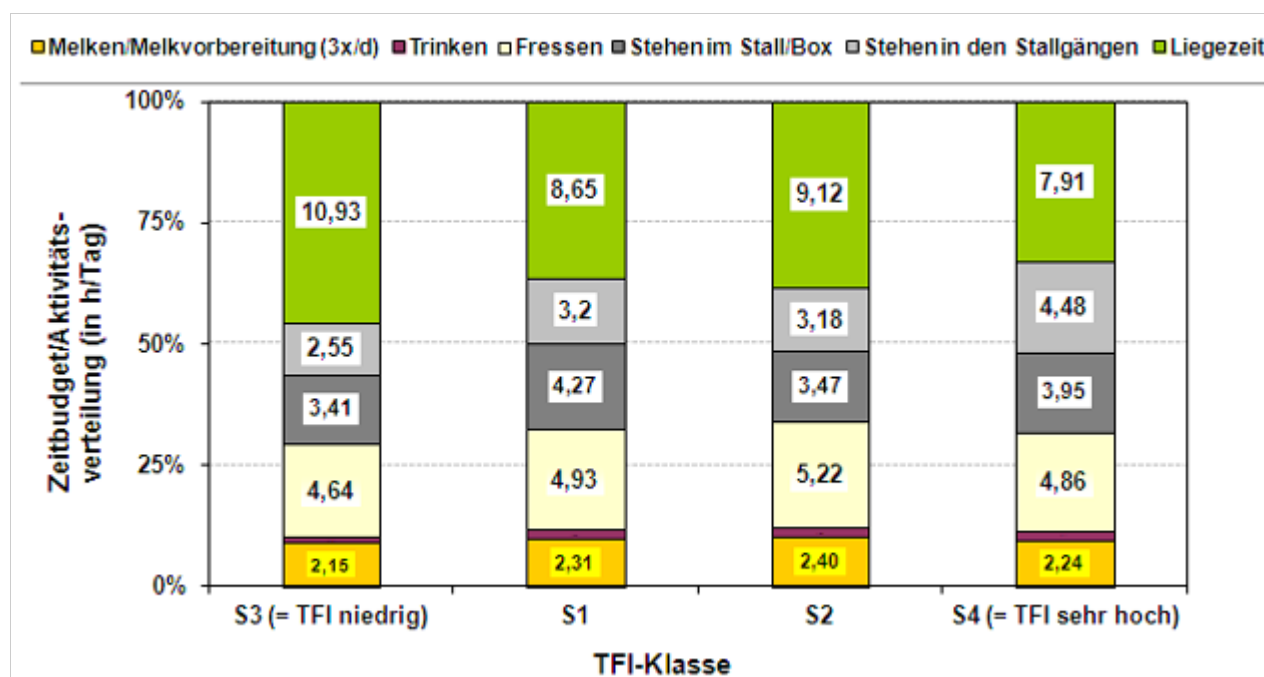


Abbildung 6: Zeitbudget (in Stunden/Tag) für Kühe – angeordnet vom niedrigsten (S3) zum höchsten TFI (S4)
Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an (6)

PARKS listet weitere gesundheitliche Auswirkungen eines Hitzestresses auf (19). Er nennt eine Zunahme der Inzidenz von Milchfieber, Metritis, Gebärmuttervorfällen, Euterinfektionen einschließlich weiterer uteriner Infektionen. Zusätzlich nimmt die Häufigkeit der Hufrehe zu und die Euter-Ödeme werden ausgeprägter.

Hohe TFI-Werte bewirken nicht nur einen Rückgang der Futterraufnahme (Tabelle 1), sondern auch ansteigende Milchharnstoffgehalte. Ursache ist ein vermehrtes Absterben von Pansenmikroben, die bei niedrigen pH-Werten kein optimales Wachstum im Pansen vorfinden. Der aus dem Proteinabbau freigesetzte Ammoniak im Pansen kann nicht mehr optimal verwertet werden. Er muss über die Leber entgiftet werden, so dass wiederum die Harnstoffwerte im Blut und in der Milch steigen.

Als eine weitere, eng mit einer Hitzebelastung verbundene Merkmalsänderung ist – wie fast immer in den Sommermonaten feststellbar – der erhöhte Zellgehalte in der Milch zu nennen (Abbildung 7); korrelierend mit häufigeren Euterinfektionen.

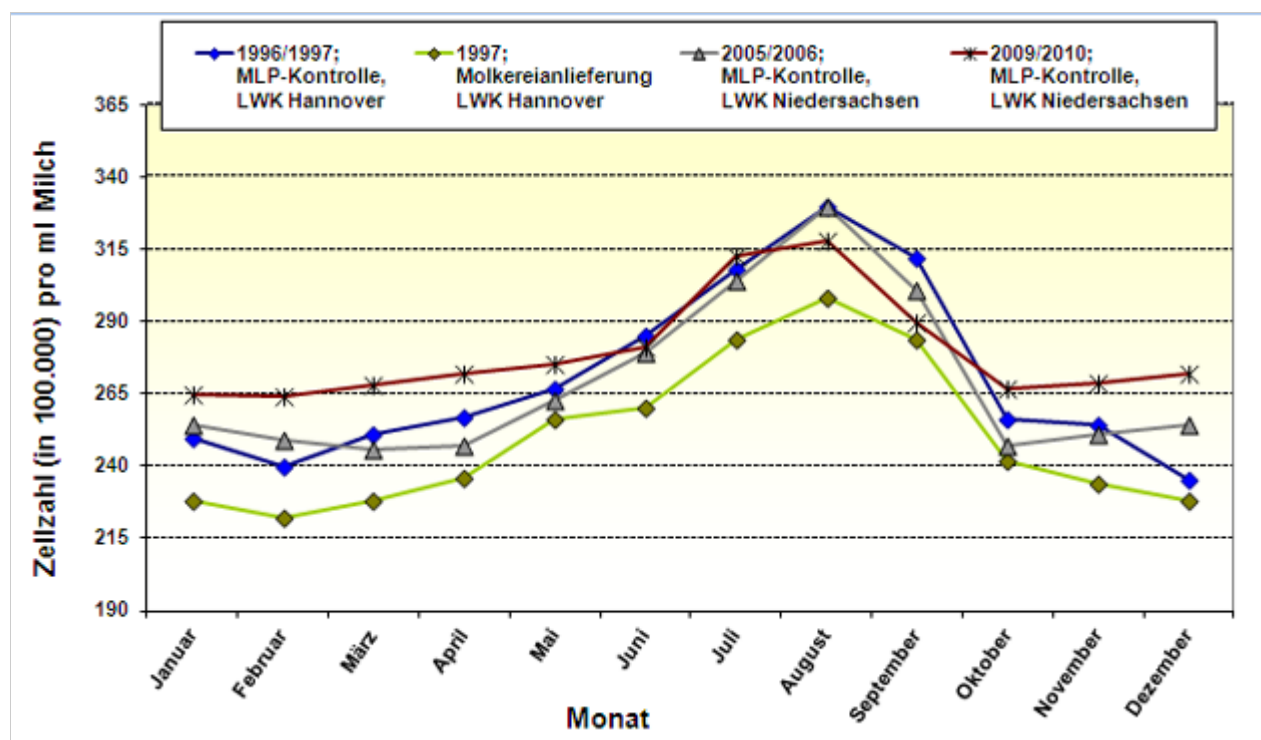


Abbildung 7: Mittlere Zellzahlen in der Milch im Jahresverlauf; Ergebnisse aus Niedersachsen

Quelle: eigene Darstellung

Auch die Fruchtbarkeit der Kühe leidet bei hohen TFI-Werten. So sind die Brunstsymptome weniger stark ausgeprägt und die Brunstdauer ist nicht selten verkürzt. Die Trächtigkeitsraten bleiben in dieser Zeit meist unbefriedigend und es ist mit einem vermehrten Absterben von Embryonen in der Anfangsphase der Trächtigkeit zu rechnen (25, 29). RAVAGNOLO und MISZTAL (20) untersuchten die Non-Return-Rate (NRR nach 45 Tagen) in Abhängigkeit von der Höhe des TFI vor, während und nach der Besamung der Kühe in drei US-Staaten (Georgia, Tennessee und Florida). Ein hoher TFI unmittelbar am Tag der Besamung hatte den größten depressiven Effekt auf den Besamungserfolg; gefolgt von der Höhe des TFI 2 oder 5 Tage vor der Besamung. Keine Beziehung wurde demgegenüber zwischen den TFI-Werten und der NRR für den Zeitraum 10, 20 oder 30 Tage nach der Insemination gefunden. Zusätzlich bestätigte sich in dieser Untersuchung die zusätzliche Abhängigkeit des Besamungserfolges von der Höhe der Milchleistung der Kühe (höherer Besamungserfolg bei den weniger leistenden Tieren).

In der Praxis beobachtet man immer wieder, dass es Wochen dauert, bis sich die Fruchtbarkeitslage einer Herde nach einer längeren Hitzeperiode wieder normalisiert (28). In der bereits erwähnten Arbeit von KLEIN (1984) zeigten sich folgende Fruchtbarkeitskennwerte unter permanenter Temperaturbelastung (Tabelle 2).

Tabelle 2: Mittelwerte (x) und Standardabweichungen (s) für einige Fruchtbarkeitsmerkmale

Merkmal / Kenngröße (alle Angaben in Tagen)	Warmstall		Kontrollstall	
	x	s	x	s
Rastzeit	87,4	26,2	75,2	22,9
Zwischentragezeit (Güstzeit)	159,7	62,8	133,5	44,3
Zwischenkalbezeit (ZKZ)	437,9	62,6	413,9	45,9

Quelle: (14)

Zusätzlich konnten in den Versuchen von DIKMEN (7) und KLEIN (14) große Unterschiede in den Reaktionsmustern der Tiere auf eine Wärmebelastung beobachtet werden. Sie erschweren einerseits allgemein gültige Aussagen über das Adaptationsvermögen. Andererseits bietet die große Variation die Chance, gezielt geeignete Zuchttiere für Standorte mit hohen Umwelttemperaturen auszuwählen.

Hitzestress von hochträchtigen Kühen in der Trockenstehperiode

Die Hochträchtigkeit ist eine besonders kritische Periode bezüglich des Übergangs der Kuh von der Trockenstehphase in die nächste Laktation; aber auch für das im Mutterleib vorhandene Kalb (Fötus). Bei Milchrindern beträgt beispielsweise die Gewichtszunahme des Kalbes im Mutterleib – allein in den letzten beiden Trächtigkeitsmonaten – etwa 60 Prozent des späteren Geburtsgewichtes. Der Effekt eines Hitzestresses in der Hochträchtigkeits- und späten Trockenstehphase auf die Milchleistung ist nachfolgend aufgezeigt (Abbildung 8).

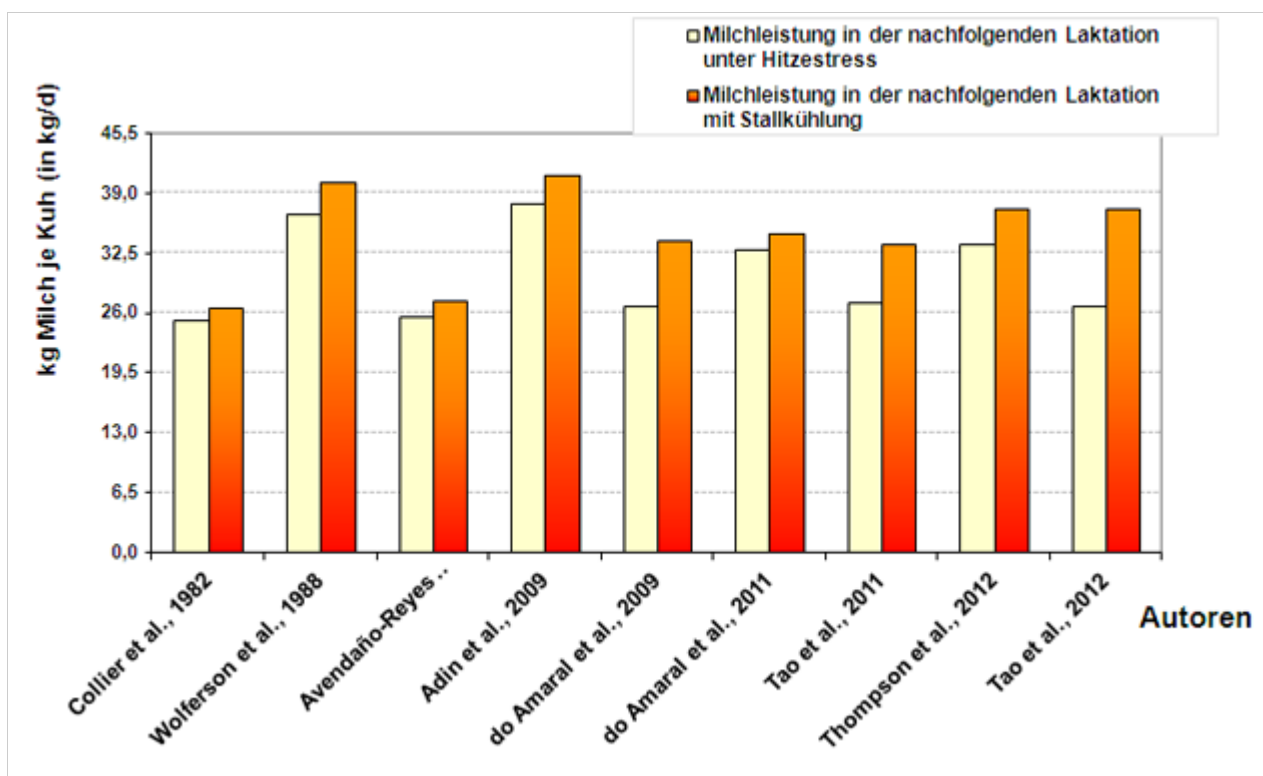


Abbildung 8: Effekte eines Hitzestresses in der Trockenstehperiode auf die Milchleistung in der nachfolgenden Laktation

Quelle: (25), eigene Darstellung

Ein maternaler Hitzestress während der Hochträchtigkeitsphase beeinflusst jedoch nicht nur die nachfolgende Laktationsleistung sondern auch den Fötus (Tabelle 3).

Tabelle 3: Effekte eines Hitzestresses (HS) in der späten Trächtigkeitsphase auf die Länge der Trächtigkeit und auf das Geburtsgewicht der Kälber

Trächtigkeitlänge (Tage)		Geburtsgewicht des Kalbes (Kilogramm)		Differenz (Prozent)	Literaturquelle*
HS	Kontr.	HS	Kontr.		
n.e.	n.e.	40,6	43,2	8	Wolfenson et al., 1988
n.e.	n.e.	33,7	37,9	11	Avendaño-Reyes et al., 2006
274	278	40,8	43,6	6	Adino et al., 2009
n.e.	n.e.	31,0	44,0	30	do Amaral et al., 2009
n.e.	n.e.	39,5	44,5	11	do Amaral et al., 2009
274	277	41,6	46,5	11	Tao et al., 2011
272	276	36,5	42,5	14	Tao et al., 2012

*nach einer Zusammenstellung von (25); HS: hochträchtige Kühe unter Hitzestress, Kontr. = Kontrollgruppe; n.e. = nicht erfasst oder keine Angaben

Quelle: (11)

Eine maternale Hyperthermie in der späten Trächtigkeitsphase beeinflusst zusätzlich auch die Entwicklung der primären lymphoiden Organausbildung beim Kalb im Mutterleib (zum Beispiel bei Hitzestress ein geringeres Gewicht der Thymusdrüse).

4 Strategien gegen Hitzestress

Ein breites Spektrum an managementbedingten und technischen Lösungen können die Auswirkungen von feuchtheißen Tagen mildern. Möglichkeiten zur Minderung von Hitzestress sind:

- Management,
- Haltung (einschließlich Stallbau),
- Fütterung und
- Züchtung.

Die LB hat in Kombination mit der Umgebungstemperatur und der RLF einen entscheidenden Einfluss darauf, wie gut die Tiere bei Hitze Wärme abgeben können. Das Optimum der Luftgeschwindigkeit hängt wiederum von der Lufttemperatur ab. Bei gleicher Lufttemperatur ist die Abkühlung umso stärker, je größer die Luftgeschwindigkeit ist (Tabelle 4).

4.1 Managementbedingte Strategien

Die ausreichende Energie- und Proteinversorgung in der Phase der Laktationsspitze ist ein Kernproblem in der modernen Milcherzeugung. Bekanntlich wird die höchste Futtermittelaufnahme erst viel später als die höchste Tagesleistung erreicht. Somit stellen die ersten acht bis zwölf Wochen der Laktation eine besondere Belastung für Hochleistungskühe dar (2). Reduzierte Futtermittelnahmen verstärken, speziell bei hoch leistenden Milchkühen unter Hitzestress, die gesundheitlichen Gefahren.

Eine einfache Vorgehensweise zur Verbeugung von Hitzedepressionen ist, vor allem in (älteren) Haltungssystemen mit geringer technischer Ausstattung zur Luftkühlung, die systematische Etablierung einer Abkalbe-/Besamungspause. Ziel sollte es sein, das Abkalben der Kühe im Zeitraum von etwa 10. Mai bis 15. August innerhalb eines Jahres zu vermeiden. Der Wunsch nach kontinuierlicher Milchlieferung vor allem seitens der Molkereien – einschließlich der Etablierung entsprechender Bezahlungssysteme – führte in jüngerer Vergangenheit zur Abkehr von diesem Managementsystem; obwohl es aus der Blickrichtung der nachlassenden Eutergesundheit, Milchqualität und Fruchtbarkeit in der Sommerperiode weitere Vorzüge besitzt.

4.2 Bauliche und technische Möglichkeiten

Für Tiere im Freien ist die Gewährleistung von Schatten (Bäume/schattenspendende Bepflanzung oder in Form bautechnischer Lösungen) eine der einfachsten und kostengünstigsten Methoden, um einen Schutz vor Sonnenstrahlung zu schaffen (21). Bäume/Bepflanzungen kombinieren die natürliche Beschattung mit der Schaffung eines wohltuenden Mikroklima (Wasserverdunstung). Ist eine Beschattung der Tiere auf der Weide nicht gegeben, sollten die Tiere an heißen Tagen tagsüber im Stall gehalten werden. Erst in den kühleren Abendstunden/Nachts sollten die Kühe Zugang zur Weide erhalten.

4.2.1 Stallbau

Prinzipiell unterscheiden sich die Stalllüftungssysteme hinsichtlich zweier Grundprinzipien:

- freie Lüftung (= thermische Lüftung in Form einer Windlüftung oder Schwerkraftlüftung) und
- Zwangslüftung (= mechanische Lüftung in Form der Überdruck-, Gleichdruck oder Unterdrucklüftung).

Um die produzierte Wärme von Hochleistungskühen auch bei hohen Außentemperaturen abführen zu können, sollten ausreichende Sommerluftvolumenströme im Stall angestrebt werden. Dabei gilt die Regel: für hoch leistende Kühe ist eine Mindestluftfrate von über 550 m³ je Kuh und Stunde erforderlich (Tabelle 4).

Tabelle 4: Notwendige Luftfraten für Hochleistungskühe (30°C)

Leistungsgruppe	Luftfrate in m ³ pro Stunde			
	Mittelwert	1. Laktationsdrittel	2. Laktationsdrittel	3. Laktationsdrittel
10.000 Kilogramm	477	569	473	412
12.000 Kilogramm	521	632	517	439

Quelle: CIGR, 1984 zit. in (11)

Zu den Wärmeeinträgen durch das Tier kommt in den Ställen ein zusätzlicher Eintrag zum Beispiel durch ungedämmte Dächer hinzu. Bei voller Sonneneinstrahlung sind Dachtemperaturen über 60°C leicht möglich. Bei

einer Dachfläche von rund 10 m² pro Kuh, ist mit einem daraus resultierenden, zusätzlichen Wärmeeintrag bis 900 Watt pro Kuh zu rechnen (18). Diesen negativen Effekt gilt es, vor allem bei ungedämmten und/oder dunklen Dächern, durch höhere Lüfraten auszugleichen (Tabelle 5).

Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um 0,5 Meter pro Sekunde bewirkt bei einer Umgebungstemperatur von 27°C und einer Luftgeschwindigkeit von 1,25 Meter pro Sekunde einen Kühleffekt von über 3°C (Tabelle 5). Sinkt die Windgeschwindigkeit unter einen Meter pro Sekunde – bei hohen Umgebungstemperaturen – kann auch bei sonst optimaler baulicher Gestaltung des Stalls kein ausreichender Luftwechsel gewährleistet werden (18). Als besonders kritisch gelten hier die Bereiche Vorwarte Hof und Melkstand, gefolgt von Fress- und Liegebereich.

Ist-Temperatur (°C)	Relative Luftfeuchte (%)	Temperaturwahrnehmung bei einer Luftgeschwindigkeit von (m/s)					
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
35,0	50	35	32,2	26,6	24,4	23,3	22,2
29,5	50	29,5	26,6	24,4	22,8	21,1	20,0

Tabelle 5: Abkühlungswirkung der Luftströmung ("Chill-Effekt")

Quelle: (11)

Werden Luftwechselraten mittels Ventilatoren gesteigert, ist es zum Erzeugen optimaler Kühlergebnisse wichtig, eine gleichmäßige Luftströmung im Bereich der Rinder zu schaffen. So wird ein "Saunaeffekt" vermieden. Besonders beim liegenden Tier sollte der "Saunaeffekt" durch eine gleichmäßige Luftbewegung verhindert werden. Standard für viele Neubauten ist mittlerweile der völlige Verzicht auf geschlossene Außenwände und der Einbau von Windschutznetzen, Curtains oder Jalousien zur Optimierung der Zu- und Abluftführung (Abbildungen 9 und 10).



Abbildung 9: Standard für viele Neubauten ist der Verzicht auf geschlossene Außenwände.

Quelle: W. Brade

Bereits bei der Standortwahl sollten die standortbedingten oder geografischen Bedingungen optimale Berücksichtigung finden, wie eine Anordnung des Stalles quer zur Hauptwindrichtung (3, 24).



Abbildung 10: Auch im Melkstand ist für eine optimale Luftströmung zu sorgen; hier: Fischgrätenmelkstand in einer großen Milchkuhfarm in Kalifornien.

Quelle: W. Brade

Grundsätzlich ist bei Umluftventilatoren zwischen Deckenventilatoren und Standard-Axial-Ventilatoren zu unterscheiden (24). Deckenventilatoren fördern die Luft zum Beispiel senkrecht nach oben gegen die Stalldecke. Der Einwirkungsbereich am Boden ist relativ klein und liegt "kreisrund" unterhalb des Ventilators. Axialventilatoren werden in der Regel so aufgehängt, dass sie die Luft waagrecht in den Raum bringen (3, 24). Ein leichtes Anwinkeln ermöglicht ein gezieltes Überblasen der Bodenfläche. Der Einwirkungsbereich am Boden ist ausgehend vom Ventilator "trichter-" oder besser "keulenförmig" (3). Kleine Ventilatoren mit hoher Drehzahl haben in der Regel eine große Wurfweite (bis über 20 Meter) während große Ventilatoren mit niedriger Flügelradzahl demgegenüber häufig nur geringe Wurfweiten (12 bis 15 Meter) aufweisen (3, 24). Soll die Luft gleichmäßig im Raum verteilt werden, ergeben sich aus den Wurfweiten die Abstände zwischen den Ventilatoren (Abbildung 11).

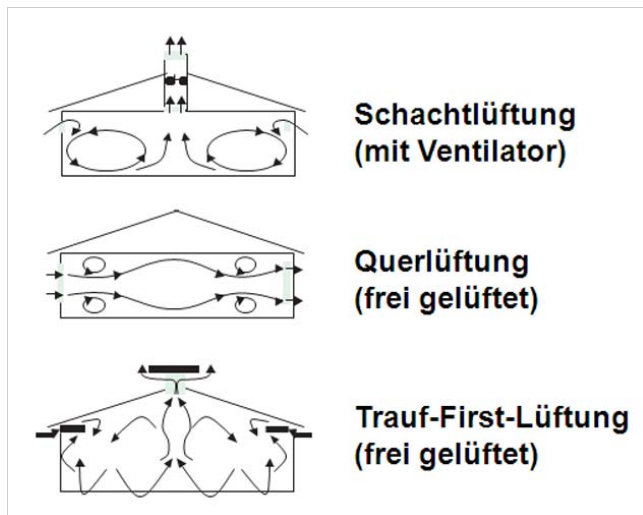


Abbildung 11: Funktionsprinzip verschiedener Stalllüftungen

Quelle: in Anlehnung an (3) sowie (10)

Eine Sofortmaßnahme – speziell in Altbauten bei auftretendem Hitzestress – ist, zwecks Nutzung der natürlichen Luftbewegungen im Stall, das Aushängen der Fenster sowie Öffnen aller Tore (10, 11, 18, 24). Als weiterhin vorteilhaft sind zu nennen:

- Sicherstellung einer guten Reflexion; vor allem der Oberflächen des Stalles (Bsp.: weiß verzinktes Dach),
- breiter Dachüberstand zur Beschattung der

Außenwände,

- Klappläden mit Lamellenstruktur auf der besonnten Seite an den Fenstern,
- schattenspendende Bepflanzung,
- Stallbau mit wärmespeichernden Materialien und
- Möglichkeit der Befeuchtung der Dachoberfläche zum Beispiel mit Sprühschläuchen.

Im Sommer ist eine Luftwechselrate von 60- bis 100-mal pro Stunde empfehlenswert (24). Oft stößt hier zum Beispiel die häufig empfohlene Trauf-Firstlüftung an ihre Grenzen (3, 10, 11). Der Luftaustausch kann mit der Rauchkerze getestet werden: Bewegt sich der Rauch weniger als ein Meter pro Sekunde, so ist ein kaum genügender Luftwechsel vorhanden (24). Beim Einbau von Großraumventilatoren empfiehlt sich unter anderem Folgendes zu beachten (vgl. 3, 11, 24):

- Die Luftströmung sollte die natürliche Hauptwindrichtung unterstützen eine gleichmäßige Luftströmung im Liegebereich der Tiere sicherstellen (= keine Zugluft).
- Der Ventilator sollte möglichst "kühle" frische Luft ansaugen (= Nordseite).
- Der Einbau sollte maximal zwei bis vier Meter von der offenen Wand entfernt oder direkt in die geschlossene Wand erfolgen.
- Wenn möglich sollte die Unterkante der Lüfter 2,50 Meter über den Tieren sein.
- Der Neigungswinkel des Ventilators nach vorne soll 10 bis 15 Grad sein.
- Der Ventilatorabstand zum nächsten Ventilator in Längsrichtung wird durch die Wurfleistung bestimmt.
- Der Luftaustritt auf der Gegenseite muss offengehalten sein (kein Gegendruck); gleichmäßige

Luftströmung im Liegebereich der Tiere einhalten.

4.2.2 Sprinkler- oder Verneblungsanlagen

Mittels Sprinkleranlagen (Duschen) können Milchkühe auch direkt – durch die Verdunstungskälte auf der Haut – gekühlt werden. Derartige Duschesysteme sind leicht selbst herzustellen (zum Beispiel Rasensprenger oder Beregnungsschläuche mit Zeitschaltuhren). Wichtig dabei ist, dass die Tiere nur am Rücken befeuchtet werden sollten. Ein Feuchtwerden beispielsweise des Futters oder des Liegebereiches ist unbedingt zu vermeiden. Um Rangkämpfe der Tiere an der Dusche zu vermeiden, sind immer mehrere Duschplätze einzurichten.

Einen deutlichen Effekt bezüglich der Futteraufnahme bringt eine gezielte Wasserkühlung nach dem Melken und damit vor dem Fressen (18, 24). Das Prinzip der "Fogging-Systeme" ("Verneblung") besteht darin, dass das Wasser feintröpfig in der Umgebungsluft versprüht wird. Die Energie, die das Wasser zum Verdunsten benötigt, entzieht es der Luft, mit dem Effekt, dass eine Abkühlung der Umgebungstemperatur eintritt; gleichzeitig steigt aber die relative Luftfeuchte. Dieses System wird seit Jahren in Israel und im arabischen Raum genutzt (hohe Umgebungstemperatur mit niedriger RLF).

4.3 Fütterung

Mit zunehmender Umgebungstemperatur sinkt die Futteraufnahme, was sich bei länger andauernder Hitzebelastung deutlich negativ auf die produzierte Milchmenge auswirkt. Insbesondere die Grundfutteraufnahme geht zurück (14, 15, 22, 28, 29). Da das angebotene Kraftfutter bevorzugt gefressen wird, nimmt die Strukturwirksamkeit der Ration ab. Da auch weniger wiedergekaut wird, sinkt gleichzeitig die Speichelproduktion. Ein Abfall des pH-Werts im Pansen ist die Folge. Erkennbar wird dies meist auch an einem deutlichen Absinken des Fettgehaltes in der Milch. Auch wenn die Milchleistung absinkt, darf die Kraftfuttermenge nicht erhöht werden, da ansonsten die Gefahr einer Pansenübersäuerung (Azidose) deutlich zunimmt (15).

Wichtig ist es vielmehr, den (Grund-)Futterverzehr hoch zu halten, um eine ausreichende Rohfaserversorgung sicher zu stellen und so den pH-Wert des Pansens einigermaßen stabil zu halten. Höhere Getreideanteile in der Ration sind in Hitzephasen eher nachteilig, da sie den pH-Wert im Pansen weiter absenken. Um die Energieversorgung der Hochleistungskühe in Hitzeperioden zu stabilisieren, kann die Zulage von pansengeschützten Fetten sinnvoll sein (17). Auch der Zusatz von Lebendhefen kann die ruminalen Bedingungen verbessern helfen und die Verdaulichkeit der Ration erhöhen (8).

Die verstärkte Wärmeabgabe durch Atmung ("Keuchen") kann zu einer respiratorischen Alkalose führen. Zusätzlich verlieren hitzebeanspruchte Milchrinder eine große Menge an Mineralstoffen über die Schweißbildung. Der einsetzende erhöhte Mineralstoffverlust wird gleichzeitig – infolge einer reduzierten Gesamt-Futteraufnahme – zusätzlich verstärkt. Bei erhöhter kutaner Wasserabgabe infolge hoher Temperaturen werden somit generell Mineralstoffe – besonders K, Na, Ca, Mg und Cl – verstärkt ausgeschieden. Rinder, die hohen Temperaturen ausgesetzt waren, haben somit eine geringere Na- und K-Konzentration im Pansensaft. Negative Auswirkungen auf das Immunsystem sind eine zusätzliche Folge. Zum Ausgleich sollte die Mineralfuttermenge um etwa 20 Prozent erhöht werden, zusätzlich sollten etwa 30 Gramm Viehsalz pro Kuh und Tag angeboten werden.

Wasserversorgung

Der Wasserbedarf steigt bei hohen Leistungen und speziell bei warmer Witterung deutlich an. Hochleistungstiere in Außenklimaställen können im Sommer sogar über 150 Liter Wasser pro Tag saufen. Verschmutzte Tränken bilden gerade bei höheren Umgebungstemperaturen optimale Wachstumsbedingungen für Keime und Mikroorganismen, reduzieren die Wasseraufnahme und damit auch die Leistung. Sie sind notwendigerweise regelmäßig zu reinigen.

Fütterungsmanagement optimieren

Um die Futteraufnahme bei den Kühen hoch zu halten, sollte, speziell an warmen Tagen, das Grundfutter (oder die TMR) zweimal täglich verabreicht werden. Ist dies nicht möglich, sollte die Grundfütterration immer erst abends – frisch gemischt – vorgelegt werden. Eine mehrtägige Lagerung beispielsweise von Siloblöcken auf dem Futtertisch ist zu vermeiden. Da auch die Futterreste bei höheren Temperaturen schnell verderben, sollten diese vor dem Füttern stets vollständig entfernt werden. Wichtig ist auch ein ausreichender Vorschub bereits bei der

Silageentnahme im Silo, um eine Nacherwärmungen und die Bildung von "Gärschädlingen" (Hefen, Schimmelpilze) frühzeitig zu vermeiden (Abbildung 12).



Abbildung 12: Zur Vermeidung von Fehl-/Nachgärungen ist ein ausreichender Vorschub bei jeder Silageentnahme sicherzustellen
Quelle: W. Brade

Leider wird der im Sommer gewünschte Entnahmevorschub von mindestens zwei Meter pro Woche vor allem dann nicht erreicht, wenn die Silos zu hoch und zu breit angelegt sind. In diesem Fall ist es sinnvoll, einen kleineren und dafür etwas längeren

"Sommersilo" anzulegen. Alternativ kann es unter extremen Witterungsbedingungen auch sinnvoll sein, die fertige Mischration mit etwa drei Kilogramm Propionsäure je Tonne Futter systematisch zu stabilisieren.

4.4 Nutzung der genetischen Variabilität innerhalb und zwischen den Rassen

Eine gezielte genetische Selektion auf größere Hitzetoleranz der verwendeten Zuchttiere ist eine weitere Strategie zur Eindämmung möglicher Auswirkungen von Hitzestress bei Milchkühen. Die wiederholt beobachtete große Variation hoch leistender Kühe bezüglich ihrer Reaktionen auf eine Wärmebelastung bietet die Chance zur Auswahl von Zuchttieren für Standorte mit hohen Umwelttemperaturen (14, 28). Auch existieren deutliche Rassenunterschiede. So findet man zwischen taurinen und zebuiden Rindern regelmäßige Unterschiede hinsichtlich der anatomischen Beschaffenheit der Haut sowie der Anzahl und der Effektivität der Schweißdrüsen (23, 28).

Zebuide Rinder haben eine größere Anzahl von Schweißdrüsen pro Flächeneinheit. Auch sind diese hier dichter unter der Hautoberfläche angeordnet als bei taurinen Tieren. Außerdem besitzen die Schweißdrüsen der Zebus eine größere Speicherkapazität; vergleichsweise gegenüber den Drüsen tauriner Rinder. Zusätzlich gibt es deutliche Rassenunterschiede in der Fellbeschaffenheit. Bei den zebuiden Rassen findet man vorzugsweise ein feines kurzes Haarkleid, das die Verdunstung des abgegebenen Schweißes von der Hautoberfläche begünstigt, während für die taurinen Rinder ein längeres, dichteres Haarkleid charakteristisch ist.

OLSON et al. erbrachten den Nachweis, dass eine dominante Genvariante bei bestimmten Rassen spanischer Herkunft (Criollo) existiert und glatte Haare determiniert (23). Tiere mit diesem Gen hatten niedrigere rektale Temperaturen (RT) bei Hitzebelastung. Auch konnte ein positiver Effekt glatter Haare auf die Milchleistung unter trockenen, tropischen Bedingungen gezeigt werden. DIKMEN et al. quantifizierten die genetische Variabilität der Rektaltemperatur (RT) von Holstein-Kühen (7). Sie errechneten eine Erblichkeit der RT von $h^2 = 0,17$. Die RT während eines Hitzestress hat somit eine moderate Erblichkeit, die züchterisch genutzt werden kann. Interessant sind die in dieser Arbeit ermittelten genetisch positiven Beziehungen zwischen der Höhe der RT und der Milchleistung sowie Länge des "produktives Leben". Die positiven genetischen Beziehungen lassen die Schlussfolgerung berechtigt erscheinen: eine Fortsetzung der bislang üblichen konsequenten Auswahl der Kühe nach immer höherer Milchleistung (und damit indirekt verbesserter Futteraufnahme) lässt Tiere erwarten, die leider auch immer weniger Hitze tolerant sind.

Bei Nichtänderung dieser Züchtungspraxis ist – vor dem Hintergrund der globalen Erwärmung – zu erwarten, dass die Auswirkungen eines Hitzestresses, speziell bei den hoch leistenden Holstein-Rindern, zukünftig noch größer werden. Die Züchtung bleibt deshalb gefordert, diese jetzt erstmalig beschriebenen Zusammenhänge weiter zu verfolgen und Strategien zu erarbeiten, damit künftige Milchkuhgenerationen nicht immer Hitze empfindlicher werden.

5 Diskussion

Der stattfindende Klimawandel wird den gesamten Landbau künftig nachhaltig beeinflussen. Einerseits werden die Landwirte weltweit zur Abmilderung des Klimawandels beizutragen haben; andererseits werden sie durch die

Erderwärmung vor allem um ihre Erträge und ausreichende Wasserversorgung bangen müssen (2).

Seriöse Berechnungen gehen von einer weltweiten Temperaturerhöhung zwischen 1,6 bis 3,8 °C innerhalb der nächsten Jahrzehnte aus (27). Gleichzeitig werden Dürreperioden ebenso zunehmen wie Starkniederschläge. Der Klimawandel wird sich jedoch nicht nur auf den Pflanzenbau sondern auch auf die Tierhaltung (Leistung, Gesundheit) auswirken. Aus der Blickrichtung der künftigen Milcherzeugung lässt der Klimawandel Folgendes erwarten:

1. deutliche Zunahme abiotischer Stressoren für die Milchkühe (zum Beispiel Zunahme von Hitzeperioden mit hoher Luftfeuchte oder wechselnde Futterqualitäten) und
2. weitere Zunahme biotischer Stressoren (zum Beispiel Auftreten neuer Erreger [Blauzungenkrankheit]; schnelleres Wachstum von Mikroorganismen bei höherer Umgebungstemperatur, die vor allem die Milchdrüse schädigen können [Streptokokken, Staphylokokken]).

Hitzestress wirkt sich negativ auf die Leistung und Gesundheit der Tiere aus. Wenn die genetische Selektion auf weitere Steigerung der Milchleistung in bisherigem Umfang weiter geht, nimmt leider auch die Anfälligkeit der Kuh auf Hitzestress zu. Gewöhnlich ist der Tierhalter mit allgemeinen Maßnahmen zur Linderung des Hitzestresses gut vertraut.

Ein weit verbreitetes technisches Hilfsmittel zur Erhöhung der Luftwechselraten sind Ventilatoren im Stall (3, 10, 11, 24). Auf dem Markt sind eine Vielzahl von Herstellern und Fabrikaten. Neben den bekannten Umluftventilatoren (Durchmesser bis 1,5 Meter) gibt es seit einiger Zeit auch die sogenannten HVLS (= High Volume Low Speed)-Deckenventilatoren, die einen Durchmesser von 4,5 bis über sechs Meter haben. Sie wälzen bis zu 320.000 m³ pro Stunde Luft ("normale" Ventilatoren schaffen etwa 40.000 m³ pro Stunde) im Stall um. Für moderne Ställe mit hohen Traufseiten ist diese neue Lüftergeneration eine interessante Alternative, die langfristig auch geringere laufende Kosten verursacht.

Aus der Blickrichtung künftiger Züchtungsansätze erhalten vorhandene Gen-Netzwerke innerhalb und zwischen den Zellen und Geweben bei Säugern zunehmendes Interesse (5). Eine Aktivierung dieser Systeme scheint bei Oberflächentemperaturen über 35°C auf der Haut zu erfolgen. Sie führen zu veränderten Genexpressionen und Stoffwechselvorgängen wie (5):

- die Aktivierung des Hitzeschock-Transkriptionsfaktors 1 (HSF1),
- eine erhöhte Expression von Hitzeschock-Proteinen (HSP) und verminderte Expression und Synthese anderer Proteine sowie
- eine erhöhte Glukose- und Aminosäure-Oxidation und ein reduzierter Fettsäure-Stoffwechsel.

Zusammenfassung

Hitzestress ist nicht nur in tropischen Ländern zu beobachten, sondern wird zunehmend auch in Ländern mit gemäßigttem Klima – infolge des zu beobachtenden Klimawandels – ein Problem.

Rinder sind relativ kältestabil, aber nur wenig hitzeresistent. Milchkühe sind vor allem sensibel gegenüber Temperaturen oberhalb ihrer thermoneutralen Zone, die sich bei hoher Luftfeuchte zusätzlich verstärkt. Hitzestress wirkt sich negativ auf die Leistung und die Gesundheit der Tiere aus; vor allem bei hoch leistenden Tieren. Nicht nur der Rückgang der Leistung sowie die gleichzeitige Zunahme gesundheitlicher Probleme sondern auch die abnehmende Fruchtbarkeit der Tiere einschließlich die Verschlechterung der Milchqualität (zum Beispiel regelmäßige Zunahme des somatischen Milchzellgehaltes in den Sommermonaten) führen bei den Landwirten zu ökonomischen Einbußen.

Gewöhnlich ist der Tierhalter mit generellen Maßnahmen zur Linderung des Hitzestresses gut vertraut. Die in den vergangenen Jahren erzielten Leistungssteigerungen – in Verbindung mit weiter zu erwartenden Klimaänderungen – lassen diese Thematik in der tierärztlichen Beratung und bei Empfehlungen zum

Neubau/Umbau von Stallanlagen jedoch zunehmend wichtiger werden.

Summary: Milk production under the conditions of climate change – options to prevent and reduce heat stress

Heat stress is a problem which is found not only in tropical countries but – as a result of climate change – increasingly in countries with temperate climate as well. While cattle are relatively cold-resistant, they are not very resistant to heat. Dairy cows are particularly sensitive to temperatures above their thermoneutral zone, which is aggravated at a high level of humidity.

Heat stress has a negative impact on the performance and health particularly of high-yielding animals. Farmers are confronted with economic loss caused not only by decreasing performance and a concurrent increase of health problems but also by the animals' declining fertility and the deteriorating milk quality (for example regularly rising levels of somatic cells in the milk during the summer months).

Farmers usually know which general measures to take to mitigate heat stress. However, the increase in performance achieved over the last few years – in conjunction with further anticipated climate change – add more and more significance to this topic with regard to veterinary advice or recommendations for building/rebuilding housing systems.

Résumé: Production laitière dans les conditions du changement climatique – Moyens d'éviter et de réduire le stress thermique

Le stress thermique s'observe non seulement dans les pays tropicaux, mais pose aussi de plus en plus problème dans les pays à climat tempéré – par suite du changement climatique qui s'y observe. Les bovins résistent assez bien au froid, mais seulement peu à la chaleur. Les vaches laitières sont surtout sensibles aux températures supérieures à leur zone thermoneutre, ce qui se renforce encore à haute humidité de l'air.

Le stress thermique a des effets négatifs sur les performances et la santé des animaux, notamment sur ceux à grande productivité. Non seulement la baisse des performances ainsi que l'accroissement simultané des problèmes de santé, mais aussi la diminution de la fertilité des animaux, y compris la dégradation de la qualité du lait (par exemple par hausse régulière de la teneur en cellules somatiques les mois d'été), se traduisent par des pertes économiques chez les agriculteurs.

Habituellement, l'éleveur est bien au fait des mesures générales d'atténuation du stress thermique. Les gains de performances obtenus ces dernières années – alliés aux variations climatiques auxquelles il faut continuer de s'attendre – confèrent toutefois une importance croissante à cette thématique au niveau de l'assistance vétérinaire et des recommandations relatives à la construction/transformation des étables.

FUSSNOTEN

1) Als Zone thermischer Neutralität bezeichnet man diejenige Umgebungstemperatur innerhalb der Kühe ihre Körpertemperatur mit minimalen regulatorischen Maßnahmen aufrechterhalten können (= die Wärmezeugung ist weitestgehend konstant). Der thermoneutrale Bereich der Milchkühe kann mit etwa 4°C bis ungefähr 20°C angegeben werden. Zusätzlich stellt das Leistungsniveau hier einen bedeutenden Einflussfaktor dar. Oberhalb des kritischen Temperaturwertes (etwa 24°C) beginnt das Tier, seine Wasserverdunstung (über die Haut oder die Atmungswege) zu erhöhen, um einen Anstieg der Körperkerntemperatur zu verhindern (1, 8, 14, 15, 16).

2) Der von THOM eingeführte THI charakterisiert die klimatischen Umweltbedingungen anhand der Trockentemperatur und der rel. Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft (26) und wurde zunächst für den Menschen entwickelt: $THI = 0,8 T_a + RLF (T_a - 14,4) + 46,4$ oder $THI = T_a + 0,36 T_{dp} + 41,2$

mit T_a = Trockentemperatur [°C], RLF = relative Luftfeuchtigkeit [%] sowie T_{dp} = Taupunkt [°C].

Der THI wurde erstmalig von JOHNSON zur Erfassung klimatischer Faktoren bei Rindern genutzt (13) und seitdem wiederholt weiter entwickelt (15). BUFFINGTON et al. modifizierten den von THOM entwickelten THI, indem sie anstelle von T_a die "Black Globe Temperature (TBG)" benutzten (4) und so den "Black Globe Humidity Index" (BGHI) formulierten: $BGHI = TBG + 0,36 T_{dp} + 41,5$.

Mit dem BGHI wurde erstmals eine Maßzahl beschrieben, in die Luftfeuchtigkeit, Radiation und Luftgeschwindigkeit Berücksichtigung finden. Je stärker die Sonneneinstrahlung und je höher die Windgeschwindigkeiten, desto stärker unterscheidet sich der BGHI vom THI (4). Die messtechnisch einfacher erfassbare Trockentemperatur (Ta) begründen die Bevorzugung des THI gegenüber dem BGHI in der Praxis.

LITERATUR

1. Bianca W. (1976): The significance of meteorology in animal production. *International Journal of Biometeorology* 20, 139-156.
2. Brade, W. (2010): Milcherzeugung und Klimawandel. Vortrag am 29.09.2010 in Wehnen ► www.lwk-niedersachsen.de/.../1092,e753bcb3-237d-eebf-...
3. Büscher (2005): Wärmestress der Hochleistungskühe in der warmen Jahreszeit minimieren. ► www.ava1.de/pdf/artikel/rinder/2005_01_buescher.pdf (Zugriff am 29.11.2007)
4. Buffington, D. E., A. Collozo-Arocho, G.H. Canton, D. Pitt (1981): Black globe-humidity-index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. *Transaction d. Ameri. Soc. Agric. Eng..* 24 (3), 711-714.
5. Collier, R. J, J. L. Collier, R. P. Rhoads, L .H. Baumgard (2009): Invited Review: Genes involved in the Bovine Heat Stress Response. *J. Dairy Sci.* 91:445–454.
6. Cook, N. B., R.L. Mentink, T. B. Bennett, K. Burgi (2007): The Effect of Heat Stress and Lameness on Time Budgets of Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:1674–1682
7. Dikmen, S., J. B. Cole, D. J. Null, P. J. Hansen (2012): Heritability of rectal temperature and genetic correlations with production and reproduction traits in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95:3401–3405
8. Dussert, L, A. Piron (2012): Live yeast could help reduce the impact of heat stress on dairy production *International Dairy Topics*. Vol. 11 Nr 3, 7-10, ► www.lallemanimalnutrition.com/wp-content/uploads/2012/06/International-Dairy-Topics_Live-yeast_062012.pdf (Zugriff: 25.07.2011)
9. Engelhardt, W.; G. Breves (2005): *Physiologie der Haustiere*. Verlag Enke, Stuttgart.
10. Haidn, B., J. Mačuhová, 2008: Wärmeregulation bei Milchkühen und Möglichkeiten der freien Lüftung zur Vermeidung von Hitzestress . In 'Hitzestress im Milchviehstall', Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) Grub, 23. Juli 2008. Tagungsunterlagen. S.7 ff.; ► www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_31433.pdf
11. Heidenreich, T.; Büscher, W.; Cielejewski, H. (2004): Vermeidung von Wärmebelastungen bei Milchkühen. DLG Merkblatt 336, Hrsg.: Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft, Frankfurt am Main
12. Jentsch, W., M. Derno, O. Weiher (2001): Wärmeabgabe der Milchkühe in Abhängigkeit von der Leistung - eine Studie. *Arch. Tierzucht*, 44, 599-610.
13. Johnson, H. D. (1965): Environmental temperature and lactation with spezial reference to cattle. *Internat. Journal of Biometerology* 9, 103-116.
14. Klein, H.G.F (1984): Auswirkungen einer Temperaturbelastung während der Dauer der ersten Laktation auf Leistung und Thermoregulation bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte. Diss., Berlin 1984.
15. Kadzere C.T., M.R.Murphy, N. Silznikove, E. Maltz E. (2002): Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science* 77, 59–91.
16. Kolb, E. (1980): Die Regulation der Körpertemperatur. *Lehrbuch der Physiologie der Haustiere*, Bd. II, Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 594 – 612.
17. Knapp, D.M. and R.R. Grummer (1991): Response of lactating dairy cows to fat supplementation during heat stress. *Journal of Dairy Science* 74, 2573–2579.
18. Köhler, Christine (2011): Nicht ins Schwitzen kommen. *dlz primus (Rind)*, Juli 2011.
19. Parks, J. (2010): The effect of temperature stress on dairy cows. ► <http://lhu.emu.ee/downloads>

20. Ravagnolo, O., I. Misztal (2001): Effect of heat stress on Non-Return rate in Holstein cattle. American Society of Animal Science (ASAS) Symp., Breeding and Genetics, J. Anim. Sci. Vol. 79, Suppl.1, 245 pp.
21. Renaudeau, D., A. Collin, S. Yahav, V. de Basilio, J. L. Gourdine, R. J. Collier (2012): Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6:5, pp 707–728
22. Rhoads, M.L., R.P. Rhoads, M.J. VanBaale, R.J. Collier, S.R. Sanders, W-J. Weber, B.A. Crooker, L.H. Baumgard (2009): Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science* 92, 1986–1997.
23. Olson, T.A., A.C. Hammond, C.C. Chase Jr. (2003): Evidence of a major gene influencing hair length and heat tolerance in *Bos taurus* cattle. *Journal of Animal Science* 81, 80–90.
24. Simmet, K.-H. (2011): Rinder im Hitzestress. Amt für Landwirtschaft und Forsten Pfarrkirchen
▶ www.aelf-pk.bayern.de/tierhaltung/17759/linkurl_0_0_0_2.pdf
25. Tao, S., Dahl E.G. (2013): Invited review: Heat stress effects during late gestation on dry cows and their calves. *Journal Dairy Science* 96, 4079-4093.
26. Thom, E.C. (1959): The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-59.
27. Werner, P.C.; Gerstengarbe, F.-W. (2007). Welche Klimaänderungen sind in Deutschland zu erwarten? in: Endlicher, W.; Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.): *Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke*. Potsdam, 56-59
28. West, J. W. (2003): Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131–2144.
29. Wolfenson, D. (2009): Impact of heat stress on production and fertility of dairy cattle. In Proceedings of the 18th Annual Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, IN, USA, 21–22 April 2009, pp. 55–59.
30. Zimbleman R.B., R.P. Rhoads, M.L. Rhoads, G.C. Duff, L.H. Baumgard and R.J. Collier (2009): A reevaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Proceedings of the 24th Annual Southwest Nutrition and Management. Conference, pp. 158–168.

Autorenanschrift

Prof. Dr. WILFRIED BRADE, Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo); zurzeit: Leibniz-Institut (FBN) für Nutztierbiologie Dummerstorf, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf

▶ brade@fbn-dummerstorf.de