

4.11 Auswirkungen von Hitzestress in der Tierproduktion unter Freilandbedingungen

ANDREAS FISCHER, FRANK EULENSTEIN & ARMIN WERNER

Auswirkungen von Hitzestress in der Tierproduktion unter Freilandbedingungen: Der prognostizierte Klimawandel wird sich sowohl auf das Grünland als auch auf das Nutztier auswirken. Konsequenzen für Produzenten und Verbraucher tierischer Erzeugnisse sind hieraus ableitbar. In Folge einer Erderwärmung sind bezüglich des Grünlandes positive und negative Auswirkungen erkennbar, wobei insbesondere mit einer erhöhten Variabilität in den Erträgen zu rechnen ist. Unter den Bedingungen des Hitzestresses treten beim Nutztier gravierende Veränderungen in den physiologischen, reproduktiven und ethologischen Parametern auf. Lang anhaltende Hitzeerwirkungen bedingen erhöhte Morbidität und Mortalität und führen zu gravierenden Leistungsdepressionen (Milch, Fleisch u.a.). Zukünftig wird es erforderlich sein, neue Erkenntnisse für die Auswahl und Züchtung von Weidetieren zu gewinnen; sie sind eine Voraussetzung für deren weitere standort- und klimaangepasste Nutzung und Einordnung in Grünlandssysteme.

Effects of heat stress in outdoor livestock production: The predicted climate change will affect both the grassland and the grazing productive livestock. Consequences for producers and consumers of animal products can be derived from this. Positive as well as negative effects of climate warming on grassland can be discerned; particularly an increased yield variability must be expected. Heat stress induces serious changes in physiological, reproductive, and ethological parameters of livestock. Prolonged heat causes increased morbidity and mortality and results in serious declines in production (e.g. milk, meat). Accordingly, it is necessary to gain new insights into the adaptability of livestock and the selection and breeding of grazing animals as a prerequisite for the further use of grassland systems and a livestock production adapted to site and climate.

In den letzten Jahrzehnten konnte man in den mitteleuropäischen Sommerperioden vielfach eine Zunahme der Hochdruck- und Ostwetterlagen beobachten. In diesen Phasen waren Grünland und Weidetiere (Rinder, Schafe, Tiere der landwirtschaftlichen Wildhaltung u.a. im Freiland gehaltene Nutztiere) direkt mit Hitzelastbedingungen konfrontiert. Die Zunahme der Hitzeperioden wird oftmals als ein Vorbote der systematischen Veränderung der klimatischen Bedingungen interpretiert.

Ein Klimawandel wird sich differenziert und spezifisch auf das Grünland einerseits und das Weidetier andererseits auswirken. Hieraus können negative Kombinationseffekte im Weide-Nutztier-System resultieren, die die menschlichen Ansprüche an das Grünland und die Ziele der Nutztierhaltung belasten werden.

Im Folgenden sollen die Auswirkungen des potenziellen Klimawandels auf das Grünland und das Weidetier diskutiert werden.

Klimawandel und Grünlandnutzung

Die Tierhaltung wird auch in Zukunft Bedeutung für die Landnutzung haben. So verpflichtet die Verordnung (EG) Nr. 1782/2003 die Mitgliedstaaten Dauergrünland zu erhalten. Zu den externen Leistungen der Nutztierhaltung zählt, u. a. auch die Pflege potenziell landwirtschaftlich attraktiver Regionen. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland liegt bei ca. 17 Mio. ha. Davon entfallen 5 Mio. ha bzw. 30% auf Dauergrünland, das nahezu ausschließlich durch die Tierhaltung genutzt werden muss.

Offene Landschaften wie Weiden und Wiesen sind in vielen Regionen Mitteleuropas akut bedroht. Sie zählen zu den potenziell artenreichsten Kultur-Lebensräumen dieser Region.

Bedingt durch die agrarpolitischen Rahmenbedingungen haben sich in den letzten Jahrzehnten die Grünlandbestände durch Änderungen in der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung stark gewandelt. Während Grünland einerseits immer intensiver bewirtschaftet oder trotz EU-weiter Regulierung umgebrochen wird, fällt andererseits produktionschwaches und ertragsarmes, aber dafür ökologisch besonders wertvolles Grünland (nasse, trockene oder steile Standorte) aus der Nutzung heraus. Diese Flächen fallen brach, verbuschen und es kommt zu einer für diese Standorte typischen natürlichen Waldentwicklung. In den letzten vier Jahrzehnten sind hierdurch bundesweit artenreiche Wiesen und Weiden, die einst durch Beweidung und Mahd entstanden, drastisch zurückgegangen.

Von dem prognostizierten Klimawandel wird das Grünland direkt betroffen sein. PRIESS et al. (2006) nennen mögliche positive und negative Auswirkungen der Klimaveränderungen für das Grünland wie eine verlängerte Vegetationsperiode oder Potenziale verbesserter Produktion durch gezielte Anpassungen der Pflanzenbestände. Die Effekte werden in verschiedenen Teilregionen unterschiedlich ausgeprägt sein mit der Folge einer deutliche Erhöhung der Streubreiten in den Erträgen. Beispielsweise führt gegenwärtig in gemäßigtem Klima (England) eine mit dem Klimawandel

einhergehende Verlängerung der Weidesaison durch höhere Temperaturen in den Übergangsjahreszeiten bei Schafen und Rindern zu einer Ersparnis bei den Winterfutterkosten (TROPPE et al. 2010).

Die Zunahme der Häufigkeit extremer Wetterbedingungen erhöht die Variabilität der Biomasseproduktion von Grünland um bis zu 57% verglichen mit den Jahren 1980–2000 (PRIESS et al. 2006). An wasserlimitierten Standorten wirkt sich hierbei besonders die Sommer-trockenheit negativ auf das Pflanzenwachstum und die Ertragsbildung aus. Als indirekte Folgen kommen Veränderungen der Lebensumwelt, insbesondere der Nahrungsgrundlage, der Bodeneigenschaften, des Wasserhaushaltes und weiterer Habitateigenschaften in Betracht. Für viele Pflanzenarten sind die Niederschläge und die Bodenfeuchte entscheidender als die Temperatur und bestimmen somit wesentlich die Verteilung der einzelnen Arten im Raum. Bereits geringe Änderungen von Menge, zeitlicher Verteilung und Intensität können das regionale Wasserregime und damit den Wasserhaushalt der Ökosysteme empfindlich stören.

SCHUCHARDT & SCHIRMER (2005) beschäftigen sich mit der Auswirkung des Klimawandels auf das Grünland in Küstenregionen. Demnach könnte das Zukunftsbild »Extensivierung« tendenziell zu einer Reduzierung der Empfindlichkeit gegenüber einer Klimaänderung führen, da der Wasserbedarf reduziert wäre und der Biotoptyp mesophiles Grünland toleranter gegenüber sich ändernden Standortbedingungen ist.

Die Ertragsfähigkeit eines Weidestandortes ist demnach direkt von den Klimabedingungen, insbesondere von der Temperatur und dem Wasserangebot abhängig. Schon ein leichter Anstieg der Temperatur bei niedrigerem Wasserangebot während der Vegetationszeit beeinflusst sowohl die Ertragsfähigkeit als auch die Qualität der Weide durch Änderung in der Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften. Dieses muss Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Standortes und damit auf den Umfang der Nutztierproduktion haben.

Letztere wird unter den zu erwartenden Bedingungen zur Notwendigkeit der Reduzierung des Großviehbesatzes pro ha Weideland führen. Durch bessere Ausnutzung der innerbetrieblichen Weideressourcen, also einer erhöhten Flexibilität im Weidemanagement, bzw. einer zeitweiligen Sommerfütterung mit Konservaten (Heu, Silage) können in der ersten Phase der Erwärmung klimabedingte Negativeffekte kompensiert werden. Dies zeigen auch die Vorgehensweisen der Landwirte in den vergangenen Jahren mit lang anhaltenden Hitzeperioden. Im weiteren Verlauf einer Klimaverschärfung ist dann aber auf betrieblicher und später auch auf regionaler Ebene mit Tierbestands-

reduzierungen zu rechnen. Dabei sind Rückkopplungen auf den Umfang der Grünlandpflege durch Weidetiere und die Versorgungsleistung der Verbraucher mit tierischen Produkten zu erwarten.

Klimawandel und Weidetierhaltung

Der Klimawandel wird besondere Herausforderungen an die Aufrechterhaltung der Tiergesundheit und der produktiven Anpassungsfähigkeit der Weidetiere stellen. Unter »produktiver Anpassungsfähigkeit« wird die Fähigkeit eines Tieres verstanden, zufriedenstellende Leistungen unter hohen Umgebungstemperaturen erbringen zu können (PIRCHNER 1972). Die thermischen Reaktionen der Nutztiere werden durch Lebensalter, Rasse, Typ (Körpergröße), Behaarung und Haarpigment, durch Maßnahmen des Managements, wie Ernährung, Stallkonstruktion, Weidehygiene (Beschattung, Duscheinrichtungen), und der Akklimatisationsfähigkeit bestimmt. Die Wärmetoleranz gewinnt um so mehr an Bedeutung, je schwieriger oder mangelhafter die Existenzbedingungen der Tiere durch extreme klimatische Einwirkungen sind.

Im Einzelnen soll der Kenntnisstand hinsichtlich der Auswirkungen von Hitzestress auf Genexpression, Physiologie, Gesundheit, Verhalten und Leistungsmerkmale umrissen werden. Die sich hieraus ergebenden Perspektiven für die Nutztierzucht sollen abschließend diskutiert werden.

Hitzestress-Genregulation

Hitzestress löst ein komplexes Programm der Expression von Genen aus, die biochemische und physiologische Anpassungsprozesse regulieren. Die Fähigkeit sich an thermalen Stress anzupassen, scheint ein grundsätzliches Erfordernis des zellulären Lebens zu sein. Die zelluläre Stressreaktion aller Organismen ist universell, während der Evolution gleich geblieben.

Bei der Anpassung an Stresssituationen sind eine Reihe von Stressproteinen incl. der sogenannten Hitzeshock-Proteine (HSP) von zentraler Bedeutung. Die diesen Proteinen zuzuordnenden Hitzeshock- oder Stressproteingene stellen eine konservierte Multigenfamilie dar. Heute sind fünf HSP-Genfamilien bekannt, deren Vertreter zu den am stärksten konservierten Genen in der Evolution gehören. Trotz ähnlicher physiologischer Funktion können sie sich in ihrer Wirkung nicht kompensieren. Jeder einzelne Vertreter ist für das Überleben der Zelle essentiell. Unter normalen Bedingungen finden sich Stressproteine in geringeren Mengen in den Zellen und erfüllen wichtige Funktionen für Kommunikationsprozesse und das normale Wachstum.

Ein Beispiel für die Bedeutung der HSP für die Hitzetoleranz, ist ihre Funktion beim Schutz von Embryo-

nen vor Überwärmung (Hyperthermie). Induktion und Dauer von Thermotoleranz, definiert als die Fähigkeit, der Hyperthermie zu widerstehen, war in Experimenten mit Ratten und Mäusen hoch signifikant positiv mit der Kinetik der HSP70-Expression korreliert (MIRKES et al. 1996, 1997). Für das Rind liegen diesbezüglich keine Untersuchungen vor.

Physiologische Veränderungen

Bei auftretendem Hitzestress sind eine Vielzahl physiologischer Reaktionen für Milchrinder beschrieben worden. Der Anstieg der Atemfrequenz ist eine erste physiologische Schutzreaktion des Organismus bei hohen Temperaturen. Die Schwellentemperatur, oberhalb der es zu einem Anstieg der Atemfrequenz kommt, zeigt rassenspezifische Unterschiede. Sie liegt für einige europäische Rassen (z.B. Holstein Frisian, Jersey und Brown Swiss) bei 16 °C und für Brahmankühe bei 24 °C. Bei extremen Wärmebelastungen konnten für die Atemfrequenz Maximalwerte von 200 Atemzügen pro Minute und bei Bullenkälbern sogar von 240 festgestellt werden. Einen deutlich senkenden Einfluss auf die Atemfrequenz hat bei hohen Umgebungstemperatur das Angebot von Schatten (Abb. 4.11-1). Insbesondere hohe

Werte der relativen Luftfeuchtigkeit behindern die Evaporation über die Haut in verstärktem Maße und haben einen erheblichen Anstieg der Atemfrequenz zur Folge.

Mit steigender Umgebungstemperatur erhöht sich auch die evaporative Wärmeabgabe über die Schweißdrüsen in der Haut, die ab 35 °C den Hauptanteil der gesamten Wärmeabgabe des Organismus ausmacht. Man kann zwischen den taurinen und zebuinen Rindern hinsichtlich der anatomischen Beschaffenheit der Haut, sowie der Anzahl und der Effektivität der Schweißdrüsen deutliche Unterschiede feststellen. MORAIS (1985) stellte bei Untersuchungen verschiedener Kreuzungen zwischen Holstein- und Zeburindern auf Kuba höhere Werte der Schweißsekretion für Tiere mit größerem Zebuanteil fest. Zebuine Rinder haben eine größere Anzahl von Schweißdrüsen pro Flächeneinheit und diese sind dichter unter der Hautoberfläche angeordnet als bei taurinen Tieren. Unterstützend für die Effektivität der Schweißabgabe wirkt die Fellbeschaffenheit. Bei *Bos indicus* Rassen findet man ein feines kurzes Haarkleid, das die Verdunstung des abgegebenen Schweißes von der Hautoberfläche begünstigt, während für *Bos taurus* Rinder ein längeres, dichteres Haarkleid charakteristisch ist.



4.11-1: Rinder im Schatten (Rasse Galloway) - In heißen Sommerphasen suchen Rinder schattige Plätze auf. Hier verbleiben sie über Stunden. An diesen Stellen ist ein erhöhter Nährstoffeintrag durch Kot und Urin zu verzeichnen.

Als wichtigster Indikator für eine bestehende Hitzebelastung, die mit den zur Verfügung stehenden Mechanismen der Thermoregulation nicht ausgeglichen werden kann, wird der Anstieg der Körperkerntemperatur angesehen. Bei taurinen Milchrindern liegt die Schwellentemperatur, oberhalb der die Körperkerntemperatur ansteigt, zwischen 25–30 °C. Bei einer Umgebungstemperatur von 28 °C stellen Tiere der Rasse Deutsches Schwarzbuntes Rind eine um 0,5 K erhöhte Körperkerntemperatur ein. Bei Temperaturen von über 30 °C kommt der relativen Luftfeuchtigkeit eine besondere Bedeutung zu. Liegt eine hohe relative Luftfeuchtigkeit vor bzw. steigt sie bei dieser Umgebungstemperatur an, wird die evaporative Wärmeabgabe über die Schweißdrüsen eingeschränkt und es kommt zum weiteren Anstieg der Körperkerntemperatur. Bei einer Körperkerntemperatur zwischen 40,5 °C und 41,7 °C kommt es für die meisten Rinderrassen zum völligen Aussetzen der Körperfunktionen; man bezeichnet diese Schwelle als Letaltemperatur. Bezüglich des Hausschafes ist festzuhalten, dass Haarschafe Wärme besser vertragen als Wollschafe. Ebenso zeigen Fettschwanzschafe im Gegensatz zu ihren Artgenossen eine höhere Wärmetoleranz. Die europäischen Schafzuchten sind in der Regel am wenigsten Wärme adaptiert (SCHOENIAN 2010).

Gesundheitliche Probleme

Unter Hitzelastbedingungen treten gehäuft gesundheitliche Probleme auf. Sie resultieren u.a. aus Belastungen des Immunsystems, da Hitzestress das immunologische Reaktionsvermögen der Tiere über komplexe Mechanismen mindert. In diesem Zusammenhang wird berichtet, dass chronischer Hitzestress bei Milchkühen zur Abnahme der Glycocorticoide bzw. zu einer Zunahme des Prolactins führt. Langandauernder Hitzestress kann somit die Anfälligkeit gegenüber Infektionen erhöhen. Darüber hinaus kommt es wie beim Menschen zur Ausdehnung der Verbreitung verschiedener parasitärer Krankheiten, da heiße und feuchte Klimabedingungen das Wachstum und die Vermehrung von Vektoren und/oder Krankheitserregern fördern. In diesem Zusammenhang werden hinsichtlich der Parasitosen Unterschiede zwischen Tierarten, Rassen, Dauer des Stresszustandes u.a. beschrieben.

Verhaltensveränderungen

Die ethologischen Folgen der Hitzelast auf Mutterkühe und Schafe unter den natürlichen Bedingungen in Nordostdeutschland untersuchte FISCHER (2001). Hiernach existieren zwischen und innerhalb von Rind- und Schafzuchten signifikante ethologische Unterschiede. Die Interaktionen von Klima- und Verhaltensparametern zeigten rassenspezifische Muster.

In Reaktion auf steigende Hitzebelastung in der Klimakammer veränderte sich das Steh- zu Liegezeiten-Verhältnis. LEWIS & WENIGER (1986) fanden bei Umgebungstemperaturen oberhalb 28 °C höhere Liegezeiten als bei normalen Stalltemperaturen. Dabei wurde von den Tieren im Interesse einer verbesserten Wärmeabgabe eine überwiegend gestreckte Seitenlage eingenommen.

Bei taurinen Rindern, die auf tropischen Weiden gehalten wurden, ermittelte man einen Rückgang in der Abstimmung zwischen natürlichen Zeitgeberhythmen und Aktivitätsrhythmen.

Futter- und Tränkwasseraufnahme

Hitze beeinflusst die ernährungsphysiologischen Vorgänge des Rindes. So reduzieren steigende Temperaturen und lange Sonnenscheindauer die Futteraufnahme. Bereits bei Umgebungstemperaturen von 21–24 °C kommt es zum Rückgang der Futteraufnahme. Tiere tauriner Rassen reagieren hierbei früher als zebuine Rinder (BEATTY et al. 2006). Andere Autoren stellten für Holstein Kühe bereits bei einem Anstieg der UT von 18,4 °C auf 24,2 °C einen Rückgang der Zeit für die Futteraufnahme fest. In diesem Zusammenhang kommt es zu einer erheblichen Reduzierung der Rohfaseraufnahme. Auch für Mastbullen wurde erkannt, dass es unter subtropischen Bedingungen zu einer Abnahme der Futteraufnahme und damit zu einer Erhöhung des Nährstoffaufwandes je kg Lebendmassezunahme kommt (s. Abb. 4.11-2).

Mit ansteigender Umgebungstemperatur erhöht sich der Tränkwasserbedarf. Bei Temperaturen oberhalb von 27 °C kommt es zu einem Anstieg der Wasseraufnahme. Bei hohen Temperaturen ist sie für die Rasse Holstein Frisian signifikant höher als für Jerseyrinder.

Bei erhöhter kutaner Wasserabgabe infolge hoher Temperaturen werden verstärkt Mineralstoffe – besonders K, Na, Ca, Mg und Cl – ausgeschieden. Rinder, die hohen Temperaturen ausgesetzt waren, haben entsprechend eine geringere Na- und K-Konzentration im Pansensaft. Dieses wiederum beeinflusst die Milchleistung negativ. Zur Anpassung an die erhöhten kutanen Wasserabgaben, kommt es zu Änderungen in der Funktion der Nieren (Harnkonzentrierung). Wie auch von Wildtieren bekannt, bestehen in der Fähigkeit Regulationsmechanismen im Wasserhaushalt zu aktivieren und sich so an Bedingungen von Hitze und Wassermangel anzupassen erhebliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten und Rassen der Nutztiere.

Milchleistung

Ein Anstieg der Umgebungstemperatur über 25 °C führt zu einer Reduzierung der Milchleistung. In einer Stu-

die von NARDONE et al. (1997) wurde an erstkalbenden Rindern ermittelt, dass sich die Milchproduktion bei Zunahme der rektalen Temperatur über die physiologisch-normale Körpertemperatur je 1 °C um 2,2 Liter/Tag verringert. GROSSMANN (1983) konnte Leistungsenkungen von 44,4% bei Temperaturen zwischen 27 °C und 34 °C nachweisen. NAUHEIMER-THONEICK et al. (1988) sprechen von einem Rückgang der Milchproduktion um 30,6% bei Temperaturen um 30 °C. BOURAOUT et al. (2002) fanden einen Abfall der Milchleistung von 21% bei hoher Umgebungstemperatur und hoher relativer Luftfeuchtigkeit. Für Mutterschafe und Milchziegen wurden gleiche Tendenzen erkannt.

Kontroverse Resultate bestehen bei dem Zusammenhang zwischen Jahreszeit/Hitzestress und Immunglobulin-Zusammensetzung der Erstmilch (Kolostrum) von Rindern. Mäßige Temperaturerhöhungen verändern die Schutzwirkung des Kuhkolostrums noch nicht. Verschiedene Studien zeigen jedoch eine Beeinträchtigung der passiven Immunisierung unter Klimakammerbedingungen. Hieraus resultiert tendenziell eine erhöhte Kälbersterblichkeit.

Fortpflanzungsleistung

Hohe Temperaturbelastung verringert direkt und indirekt die reproduktive Leistungsfähigkeit der Milchkühe. Hitzestress wirkt sich negativ auf die Hormonsekretion aus. Diesbezüglich werden drastische Effekte hinsichtlich der Frequenz der stillen Brunst, der Konzeptionsfähigkeit und der embryonalen Sterblichkeit beschrieben. Für im Sommer kalbende Kühe ist ein erhöhtes Auftreten von ovariellen Zysten wahrscheinlich.

Allerdings zeigen langjährige Praxiserhebungen zur Ausprägung der Reproduktionsleistung von Schafen, dass unter den gegenwärtigen Klimabedingungen in Brandenburg lange Hitzephasen, wie im Jahr 2003, sich nicht auf die Konzeptionsrate und das Ablammergebnis auswirken (FISCHER 2014).

Körperaufbau

Hitzestress beeinflusst den Körperaufbau und somit biometrische Parameter der wachsenden Färsen. Bereits in den 1980er Jahren wurde erkannt, dass Temperaturlast Wachstum und Entwicklung des Fötus negativ beeinflusst.

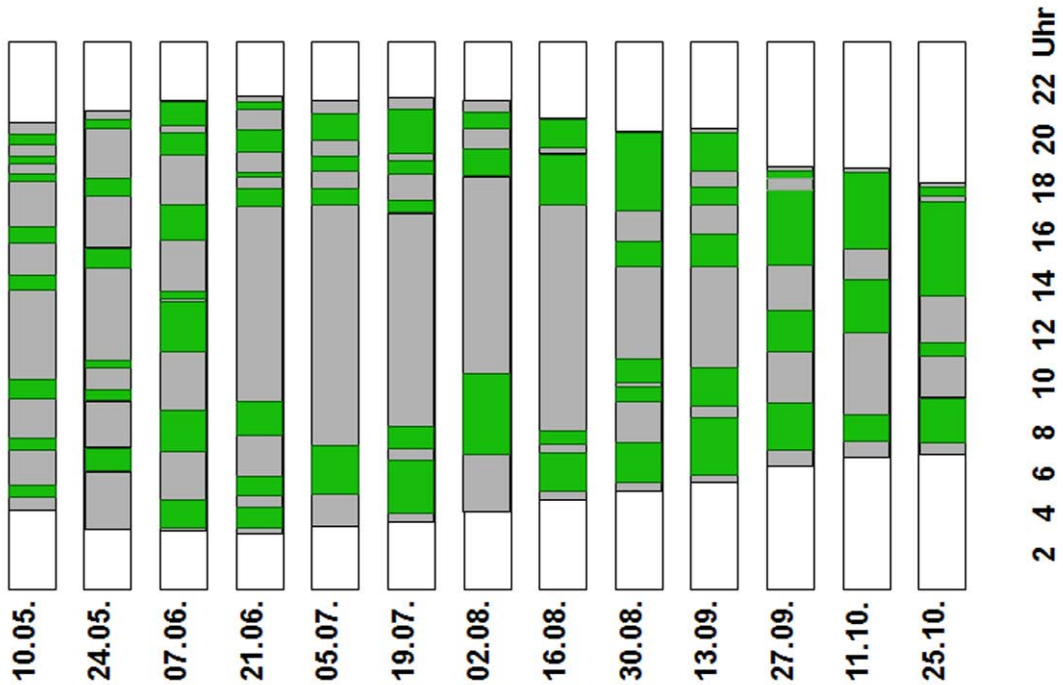


Abb. 4.11-2: Verteilung der Grasenszeiten von Rindern über den Lichttag. In heißen Sommerphasen, wie im Jahre 2003, fressen Rinder nur in den Morgenstunden und ab dem späten Nachmittag. Dieses witterungsspezifische Verhalten kann sich ernährungsphysiologisch ungünstig für das Tier auswirken.

weiß - Nachtzeit hellgrau - Phasen ohne Nahrungsaufnahme grün – Grasensperioden

Im Vergleich zu Färsen, die in einer thermoneutralen Umwelt aufwuchsen, zeigten temperaturbelastete Tiere eine um 25% geringere Lebendmasseentwicklung (NARDONE et al. 1997). Als adulte Tiere hatten sie dann eine niedrigere Körperkapazität. Die Entwicklung des Gebärapparates und des Euters war bei diesen Tieren reduziert.

Züchtung

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Mehrzahl unserer Nutztiere infolge einer Klimaerwärmung komplex – also hinsichtlich Wohlbefinden, Gesundheit, Überlebenskraft, Verhalten und Leistungsausprägung – betroffen sein wird. Damit kann unter diesen veränderten Umweltbedingungen mit den in Deutschland vorhandenen Tierarten und Rassen eine standort- und klimaangepasste Grünlandnutzung zunehmend schlechter verwirklicht werden. Einschränkung ist zu bemerken, dass das Anpassungspotential an Klimaveränderungen der einzelnen einheimischen Populationen und Nutzungsrichtungen weitestgehend unbekannt ist. Entsprechend besteht hinsichtlich der Nutztierhaltung ein Bedarf die neu aufgetauchten Fragen zu beantworten und neuartige Züchtungsansätze zu erarbeiten.

Die genetische Veranlagung von Zuchtieren wird mit dem Zuchtwert beschrieben. Eine bisher noch nicht in der Züchtungspraxis eingeführte Entwicklung stellen die sogenannten Reaktionsnorm-Modelle (RN-Modelle) dar, die die Änderung von Zuchtwerten in Abhängigkeit von der Umwelt beschreiben. Im Unterschied zu herkömmlichen Mehrmerkmalsmodellen wird mit ihnen die Umwelt durch eine Variable (z.B. Temperatur) oder eine Kombination von Variablen (gewichtete Summe z.B. aus Temperatur, Luftfeuchte und Höhenlage) als kontinuierliche Größe dargestellt. RN-Modelle beschreiben die Änderung der genetischen Parameter (Varianzen, Heritabilitäten) in Abhängigkeit von solchen Größen. Sie bieten damit eine wichtige Option für die Modellierung von Genotyp-Umwelt-Interaktionen und für die Beschreibung der phänotypischen Plastizität.

Der Einsatz dieser Modelle liefert für jedes Tier umweltspezifische Zuchtwerte und Reaktionsnormen. Demnach sind Tiere mit flacher Reaktionsnorm erwünscht; denn sie weisen unter allen Bedingungen einen annähernd gleichen Zuchtwert auf (»Generalisten«). Dagegen wären Tiere mit steiler Reaktionsnorm (»Spezialisten«), deren Zuchtwert sich in Abhängigkeit von der Umwelt stark verändert (z.B. hoher Zuchtwert unter kühlen, aber schlechter Zuchtwert unter heißen Bedingungen) negativ zu bewerten.

Verglichen mit möglichen tierzüchterischen Anwendungsfeldern sind RN-Modelle in der Pflanzenge-

netik bereits verbreitet. In der Nutztiergenetik lag der Schwerpunkt der Entwicklung und Prüfung von RN-Modellen bisher im Bereich der Milchrindzucht. Bei den übrigen Nutzungsrichtungen stehen dementsprechende Entwicklungen noch aus.

Schlussbetrachtung

Wissenschaftliche Vorsorgemaßnahmen

Die Kenntnisse über den Verlauf des Klimawandels und der Wirkung von gegensteuernden Maßnahmen sind aus dem heutigen Blickwinkel noch ungenau. Trotzdem sollten im Interesse der zukünftigen Versorgungssicherung der Verbraucher mit tierischen Lebensmitteln und dem weiteren notwendigen Erhalt der Grünlandbiotope Aktivitäten unternommen werden, um für die neuartigen Umweltsituationen gewappnet zu sein. Hierzu zählt im jetzigen Stadium der Beginn einer gezielten Vorlaufforschung, die sich insbesondere der Adaptations- bzw. der Reaktionsfähigkeit der sehr differenzierten Agrarökosysteme und den darin gehaltenen unterschiedlichen Nutztierarten zuwendet.

In Folge einer Klimaerwärmung sind bezüglich des Grünlandes positive und negative Auswirkungen erkennbar, wobei insbesondere mit einer erhöhten Variabilität in den Erträgen zu rechnen ist. In diesem Zusammenhang müssen Boden-Wasser-Nährstoff-Pflanzen-Modelle weiter entwickelt werden, mit denen die Ertragsfähigkeit der Grünlandstandorte anhand künftiger klimatischer Entwicklung abgeschätzt und gemanaged werden kann. Diese Ergebnisse sollten letztendlich auf größere Regionen übertragbar und Grundlage für die Einschätzung des möglichen Viehbesatzes sein.

Unter den Bedingungen des Hitzestresses treten beim Nutztier gravierende Veränderungen in den physiologischen, reproduktiven und ethologischen Parametern auf. Lang anhaltende Hitzeeinwirkungen bedingen erhöhte Morbidität und Mortalität und führen zu gravierenden Leistungsdepressionen (Milch, Fleisch u.a.). Diesbezüglich sind die funktionalen Mechanismen der Klimaanpassung einschließlich der Interaktionen zwischen rassenspezifischer Hitzetoleranz und produktiver Anpassungsfähigkeit zu untersuchen. Hierbei ist die Erkennung von Schwellenwerten und thermoregulatorischen Grenzen in den rassenspezifischen Anpassungsleistungen von zentraler Bedeutung.

Die relevanten verhaltensbiologischen, leistungsphysiologischen und molekularbiologischen Grundlagen der produktiven Adaptationsfähigkeit an Hitzelastbedingungen sind zu beachten. Hierbei muss die physiologische Rolle der Stressproteine für die Aufrechterhaltung der Homeostase im Organismus tier-

art- und rasseabhängig untersucht werden, um unsere Kenntnisse über ihre Bedeutung für die Aufrechterhaltung fortpflanzungs- und allgemein zellphysiologischer Zustände zu vermehren.

Bereits in der frühen Phase des Klimawandels wurden durch Untersuchungen der Wechselbeziehungen zwischen Klimalast und phänotypischer Ausprägung von Leistungsmerkmalen selektive Möglichkeiten erkannt in Kombination mit neuartigen Methoden der Zuchtwertschätzung zur Erhöhung der produktiven Anpassungsfähigkeit von Nutztieren zu kommen. Entsprechende Ansätze gilt es weiterzuentwickeln.

Literatur

- BEATTY, D. T., BARNES, A., TAYLOR, E., PETHICK, D., MCCARTHY, M. & S. K. MALONEY (2006): Physiological responses of *Bos taurus* and *Bos indicus* cattle to prolonged, continuous heat and humidity. *J. Anim. Sci.*, 84, 972-985.
- BOURAOUI, R., LAHMAR, M., MAJDOUB, A., DJEMALI, M. & R. BELYEA (2002): The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Animal Research* 51, 479-491. BVET, 2003.
- FISCHER, A. (2001): Vergleichende Untersuchungen zum Verhalten von Wiederkäuern (Rind und Schaf) auf extensivierten Niedermoorweiden. Berlin, Humboldt-Universität, Habil. 2001. 168 S.
- FISCHER, A. (2014): Schafbezogene Untersuchungsgegenstände im Rahmen von Inka BB. Vortrag, Landwirtschaftliche Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin, Abschlussveranstaltung Inka BB 24.03.2014.
- GROSSMANN, R. (1983): Einfluss diurnal wechselnder und konstanter Temperaturen auf Leistungseigenschaften und Thermoregulation unterschiedlich akklimatisierter zweilaktierender Rinder im Klimakammerversuch. Berlin, Freie Universität, Diss. 185 S.
- LEWIS, J. & J. H. WENIGER (1986): Untersuchungen zum Verhalten laktierender Kühe unter Wärmebelastung in Stallhaltung. *Züchtungskunde* 58, 102-114.
- MIRKES, P. E., LITTLE, S. A., CORNEL, L., WELSH, M. J., LANEY, T. N. N. & F. H. WRIGHT (1996): Induction of heat shock protein 27 in rat embryos exposed to hyperthermia. *Molecular reproduction and development* 45 (3): 276-284.
- MIRKES, P. E., CORNEL, L. M., PARK, H. W. & M. L. CUNNINGHAM (1997): Induction of thermotolerance in early postimplantation rat embryos is associated with increased resistance to hyperthermia-induced apoptosis. *Teratology* 56 (3): 210-219.
- MORAIS, M. (1985): Tolerancia al calor de bovinos Holstein - Cebu. *II. Rev. Cubana de Cienc. Vet.* 16, 193-200.
- NARDONE, A., LACETERA, N., BERNABUCCI, U. & B. RONCHI (1997): Composition of colostrum from dairy heifers exposed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J. Dairy Sci.* 80 (5): 838-844.
- NAUHEIMER-THONEICK, H., THOMAS, C. K. U. & J. H. WENIGER (1988): Investigations on energy metabolism of lactating cows under heat stress. III. Effects of longterm high environmental temperature on parameters of thermoregulation, food intake and milk yield. *Züchtungskunde* 60, 376-387.
- PIRCHNER, R. (1972): Probleme der Züchtung auf Wärmetoleranz. *World Rev. Anim. Prod.* 8, 70-77.
- PRIESS, R.; SCHALDACH, M., HEISTERMANN, M., MIMLER, J., ONIGKEIT, J. & J. ALCAMO (2006): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf landwirtschaftliche Erträge in Hessen. (Vortrag) <http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/dokumente/fachtagung/priess.pdf> gehalten auf der Fachtagung »Klimawandel und Klimafolgen in Hessen, 16. Mai 2006 in Wiesbaden« <http://www.hlug.de/medien/luft/inklim/fachtagung.htm>.
- SCHOENIAN, S. (2010): Small Ruminant - Info Sheet. <http://www.sheepandgoat.com/articles/heatstress.html>.
- SCHUCHARDT, B. & M. SCHIRMER (2005): Klimawandel und Küste: Zeit zur Anpassung? www.krim.uni-bremen.de/poster/schuchardt_schirmer_bsh2005.pdf.
- TROPP, C.F. E., WREFORD, A., TOLKAMP, B. J., WU, L. & D. MORAN (2010): Impacts of climate change on the grazing period, and the conserved feeding costs of grazing systems in the UK. *Grassland in a changing world*, Book of Abstracts, 23th General Meeting of the European Grassland Federation Kiel, Germany, August 29th- September 2nd 2010.

Kontakt:

Dr. Andreas Fischer

*Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
Müncheberg
info@schafe-fischer.de*

Prof. Dr. Frank Eulenstein

*Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
Müncheberg
eule@zalf.de*

Dr. Armin Werner

*Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
Müncheberg*

Fischer, A., F. Eulenstein & A. Werner (2014): Auswirkungen von Hitzestress in der Tierproduktion unter Freilandbedingungen. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 4.11) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.