



Positionspapier

**der DGfZ-Projektgruppe
„Klimarelevanz in der Nutztierhaltung“**

„Der Klimawandel und die Herausforderungen für die Nutztierhaltung von morgen in Deutschland“

- 30. September 2011 -

Bettina Bongartz, Dr.
Hubert Cramer, Dr.
Brigitte Eurich-Menden, Dr.
Gerhard Flachowsky, Prof. Dr.
Matthias Gauly, Prof. Dr. Dr.
Alois Heißenhuber, Prof. Dr. Dr. h.c.
Dirk Höppner, Dr.
Jens Ingwersen, Dr.
Otto-Werner Marquardt, Dr.
Annette Menzel, Prof. Dr.
Bernhard Osterburg
Manfred Schwerin, Prof. Dr. (Vorsitzender)
Friedhelm Taube, Prof. Dr.
Gerhard Wittkowski, Dr.

Inhaltsverzeichnis:

	ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN	3
1.	PRÄAMBEL	5
2.	NUTZTIERHALTUNG UND EMISSIONEN (Minderungsstrategien)	6
2.1.	Status quo – Emissionen aus der Nutztierhaltung entlang der Wertschöpfungskette	7
2.2.	Reduzierungspotentiale	8
2.2.1.	Nutztierzucht	9
2.2.2.	Nutztierhaltung	10
2.2.3.	Tierernährung/Fütterung	11
2.2.4.	Wirtschaftsdüngermanagement	11
2.2.5.	Landnutzung	12
2.3.	Zielkonflikte und Nachhaltigkeit	14
2.3.1.	Zielkonflikte der Emissionsminderungsstrategien	14
2.3.2.	Systemische Nachhaltigkeitsbewertung der Emissionsminderungsstrategien	15
2.4.	Forschungsbedarf Minderungsstrategien	17
3.	NUTZTIERHALTUNG UND KLIMAWANDEL (Anpassungsstrategien)	20
3.1.	Klimawandel und Nutztier-relevante Auswirkungen	20
3.2.	Klimaanpassungsstrategien	21
3.2.1.	Nutztierzucht	21
3.2.2.	Nutztierhaltung	22
3.2.3.	Futterwirtschaft	22
3.2.4.	Fütterung/Ernährung	23
3.2.5.	Gesundheitsmanagement	24
3.3.	Forschungsbedarf Anpassungsstrategien	24
4.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	26

ZUSAMMENFASSUNG UND EMPFEHLUNGEN

Die Ernährungssicherung und der Klimawandel stellen die großen globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Auf Grund der ernährungsphysiologischen Besonderheiten des tierischen Proteins bilden Milch, Fleisch, Fisch und Eier bedeutsame Bestandteile einer ausgewogenen und gesunden Ernährung des Menschen. Die weltweit wachsende Bevölkerung, der zunehmende Wohlstand in den Schwellenländern und die Änderung der Verzehrsgewohnheiten werden die Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft bis zum Jahr 2050 annähernd verdoppeln.

Neben der bedarfsgerechten Versorgung des Menschen mit hochwertigen Lebensmitteln ist die Tierproduktion von großer Bedeutung für die Zukunftssicherung des ländlichen Raumes in Deutschland. Sie ist mit ca. 1,5 Mio. Beschäftigten als stabiler und verlässlicher Arbeitgeber ein wichtiger Bestandteil des deutschen Arbeitsmarktes sowie der regionalen Wirtschaftsstruktur. Durch die Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft sowie die Sicherung der Lebensgrundlagen leistet die Nutztierhaltung darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zur Lebensqualität, Attraktivität und zum Freizeitwert ländlicher Räume.

Der prognostizierte Klimawandel wird erhebliche Auswirkungen auf die Nutztierhaltung haben. Durch die für Mitteleuropa erwarteten regionalen Temperaturerhöhungen, Niederschlagsänderungen und Zunahme von Extremwetterereignissen ist nicht nur mit Hitzestress und dadurch bewirkte Belastungen und Minderleistungen der Tiere, sondern auch mit einer signifikant veränderten Futtergrundlage (veränderte Zusammensetzung der Futterpflanzen, verminderte Erträge im Futterbau, diskontinuierliche Futtermittelverfügbarkeit) sowie einer veränderten Infektionsdynamik und regionalen Verteilung von Krankheiten zu rechnen.

Neben den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels wird die Nutztierhaltung auch mittelbar von Veränderungen bei Ressourcen, Zulieferung und Nachfrage nach Nahrungsmitteln oder Bioenergie wesentlich beeinflusst. So z.B. werden geringere Erträge im Futterbau, ein verminderter Futterwert der Pflanzen und eine diskontinuierliche Futtermittelverfügbarkeit zu steigenden Futterpreisen und damit erhöhten Produktionskosten führen, wobei die langfristigen Ertragsaussichten Bodenpreise und Pachten beeinflussen werden. Über den Weltmarkt ist Deutschland auch von Energiepreisen, Ernteerträgen und Nahrungsbedarf in anderen Erdteilen betroffen, die sich mit dem Klimawandel verändern.

Gleichzeitig trägt die Nutztierhaltung zur Emission der wichtigsten Treibhausgase Methan, Kohlendioxid und Lachgas bei. Die berechneten direkten Emissionen der drei zentralen Treibhausgase (THG) Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) (sowie indirekt Ammoniak (NH₃)) aus der Landwirtschaft beliefen sich im Jahr 2008 auf 134,6 Mio. t CO₂-Äquivalente (CO₂Äq) und damit auf 13,9 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland. Damit besitzt die Landwirtschaft, einschließlich der Nutztierhaltung, ein begrenztes Potential, einen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemission in Deutschland zu leisten.

Die wichtigsten Quellen für THG in der Landwirtschaft stellen die landwirtschaftlichen Böden, die Stickstoffdüngerherstellung und -nutzung sowie die Verdauung der Nutztiere dar. Die Höhe der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen hängt entscheidend vom Produktionssystem und -niveau sowie der Produktivität ab. N₂O-Emissionen werden wesentlich durch die Art und Intensität der Futtererzeugung bestimmt, während CH₄-Emissionen fast ausschließlich aus der Wiederkäuerverdauung stammen. CO₂-Emissionen werden sowohl durch die betriebsbedingten Emissionen im gesamten Produktionsprozess als auch durch die Landnutzung und vor allem Landnutzungsänderungen (Umwandlung von Grünland in Acker, Waldrodung) über die Kohlenstofffestlegung im Boden verursacht.

In Deutschland sind die Verdauung der Nutztiere, insbesondere der Wiederkäuer, mit 19,5 Mio. t CO₂Äq/a, das Wirtschaftsdüngermanagement mit 8,0 Mio. t CO₂Äq/a sowie die Boden- und Landnutzungsänderung mit rund 85 Mio. t CO₂Äq/a für den größten Anteil an THG-Emissionen in der Landwirtschaft ursächlich verantwortlich.

Mit diesem Positionspapier sollen zum einen die klimarelevanten Aspekte der Nutztierhaltung dargestellt, mögliche Emissionsminderungspotentiale aufgezeigt und einer systemischen Nachhaltigkeitsbetrachtung unterzogen werden. Zum anderen werden, basierend auf ganzheitlichen Systembetrachtungen, die möglichen Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die europäische Nutztierhaltung erörtert und mögliche Anpassungsstrategien im Bereich von Tierzucht und -haltung abgeleitet.

Unter Beachtung der Herausforderungen für die bedarfsgerechte und nachhaltige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft unter den Bedingungen des Klimawandels werden folgende **Empfehlungen für Politik und Wissenschaft** mit dem Ziel abgeleitet, den notwendigen strategischen Forschungs- und damit Forschungsförderbedarf durch die öffentliche Hand aufzuzeigen, zukünftige Handlungsfelder und Potentiale zu identifizieren sowie Szenarien und Handlungsoptionen für nachhaltige Ansätze der Minderungs- und Anpassungsstrategien im Bereich der Nutztierhaltung zu entwickeln:

1. Die Ableitung nachhaltiger Emissionsminderungsstrategien für die Nutztierhaltung erfordert auf Grund des Systemcharakters der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ zwingend eine **systemische Nachhaltigkeitsbewertung** aller relevanten THG-Emissionsquellen und der weiteren Gütekriterien, wie Wirtschaftlichkeit, Ressourceneinsatz und -verbrauch, Ernährungssicherung, Tierwohl und Tiergesundheit, Lebensmittelsicherheit und -qualität, Verbraucherakzeptanz.
2. **Innovative Ansätze mit Potential zur Minderung von THG-Emissionen** aus der Nutztierhaltung bei vergleichsweise geringen Minderungskosten sind:
 - a. die Zucht von Wiederkäuern mit reduzierter ruminaler Methanbildung,
 - b. die Optimierung der Lebenstageleistung durch geeignete Maßnahmen von Zucht, Haltung und Fütterung,
 - c. die effiziente bilanzierte Nutzung von organischen und mineralischen Düngemitteln (insbesondere N-Management) in der Futtermittelproduktion und
 - d. die Entwicklung optimierter Futterbausysteme.
3. **Wesentliche Maßnahmen zur Anpassung an den projizierten Klimawandel** im Bereich der Nutztierhaltung sind:
 - a. die Zucht thermotoleranter, robuster und krankheitsresistenter Nutztiere,
 - b. die Optimierung der Strategien in der Tierseuchenbekämpfung und des Hygienemanagements,
 - c. die Entwicklung Hitzestress kompensierender Verfahrenstechniken und Stall-systeme und
 - d. die Sicherung einer hohen Lebens- und Futtermittelsicherheit.
4. **Umfängliches und multidisziplinär generiertes Wissen** muss gezielt erarbeitet werden, um den vielfältigen Forderungen einer nachhaltigen Umsetzung der Minderungs- und Anpassungsstrategien im Bereich der Nutztierhaltung gerecht werden zu können, Risiken zu minimieren, Zielkonflikte zu identifizieren sowie Nutzungsfolgen abschätzen und ganzheitliche hierarchisch gegliederte Zielkomplexe sowie Handlungsoptionen ableiten zu können.
5. Die künftige bedarfsgerechte und nachhaltige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft unter den sich ändernden Bedingungen von Klimawandel und Globalisierung erfordert zwingend, die möglichen wissenschaftlichen und technologischen Beiträge der deutschen Agrarwissenschaften als integrierten Bestandteil einer notwendigerweise **weltweiten Initiative für die globale Ernährungssicherung und den Klimaschutz** zu identifizieren, deren Realisierung zu fördern und die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft zu sichern.

1. PRÄAMBEL

Die Ernährungssicherung und der Klimawandel sind die großen globalen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Auf Grund der ernährungsphysiologischen Besonderheiten des tierischen Proteins bilden Milch, Fleisch, Fisch und Eier bedeutsame Bestandteile einer ausgewogenen und gesunden Ernährung des Menschen.¹ Die weltweit wachsende Bevölkerung, der zunehmende Wohlstand in den Schwellenländern und die Änderung der Verzehrsgewohnheiten werden die Nachfrage nach Lebensmitteln tierischer Herkunft bis zum Jahr 2050 annähernd verdoppeln.² Deutschland ist mit einem Anteil von 13,0 Prozent an der EU-Gesamterzeugung (2010) nach Frankreich (19,0 %) der zweitgrößte Agrarproduzent in der EU-27. Hinsichtlich der Produktion von Lebensmitteln tierischer Herkunft nimmt Deutschland in vielen Produktionsbereichen, wie z.B. bei Milch (20 %), Schweine- (20 %), Rind- (15 %), Geflügelfleisch (12 %), Eier (11 %), eine führende Position ein. Damit wird bei Milch, Rind-, Geflügel- und Schweinefleisch eine vollständige Selbstversorgung sichergestellt, während der Selbstversorgungsgrad bei Eiern bei etwa 60 % liegt.³ Ein hoher Selbstversorgungsgrad sichert nicht nur ein hohes Maß an wirtschaftlicher Stabilität, sondern ist auch eine wichtige Basis für hohe Tier-, Umwelt- und Klimaschutzstandards.

Neben der bedarfsgerechten Versorgung des Menschen mit hochwertigen Lebensmitteln ist die Tierproduktion von großer Bedeutung für die Zukunftssicherung des ländlichen Raumes, denn mit ca. 1,5 Mio. Beschäftigten, die tagtäglich mit der Haltung von Nutztieren sowie der Verarbeitung und Herstellung von Fleisch- und Milchprodukten befasst sind,⁴ ist sie ein stabiler und verlässlicher Arbeitgeber und damit wichtiger Bestandteil des deutschen Arbeitsmarktes sowie der regionalen Wirtschaftsstruktur. Durch die Erhaltung und Pflege der Kulturlandschaft sowie die Sicherung der Lebensgrundlagen leistet die Nutztierhaltung darüber hinaus einen wichtigen Beitrag zur Lebensqualität, Attraktivität und zum Freizeitwert ländlicher Räume.

Vor dem Hintergrund der sich ändernden Verbraucheransprüche, der aus Tier-, Umwelt- und Klimaschutzzielen folgenden neuen Anforderungen an die Produktion, der auf Grund des prognostizierten Klimawandels erwarteten Umweltbedingungen, des sich auf Grund von Ressourcenverknappung und alternativer Landnutzungsstrategien verschärfenden Wettbewerbs um Ressourcen und eines zunehmend globalisierten Handels steht die Nutztierhaltung vor der Herausforderung, zukünftige Entwicklungen stärker als bisher an der Verminderung von negativen Umweltwirkungen bei gleichzeitig hoher Lebensmittelsicherheit unter Wahrung des Tierwohls auszurichten und mit den betriebswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Anforderungen in Einklang zu bringen.⁵

Im Hinblick auf den prognostizierten Klimawandel ist die Nutztierhaltung zugleich „Mitverursacherin“ als auch „Betroffene“. Die berechneten direkten Emissionen der drei zentralen Treibhausgase (THG) Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) (sowie indirekt Ammoniak (NH₃)) aus der Landwirtschaft beliefen sich im Jahr 2008 auf 134,6 Mio. t CO₂-Äquivalente und damit auf 13,9 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland,⁶ wovon etwa ein Drittel direkt durch die Nutztierhaltung verursacht werden. Damit be-

¹ Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) u. a. (Hrsg.) (2000). Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr, 1. Auflage, Umschau/Braus, Frankfurt/Main.

² FAO (2006). *World agriculture: towards 2030/2050*. Interim Report. Global Perspective Studies Unit, Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy.

³ Deutscher Bauernverband (2010). Situationsbericht 2010 - Trends und Fakten zur Landwirtschaft., Berlin (ISBN 978-3-9812770-1-2).

⁴ Schwerin, M., Balmann, A., Baum, M., Born, H., Mettenleiter, T. C., Patermann, C., Preisinger, R., Rodehutsord, M., Schulz, C., Swalve, H., Taube, F. (2010). Herausforderungen für eine zukunftsfähige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft. BioÖkonomieRat: <http://www.biooekonomierat.de>.

⁵ SCAR (EU Commission – Standing Committee on Agricultural Research) (2008). New challenges for agricultural research: Climate change, food security, rural development, agricultural knowledge systems. The 2nd SCAR foresight Exercise, Brussels.

⁶ Döhler, H., Wulf, S., Eurich-Menden, B., Haanel, H.-D., Rösemann, C., Freibauer, A. (2011). Nationale Klimaschutzziele – Potenziale und Grenzen der Minderungsmaßnahmen. KTBL-Schrift 485, 64-70.

sitzt die Landwirtschaft, einschließlich der Nutztierhaltung, ein begrenztes Potential, einen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemission in Deutschland zu leisten. Dabei ist zu beachten, dass N₂O Emissionen wesentlich durch die Art und Intensität der Futtererzeugung, Methanemissionen fast ausschließlich durch die Wiederkäuerverdauung und die CO₂-Emissionen sowohl durch die betriebsbedingten Emissionen im gesamten Produktionsprozess als auch durch die Landnutzung und vor allem Landnutzungsänderungen (z.B. Umwandlung von Grünland in Acker, Waldrodung) über die Kohlenstofffestlegung im Boden verursacht werden.⁷ Das erfordert systemorientierte und letztlich globale Ansätze, um nachhaltige THG-Minderungsstrategien zu entwickeln.

Darüber hinaus wird der Klimawandel direkte Auswirkungen auf die Nutztierhaltung haben. Durch die zu erwartende Temperaturerhöhung und die dramatische Zunahme von Extremwetterereignissen, wie Hitzewellen und Hagelschauer, ist mit einer zunehmenden Belastung der Tiere infolge regional neu auftretender biotischer (z.B. Krankheitserreger) und abiotischer Faktoren (z.B. Hitzestress), veränderter Futterpflanzenzusammensetzung und diskontinuierlicher Futterversorgung zu rechnen.⁸

Der aktuelle Bericht des UN-Weltklimarates⁹ macht deutlich, dass die Zukunft von Wirtschaft und Gesellschaft in diesem Jahrhundert entscheidend von den jetzt zu treffenden Weichenstellungen zu Klimaschutz und Anpassung abhängt. Mit dem vorliegenden Positionspapier sollen zum einen die klimarelevanten Aspekte der Nutztierhaltung dargestellt sowie mögliche Emissionsminderungspotentiale (Minderungsstrategien) aufgezeigt und einer systemischen Nachhaltigkeitsbetrachtung unterzogen werden. Zum anderen werden die möglichen Auswirkungen des prognostizierten Klimawandels auf die europäische Nutztierhaltung erörtert, mögliche Anpassungsstrategien im Bereich von Tierzucht und -haltung abgeleitet und der notwendige Forschungsbedarf aufgezeigt. Dabei fokussiert das Positionspapier in der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ auf die Kernbereiche der Nutztierhaltung „Primärproduktion und vorgelagerte Bereiche“. Die Bereiche Verarbeitung, Vermarktung und Verbraucher werden nicht betrachtet.

2. NUTZTIERHALTUNG UND EMISSIONEN (MINDERUNGSSTRATEGIEN)

Der anthropogen bedingte Klimawandel bedroht die Leistungsfähigkeit natürlicher und agrarischer Ökosysteme. Deshalb wurden Klimaschutzziele international vereinbart, die insbesondere auf die kontrollierte Reduktion von Treibhausgasen abzielen. Es erfordert ein weltweit konzertiertes Vorgehen aller zur Treibhausgasbelastung beitragenden Nationen und Sektoren. Die klimawirksamen Emissionen werden im Wesentlichen aus den Kohlendioxid-, Methan- und Lachgasemissionen berechnet und als CO₂-Äquivalente (CO₂-Äq) unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Treibhausgaspotentials dieser Gase ausgedrückt. Darauf aufbauend werden produktbezogene „Carbon footprints“ (CF) kalkuliert. Die wichtigsten Quellen im Bereich der Landwirtschaft stellen die landwirtschaftlichen Böden, die Stickstoffdüngerherstellung und -nutzung sowie die Verdauung der Nutztiere dar.⁶

Hinsichtlich der Klimarelevanz ist dabei der Flächenbedarf für die Futtererzeugung von besonderer Bedeutung. Er übersteigt weltweit gesehen den Bedarf für die Erzeugung von pflanzlichen Lebensmitteln für den Menschen beträchtlich. In Deutschland werden 63 % der 16,9 Mio. ha landwirtschaftlich genutzter Fläche für den Futteranbau genutzt.¹⁰

Die Höhe der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen hängt entscheidend vom Produktionssystem und -niveau sowie der Produktivität ab. So z.B. zeigte eine vergleichende

⁷ Flachowsky, G., Brade, W., Feil A., et al. (2011): Carbon (CO₂)-footprints bei der Primärerzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft: Datenbasis und Reduzierungspotentiale. Übers. Tierernährung, 39, 1-45.

⁸ Stock, M. (2008). Klimawandel und Szenarien für Deutschland und ihre möglichen Folgen für Land- und Wasserwirtschaft. Arch. Tierzucht 51, 5-11.

⁹ <http://www.ipcc.ch>.

¹⁰ Flachowsky, G., S. Dänicke, P. Lebzien, U. Meyer (2008): Mehr Milch und Fleisch für die Welt – Wie ist das zu schaffen? ForschungsReport 2/2008, 14-17.

FAO-Studie (2010)¹¹ im Milchviehbereich, dass bezogen auf die erzeugte Proteinmenge Regionen im Nahen Osten, in Südasien, Nordafrika und dem Subsaharagebiet etwa die 3 bis 5-fache Menge THG-Emission als Industrieregionen in Europa und Nordamerika aufwiesen.

Obwohl in Deutschland mit 13,9 % der Anteil der Landwirtschaft an den gesamten CO₂-Emissionen im Vergleich zu den energiebedingten Emissionen aus Industrie, Verkehr und Haushalten relativ gering ist,⁶ sollen nachfolgend ausgehend von einer Ist-Standanalyse die Treibhausgasminderungspotentiale der deutschen Nutztierhaltung aufgezeigt sowie der Forschungsbedarf und Handlungsoptionen für deren erfolgreiche Umsetzung abgeleitet werden.

2.1. Status quo – Emissionen aus der Nutztierhaltung entlang der Wertschöpfungskette

Um Möglichkeiten von Minderungspotentialen und daraus resultierende Handlungsempfehlungen ableiten zu können, bedarf es zunächst der Betrachtung des Status quo und der Beantwortung der Frage, wie hoch die Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung entlang der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ sind.

Die Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ umfasst folgende Bereiche:

1. vorgelagerter Bereich (u. a. Dünger- u. Futterproduktion, Maschinen- u. Gebäudebau),
2. Landwirtschaftliche Primärproduktion,
3. Verarbeitung der Rohware,
4. Vermarktung der Lebensmittel und Rohware (Transport, Verpackung, Kühlung),
5. Verbraucher.

Nur wenige Studien haben versucht, Emissionen in den einzelnen Stufen bzw. Nahrungsmittelgruppen vergleichend zu quantifizieren und zu beurteilen, inwieweit die Teilbereiche zur Gesamtbelastung beitragen. Auch sind die Ergebnisse dieser Studien nur bedingt vergleichbar, da sowohl die Datenerhebung als auch die Art der Bilanzierung oft sehr unterschiedlich vorgenommen wurden. In einer ersten Studie aus dem Jahr 1994¹² wird für die Wertschöpfungskette „Ernährung“ ein bundesdeutscher Gesamtausstoß von 260 Mio. t CO₂Äq pro Jahr ermittelt. Hier fallen auf die Stufe Landwirtschaft inklusive vorgelagertem Bereich (Tier- und Pflanzenproduktion) 135 Mio. t CO₂Äq/a, auf die Verarbeitung (Nahrungsmittelgewerbe und Handwerk) 15 Mio. t CO₂Äq/a und auf den Handel (Verpackung, Transport und Lagerung) 35 Mio. t CO₂Äq/a. Die durch den Verbraucher verursachten Emissionen betragen 75 Mio. t CO₂Äq/a, auf die in diesem Positionspapier nicht näher eingegangen wird. Bei der Betrachtung des vorgelagerten Bereiches können etwa 45,3 Mio. t CO₂Äq/a in Ansatz gebracht werden, wobei die N-Düngerherstellung auf Grund der entstehenden N₂O-Emissionen mit rund 16 Mio. t CO₂Äq/a den größten Anteil beisteuert.¹³

Innerhalb der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ entfällt somit der höchste Anteil der THG-Emissionen auf den Produktionsbereich. Betrachtet man die Stufe der landwirtschaftlichen Primärproduktion detaillierter, so lassen sich die THG-Emissionen, wie in der Tabelle 1 dargestellt, den verschiedenen Quellenbereichen zuordnen.⁶ Demnach sind die Verdauung der Nutztiere, insbesondere der Wiederkäuer, mit 19,5 Mio. t CO₂Äq/a, das Wirtschaftsdüngermanagement mit 8,0 Mio. t CO₂Äq/a sowie die Bodennutzung bzw. Landnutzungsänderung mit rund 85 Mio. t CO₂Äq/a ursächlich für den größten Anteil an THG-

¹¹ FAO (2010). Greenhouse gas emissions from the dairy sector. A Life Cycle Assessment. FAO, Rome.

¹² Kramer, I., Müller-Reißmann, K.F., Schaffner, J., Bossel, H., Meier-Ploeger, A., Vogtmann, H. (1994): Landwirtschaft und Ernährung. Veränderungstendenzen im Ernährungssystem und ihre klimatische Relevanz. Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages: Landwirtschaft und Ernährung. Teil B.

¹³ Projekt „UGR-Berichtsmodul Landwirtschaft und Umwelt“, Institut für Ländliche Räume des Johann Heinrich von Thünen-Institutes (vTI), 2011.

Emissionen aus der Nutztierhaltung verantwortlich.⁶ Durch die Verdauung der Wiederkäuer werden im Wesentlichen CH₄-Emissionen verursacht. Während der hohe Anteil an CO₂-Emissionen aus der Bodennutzung vor allem Emissionen durch Landnutzungsänderungen und einen kleineren Beitrag aus der Anwendung von Harnstoffdünger beinhaltet, sind die N₂O-Emissionen im Bereich Bodennutzung und Landnutzungsänderung zum Großteil auf die Anwendung der Mineral- und Wirtschaftsdünger sowie den Weidegang und die Bearbeitung organischer Böden zurückzuführen. Bei der Lagerung von festen Wirtschaftsdüngern ist neben CH₄ auch N₂O als klimawirksames Gas von Bedeutung. Nachfolgend werden die Möglichkeiten zur Reduzierung der THG-Emissionen in diesen Bereichen diskutiert.

Tabelle 1: Klimarelevante Emissionen der deutschen Landwirtschaft 2008⁶

Quelle	Emissionen [Mio. t CO ₂ -Äquivalente]			
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Summe
Verdauung Nutztiere	0,0	19,5	0,0	19,5
Wirtschaftsdüngermanagement	0,0	5,7	2,2	8,0
Bodennutzung und Landnutzungsänderung	45,5	0,0	39,4	84,9
Bodenkalkung	2,0	0,0	0,0	2,0
Energiebedingte Emissionen (z. B. Kraftstoffe)	6,3	0,0	0,0	6,4
N-Düngerherstellung	5,1	0,3	8,5	13,9
Summe Landwirtschaft	58,9	25,6	50,1	134,6
Summe aller Sektoren	862,5	47,7	60,2	970,4
Anteil der Landwirtschaft an der Gesamtemission	6,8 %	53,7 %	83,2 %	13,9 %

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die für die Erzeugung des tierischen Proteins verwendeten Tierarten/Rassen bzw. die Art des erzeugten tierischen Proteins (Mastrind – Fleisch, Milchrind – Milch, Mastschwein – Fleisch, Mastgeflügel – Fleisch, Legehennen – Eier) signifikant die THG-Emission je Kilogramm erzeugten essbarem Protein beeinflussen (s. Abb. 1).¹⁰ Mit den 48 % anteilig auf die im vorliegenden Positionspapier nicht näher betrachteten Bereiche der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ (Verarbeitung, Vermarktung, Verbraucher) entfallenden THG-Emissionen, sind neben den nachfolgend im Abschnitt 2.2. beschriebenen THG-Minderungsmöglichkeiten des vorgelagerten und Produktionsbereiches weitere Reduzierungspotentiale vorhanden. In diesen nachgelagerten Bereichen werden die wesentlichen Minderungspotentiale in einer substanziellen Senkung der Verluste¹⁴ und einer nachhaltigen Änderung des Konsumverhaltens der Menschen^{15,16} gesehen, da beide die für die Futterproduktion benötigte Fläche an landwirtschaftlichen Böden, als wichtigste THG-Quelle, erheblich beeinflussen.

2.2. Reduzierungspotentiale

Die im Mittel (je Einwohner) zur Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft erforderliche Fläche an landwirtschaftlichen Böden hängt entscheidend von der Höhe der Pflanzener-

¹⁴ FAO (2011): Global food losses and food waste. FAO, Rome.

¹⁵ Godfray, H.C.J.; Beddington, J.R. et al. (2010): Food security: The challenge of feeding 9 billion people. Science 327, 812-819.

¹⁶ Woitowitz, A. (2007): Auswirkungen einer Einschränkung des Verzehrs von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf ausgewählte Nachhaltigkeitsindikatoren. Diss. TU München.

träge und der Leistungshöhe der Tiere ab und ist bei gleichen Erträgen umso höher, je mehr Protein tierischer Herkunft weltweit verzehrt wird.¹⁰ Das bedeutet u. a., dass eine zukünftige, den Bedarf deckende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft und eine nachhaltige Minderung der THG-Emissionen je erzeugtem Produkt nur dann möglich ist, wenn es gelingt, einen höheren Flächenertrag bei der Futterproduktion und/oder eine Leistungssteigerung bzw. höhere Ressourceneffizienz in der Tierproduktion zu erreichen.

Die Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft erfolgt in einem höchst komplexen System in welchem Emissionen bzw. Umweltbelastungen nur eine von vielen ebenfalls wichtigen Zielgrößen darstellen. So sind z.B. weitere, bei der Gesamtbewertung der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft zu beachtende Kriterien: die Rentabilität der Produktion, der Ressourceneinsatz und -verbrauch (wie Fläche, Wasser, Energie), die Ernährungssicherung, das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere, die Lebensmittelsicherheit und -qualität, die Verbraucherakzeptanz, der Erhalt der Biodiversität.

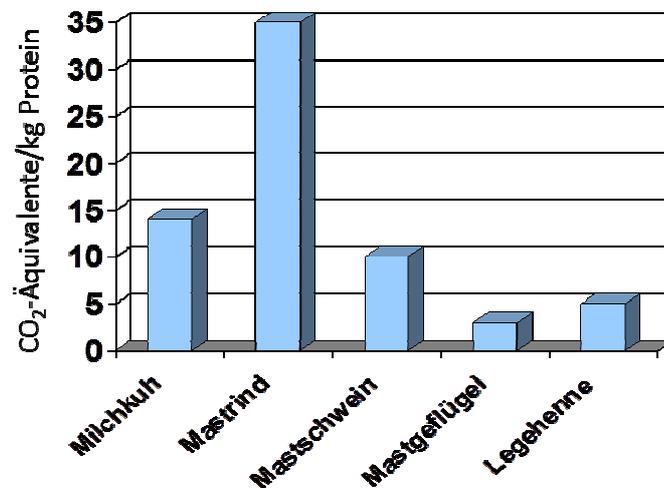


Abbildung 1: Erzeugung von essbarem Protein tierischer Herkunft mit verschiedenen Tierarten und -kategorien - Treibhausgasemission je Kilogramm erzeugten essbaren Proteins.¹⁰

In entsprechender Weise ist für die Ableitung und nachhaltige Nutzung von THG-Reduzierungspotentialen im Bereich der Nutztierhaltung eine Systembetrachtung aller THG-Emissionsquellen unerlässlich. Dies schließt die tierbezogenen Emissionen (z.B. ruminale Methanproduktion oder N-Effizienz) genauso ein wie die managementbezogenen (z.B. Wirtschaftsdüngermanagement) und Bodennutzung bzw. Landnutzungsänderung bezogenen Emissionen (z.B. einschließlich Emissionen, die mit dem Import von Futter- und Produktionsmitteln verbunden sind). Die Tierhaltung trägt durch die Emission von CH₄ und N₂O unmittelbar zum Treibhauseffekt bei. Darüber hinaus wird NH₃ freigesetzt, das durch den Eintrag in die Umwelt zur N₂O-Bildung führen kann. Nachfolgend sollen die THG-Minderungspotentiale in den Bereichen Nutztierzucht, Nutztierhaltung, Wirtschaftsdüngermanagement und Landnutzung aufgezeigt und diskutiert, einer systemische Nachhaltigkeitsbetrachtung unter Beachtung der verschiedenen THG-Quellen und weiterer Gütekriterien unterzogen, wesentliche Zielkonflikte herausgearbeitet und dringend notwendiger Forschungsbedarf abgeleitet werden.

2.2.1. Nutztierzucht

Es ergibt sich aus den biologischen Grundlagen des Stoffwechsels der Tiere, dass höhere Leistungen bis zu einer optimalen Intensität zu einem geringeren CF je kg Produkt und höherer Ressourceneffizienz führen, da sich z.B. die auf den unproduktiven Erhaltungsbedarf

entfallenden Ausscheidungen auf eine größere Produktmenge verteilen.^{11,17} So konnte z.B. in den USA durch die Selektion auf hohe Milchleistung beim Holstein-Rind in den vergangenen 50 Jahren die Methanemission, deren Anteil am CF je nach Leistung und Fütterung 50 - 80 % betragen kann, von 61,8 auf 26,8 g Methan je kg Milch gesenkt werden.¹⁸ Allerdings ist eine einseitige Selektion auf hohe Einzeltierleistung auf Grund der bei hochleistenden Tieren beobachteten vermehrten Gesundheitsprobleme und erhöhten Abgangsraten weder im Interesse einer nachhaltigen Reduzierung der THG-Emissionen, der Sicherung einer hohen Tiergesundheit noch einer rentablen Produktion. Wesentliche Voraussetzung für eine rentable Milcherzeugung ist die züchterische Verbesserung von Milchleistung und Nutzungsdauer. Bei auch zukünftig zu erwartenden hohen Milchproduktionskosten und zunehmend volatilen Milchpreisen wird eine effiziente Milchproduktion nur durch eine Steigerung der Leistung je Lebenstag möglich. So muss z.B. aus ökonomischer Sicht gegenwärtig die Leistung einer Kuh mindestens 15 kg Milch je Lebenstag betragen, um ihre Kosten zu amortisieren und Gewinn zu erwirtschaften. Das entspricht z.B. einer Lebensleistung von ≥ 30.000 kg Milch bei einer Nutzungsdauer von 3,5 Laktationen.¹⁹ Des Weiteren müssen die Einzeltierleistungen im Sinne einer systemischen Bewertung der THG-Reduzierungspotentiale immer im Kontext der verschiedenen Produktionsrichtungen (Milch, Fleisch) und unter Beachtung des Anspruchs an hoch verdauliche Futtermittel und damit der Landnutzungsänderungen betrachtet werden.¹¹

Als alternative Selektionsstrategien werden die Zucht auf eine effektivere Futterkonvertierung und die direkte Zucht auf verminderte Methanemission diskutiert.²⁰ Diese Strategien haben das Potential, keine oder nur geringe Interaktionen mit der Tiergesundheit aufzuweisen oder Landnutzungsänderungen zu verursachen. Tiere mit z.B. geringer Restfutteraufnahme (RFI) als Maß für die Nettofuttermittelverwertung emittieren bis zu 28 % weniger Methan als Tiere mit hoher RFI.²¹ In Respirationskammeruntersuchungen wurde unter Erfassung der Methanverlustenergie bei Deutschen Holstein Kühen nicht nur gezeigt, dass mit zunehmender Futtermittelaufnahme/Milchleistung die tierbezogene Methanemission signifikant abnimmt, sondern auch, dass bei gleicher Leistung die tierbezogene Methanemission um bis zu 100 % zwischen den einzelnen Individuen variiert. Damit konnte die züchterische Relevanz dieses Merkmals deutlich gemacht werden.²² In neuesten Untersuchungen beim Schaf²³ wurde unter Verwendung der SF₆-Tracer-Technik gezeigt, dass es Tiere gibt, die konsistent unter verschiedenen Fütterungsbedingungen hohe bzw. niedrige Methanausscheider sind und dass dieses Merkmal einen züchterisch relevanten Erblichkeitsgrad (h^2) von 0,29 besitzt.

2.2.2. Nutztierhaltung

Haltungsverfahren und Produktionstechnik (z.B. Einstreu- oder einstreulose Verfahren) können einen Einfluss auf die Höhe der Treibhausgasemissionen haben und zu Verschiebungen der einzelnen Komponenten führen.^{24,25,26} Insgesamt muss eingeschätzt werden, dass das

¹⁷ Buddle, B. M., Denis, M., Attwood, G. T., et al. (2011): Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. *Vet. J.* 188, 11-17.

¹⁸ Capper, J. L., Cady, R. A., Bauman, D. E. (2009): The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *J. Anim. Sci.* 87, 2160-2167.

¹⁹ Wangler, A. (2009): Untersuchungen zu Abgangsraten bei Milchkühen. *Beiträge zur Tierproduktion. Mitteilungen der LFA für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern*, Heft 41, 25-30.

²⁰ Niemann, H., Kuhla, B. and Flachowsky, G. (2011): The perspectives for feed efficient animal production. *J. Anim. Sci.*, doi.10.2527/jas.2011-4236.

²¹ Nkrumah, J. D., Okine, E. K., Mathison, G. W., et al. (2006): Relationship of feedlot efficiency, performance, and feeding behavior with metabolic rate, methane production, and energy partitioning in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 145-153.

²² Jentsch, W., Piatkowski, B., Schweigel, M., Derno, M. (2009): Quantitative results for methane production of cattle in Germany. *Arch. Tierzucht* 52, 587-592.

²³ Pinares-Pitano, 2011 (zit. in Buddle et al.¹⁷).

²⁴ Ki Youn Kima, Han Jong Kob, Hyeon Tae Kimb, Yoon Shin (2008). Quantification of ammonia and hydrogen sulfide emitted from pig buildings in Korea. *Journal of Environmental Management* 88, 195-202.

THG-Minderungspotential von Haltungsverfahren und Produktionstechnik sehr begrenzt ist, da sich in der Gesamtbilanz kaum Änderungen ergeben und zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur wenig technische Möglichkeiten zur Gesamtminimierung der Emissionen verfügbar sind.⁶ Wichtiger aus Umweltsicht erscheinen gegenwärtig Maßnahmen wie konsequente Multiphasenfütterung (s. 2.2.3), d.h. angepasste Eiweißversorgung, Güllelagerungs- und Verbringungsverfahren oder die Nutzung spezifischer Entmistungs- (z.B. Spülmistung) bzw. Luftreinigungsverfahren.

2.2.3. Tierernährung/Fütterung

Tierernährung und -fütterung besitzen ein erhebliches THG-Minderungspotential. Wesentliche Ansätze zur Reduzierung der THG-Emissionen im Zusammenhang mit der Ernährung und der Fütterung der Tiere können wie folgt zusammengefasst werden:^{7,27,28}

- die Zucht von Tieren, die in der Lage sind, durch z.B. eine effizientere Verdauung die Futtermittel effektiver in Lebensmittel umzuwandeln (z.B. Tiere mit geringerem Erhaltungsbedarf oder geringerer Methanbildung oder erhöhter Futteraufnahme), was zu einer Verminderung der Emissionen je Produkteinheit führen würde,
- die Optimierung von Fütterungsmaßnahmen, z.B. zur Reduzierung der N-Ausscheidung durch Aminosäuresupplementierung zur exakten Deckung des Aminosäurebedarfs oder Phasenfütterung der Tiere oder Erhöhung der Dickdarmfermentation,
- der Einsatz von Futterzusatzstoffen zur Minderung der Emissionen z.B. der Methanausscheidung durch phyto gene oder Wasserstoff bindende Zusatzstoffe,
- die Zucht von Futterpflanzen mit geringerem Gehalt an Inhaltsstoffen (z.B. Lignin, Phytat), welche die Verdaulichkeit wertbestimmender Inhaltsstoffe in den Pflanzen reduzieren, um die Verdaulichkeit wertbestimmender Inhaltsstoffe zu erhöhen.

Hinsichtlich emissionsmindernder Effekte von Tierernährung und Fütterung sind neben dem Einsatz von Futterzusatzstoffen insbesondere Effizienz erhöhende pflanzen- und tierzuchtliche Maßnahmen bedeutsam.

2.2.4. Wirtschaftsdüngermanagement

Aus der Wirtschaftsdüngerlagerung und -ausbringung werden für Deutschland rechnerisch ca. 8 Mio. t CO₂Äq ermittelt (s. Tab. 1).⁶ Hierbei sind 5,7 Mio. t CO₂Äq auf Methanemissionen und rund 2,2 Mio. t CO₂Äq auf Lachgasemissionen zurückzuführen. Insgesamt stellt der Anteil aus dem Wirtschaftsdüngermanagement rund 6 % an den gesamten landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen dar. Zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen bei der Lagerung von Gülle steht die Verminderung der CH₄-Emissionen im Vordergrund. Diese kann entweder durch möglichst kühle Lagerung der Gülle oder aber durch gasdicht abgeschlossene Lagerung erreicht werden. Im Vergleich zur Unterflurlagerung führt eine Lagerung in Außenlagern zu einer geringeren Temperatur in der gelagerten Gülle und somit zu einer geringeren Methanbildungsrate. Diese Maßnahme führt jedoch nur zu einer sehr eingeschränkten und unsicheren Reduzierung der Emissionen. Gasdichte Abdeckung und kontrollierte Umsetzung des entstehenden CH₄ ist nur in Verbindung mit der Biogaserzeugung unter ökonomisch vertretbaren Bedingungen möglich. Werden zur Biogaserzeugung zusätz-

²⁵ Hoy S., Müller K., Willig R. (1997). Ammoniak- und Lachgasemissionen. Auswirkungen verschiedener Tiefstreuhaltungsverfahren für Mastschweine. Landtechnik 52 (1), 40-41.

²⁶ Eerden L.J., Harssema H., Klarenbeek J.V. (1981). Air from livestock buildings and plants. The relationship between the herd size and the risk of damage to plants growing around intensive cattle units. IPORapport 254, Wageningen,

²⁷ Flachowsky, G., Brade, W. (2007): Potenziale zur Reduzierung der Methan-Emissionen bei Wiederkäuern. Züchtungskde. 79, 417-465.

²⁸ Flachowsky, G., Lebzin, P. (2007): Lebensmittel liefernde Tiere und Treibhausgase – Möglichkeiten der Tierernährung zur Emissionsminderung. Übers. Tierernähr 35, 191-231.

lich Energiepflanzen in relevantem Umfang eingesetzt, wovon in Deutschland auszugehen ist, sollten Gärrückstände gasdicht abgedeckt gelagert werden und das hier entstehende CH₄ ebenfalls zur Energieerzeugung genutzt werden. Geht man davon aus, dass 50 % der 110 Mio. t in Deutschland anfallenden Gülle in Biogasanlagen vergoren wird²⁹, würden sich so ca. 3 Mio. t CO_{2Äq} durch die Reduktion von CH₄-Emissionen aus dem Güllelager vermeiden lassen. Hinzu kommt die Einsparung von CO₂ durch den aus der Gülle in der Biogasanlage erzeugten Strom in etwa derselben Größenordnung.

Bei der Lagerung von festen Wirtschaftsdüngern kann neben CH₄ auch N₂O als klimawirksames Gas von Bedeutung sein. Hierbei bestimmen vor allem die Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen bei der Festmistlagerung das Emissionsverhalten. Da diese stark von Witterungsbedingungen und Rotteverlauf beeinflusst werden, ist eine Steuerung der Bedingungen auf den meisten landwirtschaftlichen Betrieben schwierig umzusetzen. Die Emission direkt wirkender Treibhausgase (CH₄, N₂O) unmittelbar bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ist in der Regel unbedeutend. Hier kommt es vor allem zur NH₃-Freisetzung. Maßnahmen zur Reduzierung der NH₃-Emissionen vermindern indirekte THG-Emissionen, diese können allerdings durch erhöhte N₂O-Emissionen bei Einarbeitung oder Injektion der Gülle kompensiert werden. Die Bedingungen und Höhe dieser zusätzlichen Emissionen sind stark von Bodeneigenschaften und Witterungsbedingungen beeinflusst.

Durch Reduzierung der N-Verluste bei der Ausbringung kann ein höherer Anteil an N düngungswirksam werden. Wird dies bei der Anwendung von Mineraldüngern berücksichtigt, werden Treibhausgasemissionen aus der Produktion von Mineraldüngern eingespart. In vielen Regionen intensiver Nutztierhaltung kommt es durch die großen Mengen an zu verwendenden Wirtschaftsdüngern jedoch zu starken Überhängen in flächenbezogenen N-Bilanzen und somit zu hohen N₂O-Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden. Eine effektive Reduzierung von Treibhausgasemissionen bei der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ist somit nur möglich, wenn neben der Verwendung emissionsarmer Ausbringetechniken gleichzeitig N-Bilanzüberschüsse vermieden werden.

2.2.5. Landnutzung

In Deutschland werden ca. 17 Mio. ha landwirtschaftlich genutzt, dies entspricht 52 % der Landfläche. Davon entfielen im Jahr 2010 ca. 4,7 Mio. ha auf Dauergrünland und ca. 12 Mio. ha auf Ackerland. Dauergrünland dient weitgehend als Futterfläche für Rinder, Schafe und Ziegen und weist einen direkten Flächenbezug zur Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft auf. Diese Zuordnung ist bei Ackerflächen weniger eindeutig, da sehr häufig Koppelprodukte aus der pflanzlichen Erzeugung in der Nutztierfütterung eingesetzt werden, z.B. beim Raps (Primärprodukt Öl; Koppelprodukt Rapsextraktionsschrot). Eindeutig sind die Ackerflächennutzungen, die auf Futtergetreide (~ 3 Mio. ha) bzw. auf Maisanbau jenseits der Biogasproduktion (~ 1,7 Mio. ha) beruhen, der Nutztierhaltung zuzurechnen. In Summe wird in der Agrarstatistik ein Anteil von ca. 60 % als Futterfläche ausgewiesen.³⁰

Emissionsreduktionspotentiale betreffen darüber hinaus Flächen außerhalb von Deutschland, denn insbesondere über den Import von Soja aus Südamerika als Eiweißquelle für Nutztiere werden in Deutschland ca. 3 - 4 Mio. ha Fläche „virtuell“ importiert. Mit dem Import dieser Eiweißfuttermittel sind auch Emissionen durch Landnutzungswandel verbunden (z.B. bei Umwandlung von Savanne in Ackerland in Brasilien zur Sojaerzeugung; die FAO schätzt die THG-Emissionen je nach Herkunft auf 0,96 - 7 kg CO_{2Äq} je kg Sojaschrot).¹¹ Diese interkontinentalen Interdependenzen in der Landnutzung machen deutlich, dass eine standort-spezifische globale Bereitstellung von Emissionsdaten der Futtererzeugung eine Voraussetzung für die Identifikation von Optimierungspotentialen darstellt.

²⁹ Schultheiß, U.; Döhler H.; Schwab, M. (2010): Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft – jährliche Anfallmengen in der Bundesrepublik Deutschland. Landtechnik 65 (5), 354-356.

³⁰ Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland (2010). Tabelle 129: Anteil der Futterproduktion an der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Die THG-Emissionen aus heimischer landwirtschaftlicher Bodennutzung unterscheiden sich hinsichtlich der Bedeutung der einzelnen Klimagase insofern von den Emissionen aus der Nutztierhaltung, als das in der Tierhaltung relevante Methan in der pflanzlichen Erzeugung auf Mineralböden nur eine unwesentliche Rolle spielt. Vielmehr sind die N₂O-Emissionen und die CO₂-Emissionen durch Veränderungen des Bodenkohlenstoffhaushalts neben den betriebsbedingten Emissionen (CO₂) von zentraler Bedeutung. Da das Lachgas mit einem Faktor von 296 in die Berechnung der CO₂-Äq. eingeht, verursachen bereits geringe Unterschiede in den Lachgasemissionen je Hektar erhebliche Effekte auf die in CO₂-Äq. ausgedrückten gesamten Treibhausgasemissionen.

Sollen Reduzierungspotentiale adressiert werden, ist die relevante Bezugsgröße, die so genannte „funktionelle Einheit“ zu klären. Häufig wird als funktionelle Einheit die Fläche (ha) gewählt, was in der Regel dazu führt, dass wenig produktive extensive Anbausysteme die geringsten Emissionen verursachen. Vor dem Hintergrund der Welternährungsproblematik, der damit notwendigen Flächennutzungseffizienz und der globalen Handelsströme ist jedoch der Vergleich der Emissionen, die mit der Herstellung einer Einheit Futter verbunden sind, relevant. Durch die Analyse der Emissionen je Produkteinheit in CF können die komparativen Standortvorteile einzelner Regionen bzw. Intensitäten im Hinblick auf eine umweltaffiziente Futterproduktion identifiziert werden.³¹ Klärungsbedarf besteht bei der Bewertung unterschiedlicher Flächennutzungskonzepte, u. a. für die Produktion von Bioenergie.

Lachgas wird sowohl im Prozess der Nitrifikation als auch im Prozess der Denitrifikation freigesetzt. Das Ausmaß dieser Freisetzung wird wesentlich durch Standortfaktoren (Bodenwasserhaushalt/Textur) und die Intensität der N-Düngung beeinflusst. So weisen Grundwasser beeinflusste Böden mit hohen Tongehalten sowie Moore höchste Emissionen auf und Grundwasser ferne Sande die geringsten Emissionen. Darüber hinaus stellt Landnutzungswandel, insbesondere die Umwandlung von Grünland in Ackerland in Verbindung mit Entwässerungsmaßnahmen, eine wesentliche Quelle zusätzlicher THG-Emissionen dar. Daraus resultiert, dass eine Umwandlung von Dauergrünland in Ackerland insbesondere auf humusreichen und Grundwasser beeinflussten Böden unterbleiben sollte, während diese Effekte z.B. auf Grundwasser fernen Sandböden wesentlich geringer ausgeprägt sind.³² Das in mehreren Bundesländern als Bestandteil bestehende Grünlandumbruchverbot ist vor diesem Hintergrund kritisch zu hinterfragen, da z.B. eine Energieeinheit Futtermais auf sandigen Böden selbst unter Berücksichtigung des Humusabbaus nach Grünlandumbruch aufgrund sehr hoher Erträge mit wesentlich geringeren THG-Emissionen belastet ist als eine Energieeinheit Grünlandfutter.³³ Daraus ist abzuleiten, dass eine stärkere Differenzierung in „absolute“ und „fakultative“ Grünlandstandorte vorgenommen werden sollte, um weiteres Potential für die Reduzierung der durch Futtererzeugung induzierten THG-Emissionen zu erschließen. Absolute Grünlandstandorte (Moore, Grundwasser beeinflusste und erosionsgefährdete Böden) sind darüber hinaus dergestalt zu würdigen, dass diese Standorte keine Flächenkonkurrenz zum Acker und damit zur Erzeugung pflanzlicher Nahrungsmittel darstellen. Diese Flächen können nur durch Wiederkäuer landwirtschaftlich genutzt werden und stellen gleichzeitig ein wesentliches Element unserer Kulturlandschaft dar, welches weitere Ökosystemleistungen (Biodiversität, Erholungswert) bereitstellt. Gleichwohl ist insbesondere auf Moorstandorten die Frage der optimalen Bewirtschaftung (Grundwasserstand) im Einzelfall zu prüfen, da hohe Futtererträge und Futterqualitäten ausreichende Grundwasserflurabstände

³¹ Flachowsky, G.; Hachenberg, S. (2009). CO₂-footprints for food on animal origin – present stage and open questions. J. Verbr. Lebensm. 4, 190-198.

³² Taube, F., Herrmann, A., Loges, R. (2011). Grünlandumbruchverbot: Für Schleswig-Holstein gerechtfertigt? Schriftenreihe der A&E Fakultät der CAU Kiel, 117, 47-54.

³³ Taube F., Herrmann, A. (2009). Relative Vorzüglichkeit von Mais und Gras unter Berücksichtigung von Klimawandel. VTI, Landbauforschung, Sonderheft 331: Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisprodukten, 115-126.

voraussetzen, die zu erhöhten THG-Emissionen führen können.³⁴ Deshalb sind Möglichkeiten der Renaturierung und Wiedervernässung zu prüfen. Die betroffenen Flächen würden als Futterfläche ganz oder größtenteils verloren gehen.

Bezüglich der optimalen Intensität der Futtergetreideerzeugung auf produktiven Standorten sind in aller Regel vergleichsweise intensive Produktionssysteme mit einer hohen Stickstoffverwertungseffizienz mit einem niedrigeren CF je Getreideeinheit ausgestattet und semi-intensiven Systemen wie z.B. im Ökologischen Landbau überlegen.³⁵ Optimierungspotentiale stellen dort alle Maßnahmen dar, die die Stickstoffverwertungseffizienz erhöhen und damit möglichst geringe Restnitratmengen im Boden verursachen, die als Quelle für denitrifizierende Bakterien und damit für die Emission von Lachgas dienen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass THG-Reduktionspotentiale in der Landnutzung zur Futtererzeugung neben den übergeordneten gesellschaftlichen Aspekten vor allem standortabhängig zu sehen sind und insbesondere die Bereiche der Konservierung des Bodenkohlenstoffpools (absolutes Grünland) und Optimierung der Stickstoffverwertungseffizienz durch angepasste Düngungsmaßnahmen (s.a. 2.2.4) und Futterbaufruchtfolgen betreffen.

2.3. Zielkonflikte und Nachhaltigkeit

Ganzheitliche systemische Betrachtungen der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ zeigen zunehmend, dass die differenzierter und komplexer werdenden Anforderungen an eine Bedarf deckende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft auch zu nicht lösbaren Zielkonflikten führen können, welche dem Verbraucher und der Politik meist nicht bewusst oder bekannt und nur durch Prioritätensetzung zu lösen sind. So z.B. ergibt es sich aus den biologischen Grundlagen des Stoffwechsels der Tiere, dass die Produktion mit ansteigender Leistung bis zu einer optimalen Intensität effizienter wird und dass ein gesteigertes Leistungsvermögen der Tiere zu geringeren Ausscheidungen je Produkteinheit führt. Mit höherer Einzeltierleistung steigt der Anspruch an hoch verdauliche energiereiche Futtermittel und damit - in der Milchviehhaltung - die Verdrängung des Grünlandfutters und der Einsatz von Konzentratfuttermitteln vom Acker bzw. z.B. Sojaimporten überproportional an, was häufig mit negativen Implikationen für die Umwelt (Verlust an Biodiversität, Freisetzung Klima relevanter Gase durch Grünlandumbruch und Waldrodung) gekoppelt ist.^{36,37}

2.3.1. Zielkonflikte von Emissionsminderungsstrategien

Bei systemischer Betrachtung der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ mehren sich die Hinweise, dass unter Berücksichtigung der Nährstoff- und Energieeffizienz, der Einzeltierleistungen, der Emission klimarelevanter Gase, der Tiergerechtigkeit (Tiergesundheit und Wohlbefinden), der Verbraucheransprüche und weiterer gesellschaftlicher Forderungen, wie Erhalt der Biodiversität, die künftige rentable klimaschonende Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft nur unter Inkaufnahme einer Verschlechterung (oder des Verlustes) anderer öffentlicher Güter erreichbar sind.^{4,10} Nachfolgend werden exemplarisch der Einfluss ausgewählter klimarelevanter Faktoren auf ökonomische, ökologische und soziale Güter dargestellt:

³⁴ Haenel, H.-D.; Freibauer, A.; Rösemann, C.; Poddey, E.; Gensior, A.; Eurich-Menden, B.; Döhler, H. (2010). Emissionen landwirtschaftlich genutzter Böden im Rahmen der deutschen Klimaberichterstattung. KTBL-Schrift, Band 483, 11-25.

³⁵ Taube, F., Kelm, M., Loges, R., Wachendorf, M. (2006). Ressourceneffizienz als Steuergröße für die Förderung nachhaltiger Produktionssysteme: Gibt es Vorrang-/Eignungsflächen für den ökologischen Landbau? Berichte über Landwirtschaft 84, 73-105.

³⁶ Dalgaard, T. et al. (2002). Energy balance comparison of organic and conventional farming. OECD Workshop on Organic Agriculture, 23-26 Sept. 2002, Washington D.C. (USA).

³⁷ Kelm, M. et al. (2004). Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science* 59, 69-79.

- hohe Einzeltierleistungen, wie z.B. die Milchleistung je Tag, führen zu geringeren THG-Emissionen je Produkteinheit, können aber auch zu vermehrten Gesundheitsproblemen der Tiere führen,
- hohe Milchleistungen sind mit geringeren tierbezogenen THG-Emissionen aber geringerem Fleischertrag verbunden, die kompensatorische Mutterkuhhaltung führt zu erhöhten produktbezogenen THG-Emissionen,
- eine leistungsorientierte Fütterung beim Wiederkäuer mit z.B. hohem Kraffutter-/Fetteinsatz führt zu geringerer ruminaler Methanemission (THG-Minderung), aber u. U. gleichzeitig auch zu Verdauungsstörungen (z.B. Pansenazidose) und zu erhöhten landnutzungsänderungsbezogenen THG-Emissionen,
- Reduzierung des Raufutteranteils in der Ration von Wiederkäuern führt zu geringerer CH₄-Bildung. Für die Pansengesundheit sind aber entsprechende Raufutteranteile erforderlich,
- die Nutzung von weltweit 3,3 Mrd. ha Weideland für die Nahrungsmittelproduktion ist nur durch Wiederkäuer möglich, aber mit einer erhöhten ruminalen Methanproduktion verbunden,
- ganzjährige Weidehaltung führt zu geringeren landänderungsbezogenen THG-Emissionen, aber zu signifikant erhöhten tierbezogenen THG-Emissionen und gesteigertem Parasitenbefall,
- Käfighaltung von Legehennen führt im Vergleich zur Bodenhaltung zu geringeren THG-Emissionen.³⁸ Eine Berücksichtigung schließt sich aber aus, da vorgesehen ist, die Kleingruppenhaltung, eine auf Basis des ‚Ausgestalteten Käfigs‘ nach EU-Vorgabe entwickelte Haltungsform, in Deutschland künftig zu verbieten.

2.3.2. Systemische Nachhaltigkeitsbewertung von Emissionsminderungsstrategien

Die in Abschnitt 2.3.1. dargestellten, z.T. entgegengesetzten ökonomischen, ökologischen und sozialen Wirkungen verschiedener Anforderungen an den Produktionsprozess resultieren bereits spürbar in einer Nachfrage nach neuen Produktionsflächen und -technologien aber auch zunehmenden Unsicherheiten bei Entscheidungsprozessen. Umfängliches und multidisziplinär erarbeitetes Wissen muss jetzt genutzt und gezielt ergänzt werden, um den vielfältigen Forderungen einer nachhaltigen Entwicklung ländlicher Räume auch zukünftig gerecht werden zu können, neue Risiken zu minimieren, Zielkonflikte zu identifizieren sowie Nutzungsfolgen abzuschätzen und ganzheitliche, hierarchisch gegliederte Zielkomplexe ableiten zu können.

In der Tabelle 2 sind die unter der Wirkung von ausgewählten Faktoren (Einzeltierleistung, Fütterung, Haltungsform) positiv bzw. negativ beeinflussten Gütekriterien (Wirtschaftlichkeit, THG- und sonstige Emissionen, Ressourcenverbrauch, Nahrungskonkurrenz, Verbraucherakzeptanz, Volatilitätsunabhängigkeit) als Übersicht dargestellt. Es wird deutlich, dass eine selektive Betrachtung der komplexen Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“ zu einseitigen Schlussfolgerungen und auch zu Fehleinschätzungen führen wird. Die Ableitung nachhaltiger Emissionsminderungsstrategien der Nutztierhaltung setzt die Gesamtbewertung der Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft und die Einbeziehung aller weiteren relevanten Gütekriterien wie auch aller in Frage kommenden THG-Emissionsquellen voraus.

Die Emissionsminderungsstrategien bedürfen aufgrund der komplexen Sachverhalte einer systemischen Nachhaltigkeitsbewertung. Ökonomisch können die zur Auswahl stehenden Minderungsmaßnahmen von THG-Emissionen der Nutztierhaltung anhand der CO₂-Minderungskosten beurteilt werden. Deren Ermittlung gestaltet sich vor allem aufgrund der Festle-

³⁸ Xin, H., Gates, R. S., Green, A. R. et al. (2011): Environmental impacts and sustainability of egg production systems. *Poultry Sci.* 90, 236-277.

gung von Systemgrenzen außerordentlich schwierig. Wesentliche Bedeutung hat in diesem Zusammenhang der Effekt der Landnutzungsänderung durch den Einsatz von Futtermitteln.

Neben den ökonomischen Auswirkungen sind die einzelnen Maßnahmen der Emissionsminderungsstrategien mit zahlreichen weiteren Nebenwirkungen verbunden. Die Bewertung der einzelnen Maßnahmen muss daher unter Berücksichtigung der systemischen Wirkungen erfolgen und kann nicht auf die Minderung von THG-Emissionen reduziert werden. So kann eine Minderung der THG-Emissionen mit einer weniger artgerechten Haltung verbunden sein. Die Lösung derartiger Zielkonflikte setzt eine Prioritätensetzung voraus, die unter Berücksichtigung sich verändernder Bedingungen stetig fortgeschrieben werden muss.

Tabelle 2: Möglicher Einfluss von drei ausgewählten Faktoren der Nutztierhaltung auf klimarelevante und sonstige Gütekriterien

Faktoren		Möglicher positiver Einfluss auf ...	Möglicher negativer Einfluss auf ...
a)	Hohe tierische Leistung	<ul style="list-style-type: none"> - Produkt bezogene THG-Emission - Wirtschaftlichkeit - Produkt bezogener Ressourcenverbrauch - Sonstige Emissionen (P, N) 	<ul style="list-style-type: none"> - Landnutzungsänderung bezogene THG-Emission - Nahrungskonkurrenz - Tiergesundheit - Verbraucherakzeptanz - Volatilitätsunabhängigkeit
b)	Leistungsorientierte Fütterung (hoher Kraftfutter-, Fetteinsatz)	<ul style="list-style-type: none"> - Produkt bezogene THG-Emission - Wirtschaftlichkeit - Produkt bezogener Ressourcenverbrauch - Sonstige Emissionen (P, N) 	<ul style="list-style-type: none"> - Pansengesundheit - Nahrungskonkurrenz - Verbraucherakzeptanz - Volatilitätsunabhängigkeit
c)	Auslauf-/Weidehaltung (ganzjährig)	<ul style="list-style-type: none"> - Landnutzungsänderung bezogene THG-Emission - Verbraucherakzeptanz - Nahrungskonkurrenz - Volatilitätsunabhängigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> - Produkt bezogene THG-Emission - Landnutzung bezogene THG-Emission - Wirtschaftlichkeit - Sonstige Emissionen (P, N) - Produkt bezogener Ressourcenverbrauch - Tiergesundheit

Die systemische Beurteilung gestaltet sich beim Wiederkäuer durch die Flächenbindung noch wesentlich komplexer als beim Monogaster. Eine Hauptleistung des Wiederkäuers besteht seit jeher darin, aus Biomasse, die weder als Nahrungsmittel für den Menschen noch als Futtermittel für die Monogaster geeignet ist, hochwertige Nahrungsmittel zu erzeugen. Sofern diese Form der Biomasse nicht anderweitig nutzbar ist, würde ein Verzicht auf die Verfütterung an den Wiederkäuer zwar zu einer Reduzierung der THG-Emissionen führen. Dann würden aber diese Nahrungsmittel nicht zur Verfügung stehen. Am Beispiel des Grünlands ist das gut zu veranschaulichen. Sofern Grünland aus Gründen des Ressourcenschutzes weder in Ackerland umgewandelt noch aufgeforstet werden soll, stellt der Wiederkäuer die einzige Möglichkeit dar, Nahrungsmittel zu erzeugen. Dann ist die damit verbundene Emission ein nicht zu vermeidender Nebeneffekt.

Anders verhält es sich, wenn der Wiederkäuer mit Kraftfutter versorgt wird, das sowohl an den Monogaster zu verfüttern wäre oder unmittelbar vom Menschen als Nahrungsmittel genutzt werden könnte. In diesem Fall gilt es zwischen den verschiedenen Varianten abzuwägen. Auch die Frage der Systemgrenzen bei der Berechnung der THG-Emissionen spielt hierbei eine wichtige Rolle. Ein Beispiel sei die Berücksichtigung möglicher direkter und indi-

rekter Landnutzungsänderungen bei der Bereitstellung vor allem von Ackerfuttermittel.^{39,40,41} Nicht minder komplex sind die Zusammenhänge zwischen Emission von Treibhausgasen und Leistungsniveau. Beim Monogaster führt eine Leistungssteigerung unter sonst gleichen Bedingungen zu einer geringeren THG-Emission je erzeugte Einheit an Nahrungsmitteln. Es ist aber zu klären, ob die Leistungssteigerung nicht mit Auswirkungen auf das Tierwohl einhergeht, die aus heutiger Sicht eventuell nicht mehr akzeptiert werden.

Bei der Milchkuhhaltung sind die Zusammenhänge noch komplexer, weil die Kühe neben Milch auch noch Fleisch erzeugen. Eine Steigerung der Milchleistung führt unter sonst gleichen Bedingungen zu einer Verringerung der Zahl der Kälber. Bei gleicher Milch- und Fleischmenge muss ein Ausgleich über die Ausweitung der Mutterkuhhaltung gewährleistet werden. Die auf die erzeugte Milch entfallende THG-Menge verringert sich zwar, aber auf Kosten der auf das Fleisch bezogenen THG-Emission.⁴² Außerdem wird für die höhere Milchleistung mehr Kraftfutter und weniger Grundfutter benötigt. Es ist also erforderlich, die von den Milchkühen emittierten Treibhausgase über eine Allokationsmethode auf Milch und Fleisch zu verteilen.⁴³

2.4. Forschungsbedarf Minderungsstrategien

2.4.1. Objektive Quantifizierung von Ökobilanzen („Carbon Footprints“)

Die Datenbasis der bedeutsamsten Emissionen (CH₄, N₂O, CO₂) einschließlich entsprechender methodischer Arbeiten für die Ableitung von „Carbon Footprints“ ist noch sehr lückenhaft und bedarf der weiteren Quantifizierung. Eine wichtige Voraussetzung bildet die Entwicklung objektiver Methoden der Ökobilanzierung einschließlich der vergleichenden Betrachtung vorhandener und ihrer Vereinheitlichung. Dazu zählt auch die Abstimmung und Festlegung der Systemgrenzen sowie eine klare Definition der Zielgrößen (z.B. Fleisch bzw. essbare Teile).

2.4.2. Multifaktorielle Nachhaltigkeitsbetrachtung der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“

Neben der Klimarelevanz sind weitere wichtige Gütekriterien wie z.B. die Rentabilität, der Verbrauch von Ackerfläche, der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit, die Ausscheidungen an N, P und verschiedenen Spurenelementen, tierartgerechte Haltung, ethische Aspekte/Verbraucherakzeptanz einzubinden, eine hierarchische Bewertung dieser Gütekriterien nach ihrer Bedeutung vorzunehmen und die Möglichkeit einer Gesamtwertung anzustreben.

2.4.3. Zucht von Rindern auf geringere Methanemission

Die bei gleicher Leistung beobachteten, hohen individuellen Unterschiede in der Methanemission beim Wiederkäuer, das konsistente Auftreten hoher bzw. niedriger Methanausscheider unter verschiedenen Fütterungsbedingungen und ein mittlerer Erblichkeitsgrad weisen auf die tierzüchterische Relevanz dieses Merkmals hin.

³⁹ Hörtenhuber, S. J.; Lindenthal, T.; Zollitsch, W. (2011). Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: the case of Austrian dairy production. *J. Sci. Food. Agric.* 91, 1118-1127.

⁴⁰ Vellinga, T.V.; Hoving, I.E. (2011). Maize silage for dairy cows: mitigation of methane emissions can be offset by land use change. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 89, 413-426.

⁴¹ Fritsche, U.R., Hennenberg, K.; Hünecke, K. (2010). The "iLUC Factor" as a means to hedge risks of ghg emissions from indirect land use change. Darmstadt: Öko-Institut. <http://www.oeko.de/oekodoc/1030/2010-082-en.pdf>.

⁴² Zehetmeier M.; Baudracco, J.; Hoffmann, H ; Heißenhuber, A. (2011). Does increasing milk yield reduce greenhouse gas emissions? A system approach. *Animal*. doi:10.1017/S1751731111001467.

⁴³ Flysjö, A.; Cederberg, C., Henriksson, M., Ledgard, S. (2011). How does co-product handling affect the carbon footprint of milk? Case study of milk production in New Zealand and Sweden. *Int. J. Life Cycle Assess.* 16, 420-430.

Grundlage für eine erfolgreiche Zucht ist neben der Entwicklung geeigneter Phänotypen die Aufklärung der genetischen Ursachen der beobachteten individuellen Variation des Merkmals.

2.4.4. Zucht von leistungsfähigen, krankheitsresistenten und robusten Nutztieren

Bei auch zukünftig zu erwartenden hohen Produktionskosten und zunehmend volatilen Preisen wird eine effiziente Produktion nur durch eine Steigerung der Leistung je Lebenstag sowie einen reduzierten Mitteleinsatz möglich. Die wesentliche Voraussetzung für eine rentable Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft besteht deshalb in der weiteren züchterischen Verbesserung von Leistung und Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten/Nutzungsdauer. Die zukünftige Zucht hochleistender und gesunder Milchkühe erfordert zwingend weitere Forschung, wie z.B. zu den neuroendokrinen und gastrointestinalen Regulationsmechanismen der Futteraufnahme, den molekularen Mechanismen der differentiellen Verwertungskapazität von Kühen oder den Grundlagen der Resistenz bzw. Toleranz gegenüber Erkrankungen.

2.4.5. Verbesserung des Gesundheitsmanagements der Nutztiere

Grundsätzlich stellen optimale Management-, Fütterungs- und Haltungsbedingungen für die Ausschöpfung des genetischen Potentials und damit für die Haltung hochleistender und gesunder Nutztiere wesentliche Rahmenbedingungen dar. So z.B. erfordern Herden mit kurzen produktiven Laktationszeiten und entsprechend geringem Durchschnittsalter einen hohen Anteil an Nachzucht zum Erhalt der Herde. Wird die Lebenstageleistung und/oder Laktationszahl erhöht, z.B. durch eine Reduzierung der Aufzuchtdauer oder eine Verlängerung der Nutzungsdauer, insbesondere durch Verbesserung der Tiergesundheit, kann dieselbe Herdenmilchleistung mit weniger Jungtieren erzielt und ein Beitrag zur Minderung der THG-Emissionen geleistet werden.

2.4.6. Optimierte Futterbausysteme

Die Art und Intensität der Futtererzeugung determinieren insbesondere die N_2O -Emissionen, während Landnutzungsänderungen (z. B. Umwandlung von Grünland in Acker) über die Kohlenstofffestlegung im Boden wesentlich die CO_2 -Emissionen betreffen. Durch die Entwicklung optimierter Futterbausysteme im Hinblick auf Leistung (Futterwert von Kulturpflanzen) und ökologische Effekte (Bodenfruchtbarkeit; Fruchtfolgen mit Mais und Gras; Dauergrünland vs. Wechselgrünland etc.) kann ein wesentlicher Beitrag zur THG-Minderung geleistet werden. Eine nachhaltige Reduktion der THG-Emission erfordert systemorientierte Ansätze, die neben der Optimierung der Futterbausysteme z.B. auch die präzise Bedarfsermittlung und exakte Bedarfsdeckung der Tiere berücksichtigt (s. 2.4.7).

2.4.7. Bedarfsgerechte Fütterung zur Reduzierung der N_2O -Emissionen

Fütterungsmaßnahmen, welche die Stickstoff-Ausscheidung bei landwirtschaftlichen Nutztieren verringern, können nachhaltig zur Minderung von Lachgas beitragen (Ausscheidung von Harn-N durch Weidetiere, effiziente N-Ausnutzung der Düngung). Mögliche Ansätze sind z.B. die Anpassung des Proteingehalts des Futters an den Bedarf der Nutztiere, der Einsatz freier Aminosäuren und die Verschiebung der N-Exkretion von Harnstoff im Urin zu Protein im Kot, z.B. durch Zulage faserreicher Futtermittel.

2.4.8. Optimierung des N-Managements

Mehr als 30 % der Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft sind entweder direkt oder indirekt auf die N-Düngung (organisch und mineralisch) zurückzuführen. Mittelbar sind hiervon etwa 50 % über die organische Düngung und die zusätzlich notwendige mineralische Düngung im Futterbau mit der Nutztierhaltung verbunden. In vielen Regionen intensiver Nutztierhaltung sind starke Überhänge in flächenbezogenen N-Bilanzen und somit hohe N_2O -Emissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden festzustellen. Die effiziente Nutzung von organischen und mineralischen

Düngemitteln in der Produktion von Futtermitteln und die Vermeidung hoher Bilanzüberschüsse stellt daher eine wirksame Option zur Minderung von Treibhausgasemissionen aus der Nutztierhaltung dar.⁶

2.4.9. Zusatzstoffe in der Fütterung

Neben Fetten ist der Zusatz von Säuren oder pflanzlichen Stoffen wissenschaftlich zu untersuchen, die Wasserstoff im Pansen binden und somit die CH₄-Bildung hemmen könnten. Dabei sind die im Labormaßstab erzielten Ergebnisse vor Übertragung in die Praxis in Tierversuchen zu überprüfen und abzusichern.

2.4.10. Management- und technisch/baulichen Maßnahmen zur Minderung von THG-Emissionen aus dem Bereich der Nutztierhaltung

Nach heutigem Stand des Wissens können innerhalb der Haltungssysteme keine quantifizierbaren Minderungsmaßnahmen genannt werden. Es fehlen Untersuchungen sowohl zum Einfluss des Managements oder technisch/baulicher Maßnahmen auf die Emissionen von CH₄ und N₂O unter Praxisbedingungen z.B. von Güllelagerungs- und Verbringungsverfahren oder spezifischen Entmistungsverfahren (z.B. Spülmistung) sowie zur Abschätzung der absoluten Reduktionspotentiale bzw. der Minderungskosten.

2.4.11. Nutzungseffizienz der Wertschöpfungskette „Lebensmittel tierischer Herkunft“

Durch die Erhöhung der Nutzungseffizienz Futter, Lebensmittel, Abfälle kann ein wesentlicher Beitrag geleistet werden, um den steigenden Energiekosten und den Treibhausgasemissionen zu begegnen. Dabei sind die Verluste entlang der gesamten Wertschöpfungskette von der Futtererzeugung über Futterlagerung, -konservierung Futterverwertung durch das Tier bis hin zum Verbraucher in eine systemische Betrachtung einzubeziehen.

2.4.12. Systembeurteilung von Produktionsverfahren der Nutztierhaltung

Neben der Verbesserung und Optimierung einzelner Glieder tierischer Produktionsverfahren ist die Beurteilung und Verbesserung des Gesamtsystems von entscheidender Bedeutung. Mögliche Trade-offs (Verbesserung an einer Stelle bei gleichzeitigen negativen Auswirkungen auf andere Bereiche) sollen dadurch aufgezeigt und bewertet werden. Mögliche Forschungsfragen sind z.B. (i) die Systembeurteilung von Tierhaltungsverfahren unter Mitwirkung von Produzenten, Lebensmitteleinzelhandel und Konsumenten, (ii) die Etablierung von Verfahren und Kriterien zur Beurteilung der Produktionsintensität (Leistungshöhe) oder der Wirtschaftlichkeit grundfutterbasierter Milcherzeugung (low-input) und (iii) der internationale Vergleich von Produktionssystemen bezüglich Wirtschaftlichkeit, Tierwohl und Akzeptanz.

3. NUTZTIERHALTUNG UND KLIMAWANDEL (ANPASSUNGSSTRATEGIEN)

Nutztierhaltung ist vom Klimawandel unmittelbar betroffen. Durch die für Mitteleuropa prognostizierten regionalen Temperaturerhöhungen, Niederschlagsänderungen und die erwartete Zunahme von Extremwetterereignissen, wie z.B. Hitzewellen,⁸ ist nicht nur mit Hitzestress und dadurch bewirkten Minderleistungen der Tiere sondern auch mit einer signifikant veränderten Futtergrundlage (veränderte Zusammensetzung der Futterpflanzen, verminderte Erträge im Futterbau, diskontinuierliche Futterbereitstellung) sowie einer veränderten Infektionsdynamik und regionalen Verteilung von Krankheiten zu rechnen. In allen Bereichen der Nutztierhaltung vom Futterbau über Tierzucht, Fütterung und Haltungstechnik bis zum Gesundheitsmanagement sind Potentiale zu erschließen, um rechtzeitig nachhaltige Klimaanpassungsstrategien zu entwickeln.

3.1. Klimawandel und Nutztier-relevante Auswirkungen

Nach Maßgabe des statistischen Klimaregionalmodells STAR des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung ist in Deutschland bis 2055 im Jahresmittel mit einer regional und jahreszeitlich differenzierten Erwärmung von 1,7 bis 2,4 K zu rechnen.⁴⁴ Ferner ist zu erwarten, dass sich die regionale und zeitliche Ungleichverteilung des Niederschlags weiter verstärkt. Das bedeutet mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer sowie eine negative klimatische Wasserbilanz während der Vegetationsperiode vor allem im Osten Deutschlands. Darüber hinaus deutet sich an, dass sich der Trend zu mehr Extremwetterereignissen, wie Hitzewellen und Starkregen (bei abnehmendem Dauer- bzw. Landregen), weiter fortsetzt. Dies verstärkt Erosionsrisiken und Wasserdefizite.

Diese Projektion der Klimaentwicklung wird sich unmittelbar und mittelbar auf die deutsche Nutztierhaltung auswirken. Bei hohen Umgebungstemperaturen auftretendem Hitzestress sind bei verschiedenen Nutztierarten eine Vielzahl physiologischer Reaktionen wie erhöhte Atemfrequenz und Körperkerntemperatur, veränderte Energie-, Protein- und Mineralstoffwechsel sowie gestörter Leberfunktion beschrieben worden, die mit verringerter Futteraufnahme⁴⁵, reduzierter Milchleistung⁴⁶, vermehrten Gesundheitsproblemen⁴⁷ und verminderter Fruchtbarkeit^{48,49} einhergingen. Weiter ist zu erwarten, dass der Klimawandel und das sich ändernde Wettergeschehen das Vorkommen, die Saisonalität und Intensität vieler Vektoren und Krankheitserreger stark beeinflussen werden, da diese von Temperatur, Feuchtigkeit, Wind oder auch Änderungen im Oberflächenwasser und in der Landschaftsstruktur oder die Landnutzung beeinflusst werden. Dies betrifft insbesondere Krankheiten, deren Verbreitung von Vektoren abhängt.

Neben den unmittelbaren Auswirkungen des Klimawandels an den Produktionsstandorten ist zu erwarten, dass dieser infolge von Veränderungen bei Ressourcen, Zulieferung oder

⁴⁴ 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.

⁴⁵ Lacetera, N., Bernabucci, U., Khalifa, H.H., Ronchi, B., Tardone, A. (2003). Interactions between climate and animal production. International Society of Biometeorology, EAAP Technical Series No. 7.

⁴⁶ Srikandakumar, A., Johnson, E. H. (2004). Effect of heat stress on milk production, rectal temperature, respiratory rate and blood chemistry in Holstein, Jersey and Australian milking zebu cows. *Tropical Animal Health and Production* 36, 685-692.

⁴⁷ Sevi, A.; Annichiarico, G.; Albenzio, M.; Taibi, L.; Muscio, A.; Dell'Aquila, S. (2001). Effects of solar radiation and feeding time on behavior, immune response and production of Lactating ewes under high ambient temperature. *J. Dairy Sci.* 84: 629-640.

⁴⁸ Wolfenson, D.; Roth, Z.; Meidan, R. (2000). Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim. Reprod. Sci.* 60-61, 535-547.

⁴⁹ Hansen, P.J. (2007). Exploitation of genetic and physiological determinants of embryonic resistance to elevated temperature to improve embryonic survival in dairy cattle during heat stress. *Theriogenology* 68, 242-249.

Nachfrage nach Nahrungsmitteln oder Bioenergie die Nutztierhaltung auch mittelbar nachhaltig beeinflussen wird. So z.B. werden geringere Erträge im Futterbau, ein verminderter Futterwert der Pflanzen und eine diskontinuierliche Futterbereitstellung zu steigenden Futterpreisen und damit erhöhten Produktionskosten führen. Die langfristigen Ertragsaussichten werden darüber hinaus Bodenpreise und Pachten beeinflussen. Es ist zu erwarten, dass Gewinn oder Verlust der Nutztierhaltung wesentlich von den Betriebs- und Produktionsbedingungen und ihrer Empfindlichkeit gegenüber Veränderungen der klimatischen Randbedingungen abhängen werden. Über den Weltmarkt ist Deutschland daher auch von sich im Klimawandel verändernden Faktoren wie Energiepreise, Ernteerträge und Nahrungsbedarf in anderen Erdteilen betroffen.⁶

3.2. Klimaanpassungsstrategien

Die Fähigkeit eines Organismus durch entsprechende Mechanismen der Wärmeabgabe und der Thermoregulation Hitzestress zu minimieren bzw. zu tolerieren wird als **Thermotoleranz** bezeichnet. Die thermische Belastung des Tieres hängt entscheidend vom Zusammenspiel von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung (Wind) und Sonneneinstrahlung ab und wird durch Lebensalter, Rasse/Genetik, Typ (Körpergröße), Leistungs- (metabole Wärme) und Ernährungsniveau, Geschlecht, Behaarung und Haarpigment, durch Maßnahmen des Managements, wie Fütterung, Stallkonstruktion, Weidehygiene sowie durch tierspezifische Adaptations- bzw. Akklimatisationsprozesse beeinflusst. Wichtige Mechanismen der Wärmeabgabe sind die Wärmeübertragung bei Stallflächenkontakt und die Wärmeabgabe über die umgebene Luft, durch elektromagnetische Wellen zu entfernten Gegenständen, durch Wasserverdunstung über Haut und Atmung oder über abgegebene Stoffe wie Kot, Harn, Atemluft, Milch. Eine unzureichende Wärmeabgabe führt zu Hitzestress des Organismus wodurch ein komplexes Programm biochemischer Anpassungsprozesse ausgelöst wird. Diese Fähigkeit sich in bestimmten Grenzen an thermalen Stress anzupassen und zu überleben, scheint ein allgemeines Phänomen des zellulären Lebens zu sein.

3.2.1. Nutztierzucht

Hitzestress löst ein komplexes Programm biochemischer Anpassungsprozesse in meist allen Zellen des Organismus aus: (i) die Hemmung der normalen Genexpression, (ii) die Störung anderer zellulärer Vorgänge wie der temporären Schädigung der Nucleoli und (iii) die Aktivierung der Hitzeschock-Genexpression. Diese zelluläre Hitzestressreaktion ist universell, evolutionär konserviert und scheint eine grundsätzliche Fähigkeit des Organismus darzustellen, sich an thermalen Stress anzupassen wobei die beteiligten Hitzeschock- oder Stressproteine Bestandteil eines Regelkreises sind, der die Aufhebung von stressbedingten Zellschädigungen kontrolliert. Erste Erfolge bei Selektion robuster Tiere, d.h. von Tieren die unter verschiedenen Umwelten gleich gute Leistungen realisierten, und der Nachweis von merkmals-assoziierten Genvarianten bei verschiedenen Tierarten weisen auf die grundsätzliche Möglichkeit der tierzüchterischen Verbesserung der Wärmetoleranz bei landwirtschaftlichen Nutztieren hin. So konnten bei Säugern und Fischen Stressprotein-Genvarianten beobachtet werden, die signifikant mit funktionalen Merkmalen wie Nutzungsdauer, Lebensleistung oder Fruchtbarkeit assoziierte sind,^{50,51,52} bzw. dass die erfolgreiche Zucht auf Robustheit nicht nur zu einem erhöhten Abwehrvermögen der Tiere gegenüber Krankheitserregern geführt hat, sondern auch zu effektiver regulierten Adaptationsmechanismen, da diese Tiere auch

⁵⁰ Singh, R., S. Kolvraa, S. I. Rattan (2007). Genetics of human longevity with emphasis on the relevance of hsp70 as candidate genes. *Front Biosci.* 12, 4504-4513.

⁵¹ Terry, D. F., D. F. Wyszynski, V. G. Nolan, et al. (2006). Serum heat shock protein 70 level as a biomarker of exceptional longevity. *Mech Ageing Dev.* 127, 862-868.

⁵² Schwerin, M., H. Sanftleben, S. Grupe (2003). Genetic predisposition for productive life is associated with functional inactivation of a AP2-binding site in the promoter of the stress protein 70.1-encoding gene in cattle. *Arch. Tierzucht* 46, 177-185.

unter veränderten Umweltbedingungen (z.B. höhere Temperatur) erhöhte Überlebensraten aufwiesen.⁵³

3.2.2. Nutztierhaltung

Verfahrenstechniken bzw. Stallsysteme sind in unterschiedlichem Maße geeignet Umwelteffekte, wie z.B. Temperaturschwankungen (Hitzestress) zu kompensieren. Dabei sind die Effekte in Wechselwirkung zum Genotyp zu sehen (siehe 3.2.1). Besonders Tiere in offenen Stall- und Weidesystemen (u. a. Rinder) sowie hochleistende Tiere sind anfällig gegenüber Hitzestress.⁵⁴ Aus diesem Grund kommt dem Milchvieh eine besondere Rolle in der Betrachtung zu. Die meisten zu diesem Themenkomplex in der Literatur verfügbaren Arbeiten wurden in tropischen und subtropischen Regionen durchgeführt, in denen lange Hitzeperioden die Regel sind. Nur sehr wenige Informationen liegen gegenwärtig zu kurzzeitigem und extremerem Hitzestress sowie den Wechselwirkungen zum Produktionssystem und deren Auswirkungen unter mitteleuropäischen Bedingungen vor, wenngleich verschiedene technische Lösungen zur Reduktion der Hitzeauswirkungen verfügbar sind. Das Angebot von Unterständen sowie Stalltypen und Bodenoberflächen (mit unterschiedlichen Einstreumaterialien) haben signifikante Effekte auf die thermoregulatorische Effizienz der Tiere.^{55,56} Gleiches gilt für Systeme der Stallklimaführung⁵⁷ und Besprühungsanlagen⁵⁸. Die Kühlung der Stallungen bzw. der Tiere bei hohen Temperaturen könnten wirksam Hitzestress kompensieren. Allerdings ist mit erheblichen Wechselwirkungen zu rechnen, weil sich die Haltungssysteme selbst z.T. erheblich in der Belastung durch pathogene Erreger^{59,60} unterscheiden und diese wiederum in Abhängigkeit von Umweltbedingungen variieren. Eine Beurteilung der kompensatorischen Wirkung von Stallsystemen bzw. Verfahrenstechniken hinsichtlich Hitzestress induzierter Leistungs- bzw. Gesundheitsbeeinträchtigungen oder die Abschätzung der ökonomischen und/oder ökologischen Vorteile verschiedener Produktionssysteme erfordert deshalb ganzheitliche systemische Ansätze.

3.2.3. Futterwirtschaft

Die mit den prognostizierten Klimaänderungen in Deutschland erwarteten höheren Umgebungstemperaturen und steigenden CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre kombiniert mit erhöhten Niederschlägen im Winter und zunehmenden Trockenperioden im Sommerhalbjahr, lassen erhebliche Auswirkungen auf die Futtererzeugung für die Nutztiere erwarten.⁶ In Folge dessen werden Kulturarten mit erhöhter Wassernutzungseffizienz und Toleranz gegenüber erhöhten Temperaturen zu den „Klimagewinnern“ gehören. Dies dürfte im Ackerfutterbau insbesondere die relative Vorzüglichkeit von Mais weiter fördern, aber auch Luzerne dürfte an Bedeutung gewinnen, da sie in der Lage ist, den Bodenwasservorrat optimal zu nutzen.

Dagegen sind die Folgen für das Dauergrünland nicht so eindeutig zu beurteilen. Einerseits spricht der hohe Transpirationskoeffizient der Grünlandgräser eher für eine abnehmende Konkurrenzfähigkeit bei zunehmenden Trockenperioden, andererseits weisen verschiedene

⁵³ Rebl, A., E. Anders, K. Wimmers, T. Goldammer (2009). Cloning and tissue specific expression of delta-COP homologue in a freshwater and brackish water-adapted strain of rainbow trout. *Genes Genet. Syst.* 84, 239-243.

⁵⁴ Nienaber, J.A., Hahn, G.L. (2007). Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int. J. Biometeorol.*, 52, 149-157.

⁵⁵ Armstrong, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.* 77, 2044-2050.

⁵⁶ Cummins, K. (1998). Bedding plays role in heat abatement. *Dairy Herd Manag.* 6, 20.

⁵⁷ West, J.W. (2002). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86, 2131-2144.

⁵⁸ Strickland, J.T., Bucklin, R.A., Nordstedt, R.A., Beede, D.K., Bray, D.R. (1989). Sprinkler and fan cooling for dairy cows in hot, humid climates. *Appl. Eng. Agric.* 5, 231.

⁵⁹ Jäger M., Bauer C., Gauly M., Failing K., Erhardt G., Zahner H. (2005). Endoparasites in calves of beef cattle herds: management systems dependent and genetic influences. *Vet. Parasitol.* 131, 173-191.

⁶⁰ Gauly M., Reeg J., C. Bauer, Erhardt, G. (2004). Influence of production systems in lambs on the *Eimeria* oocyst output and weight gain. *Small Rum. Res.* 55, 159 -167.

Studien darauf hin, dass gerade Futtergräser bei gleichzeitig steigenden CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre und steigendem Trockenstress mit verbesserter Wassernutzungseffizienz reagieren. Auch die prognostizierten höheren Temperaturen im Winterhalbjahr sprechen wegen der Ausdehnung der Vegetationsperiode für die Konkurrenzfähigkeit des Grünlandes. Neben der Auswahl adaptierter Kulturpflanzen dürfte insbesondere in Regionen Deutschlands mit ausgeprägt positiver klimatischer Wasserbilanz (Norddeutschland) die Bedeutung der Beregnung zunehmen, um bei hohen Nutzungskosten für die Futterfläche eine ausreichende Ertragssicherheit zu gewährleisten. Insbesondere der Silomais zeichnet sich durch eine hohe Beregnungseffizienz aus.

Klimabedingte Änderungen der Zusammensetzung und des Futterwertes sind sowohl bei Grundfutterpflanzen (z.B. zügigere Lignifizierung, geringere Verdaulichkeit), als auch bei Getreide (z.B. relativ höherer Stärke- und geringerer Protein-/Aminosäuregehalt) zu erwarten. Kaum absehbar sind z. Z. die Effekte, die durch neue Schaderreger in Verbindung mit Klimawandel im Futterbau Bedeutung erlangen werden. Die Ausdehnung der Befallsgebiete verschiedener Schaderreger, wie des Maiszünslers nach Norden, weist schon heute darauf hin, dass phytosanitäre Maßnahmen (Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitung) auch im Futterbau an Bedeutung gewinnen werden.

In Mitteleuropa ist infolge zunehmender Trockenheit und Unwetterereignisse mit erheblichen Ertragsverlusten bzw. vollständigen Ertragsausfällen zu rechnen, die durch die erwähnten klimabedingten veränderten Befallmuster mit pflanzlichen Schädlingen verstärkt werden können. Notwendige Konsequenzen für die Futtermittelswirtschaft im Falle eines teilweisen oder vollständigen Ausfalls des Wachstums von Futterpflanzen sind die Anlage größerer Futtermittelreserven sowie die Erschließung und Nutzung von Futterreserven (z.B. Getreidestroh, Nebenprodukte).

3.2.4. Fütterung/Ernährung

Die infolge des prognostizierten Klimawandels erwarteten o. g. Auswirkungen auf die Futtermittelswirtschaft werden erhebliche Auswirkungen auf die Fütterung und Tierernährung haben.⁵ So ist zum einen auf Grund der erwarteten erheblichen Ertragsverluste bzw. vollständigen Ertragsausfälle mit einer diskontinuierlichen Futtermittelversorgung zu rechnen. Zum anderen wird sich durch den möglichen Anbau anderer (neuer) Futterpflanzenarten, die erwarteten Änderungen in der Zusammensetzung der Futterpflanzen und anderer Befallmuster mit pflanzlichen aber auch tierischen Schädlingen der Futterwert, die Verdaulichkeit der Futterpflanzen und das Übertragungsrisiko von Toxinen und Krankheitserregern durch Futterpflanzen wesentlich verändern. Deshalb und durch geringere Futter- und damit auch geringere Energieaufnahme der Tiere bei höheren Umgebungstemperaturen sowie einen zusätzlichen Energieverbrauch der Nutztiere zur Regulierung (Senkung) der Körpertemperatur („Heat increment“ durch Verdauung und Stoffwechsel) sind niedrigere Leistungen der Tiere zu erwarten (s. 3.1.).

Unter Berücksichtigung dieser Konsequenzen werden u. a. folgende Anpassungsmaßnahmen für die Fütterung/Tierernährung diskutiert:

- Verminderung des Faseranteiles in den Rationen, um der stärkeren Lignifizierung bzw. der geringeren Verdaulichkeit entgegen zu wirken,
- Berücksichtigung der Veränderungen der Futtermittel (s.o.) bei der Rationsgestaltung bzw. -ergänzung (z.B. mit Aminosäuren),
- Veränderte Fütterungstechnik (erhöhtes Futterangebot bei niedrigeren Temperaturen; z.B. nachts),
- Einsatz geeigneter Futterzusatzstoffe (z.B. Niacin zur verbesserten Hautdurchblutung und somit zur Wärmeabgabe).

3.2.5. Gesundheitsmanagement

Der Klimawandel wird zur Temperaturerhöhung und Zunahme von Wetterextremen führen. In Hinsicht seiner Auswirkungen auf die Gesundheit der Nutztiere muss er zusammen mit folgenden, absehbaren Entwicklungen betrachtet werden: (i) erhöhter Tier-Mensch-Kontakt in der armen Bevölkerung durch die Zunahme und Verstädterung der Bevölkerung mit Slumbildung und Hinterhofhaltung von Nutztieren (Geflügel, Schweinen, Fischen), (ii) die Zunahme der Anzahl infizierbarer Wirte (Nutztiere und Menschen) pro Flächeneinheit und damit der Infektionsmöglichkeiten sowie (iii) die schnelle Verbreitung von Erkrankungen, Seuchen und Infektionen (auch in der Inkubationszeit, in der noch keine Krankheitserscheinungen auftreten) durch verbesserte Verkehrswege, erhöhte Freizügigkeit sowie schnelleren Personen-, Tier- und Warenverkehr.

Die Erwärmung erhöht den Keimdruck und verbessert die Lebensbedingungen für mesophile Infektionserreger, die sich außerhalb von Tieren vermehren können (z.B. Salmonellen, Staphylokokken, E. coli). Es ist zu erwarten, dass sowohl das Vorkommen als auch die Saisonalität und Intensität vieler Vektoren und Krankheitserreger stark beeinflusst wird.⁶¹ Erreger von Seuchen (z.B. Blauzungenkrankheit, Afrikanische Schweinepest), Vektoren und Parasiten (Räudemilben) finden verbesserte Lebensbedingungen, neue Wirte und Lebensräume.

Erhöhte Temperaturen beschleunigen die Futterverderbnis. Sie begünstigen Futterschäden, Futterschädlinge und den Abbau des Energiegehaltes, entwerten das Futter und verändern die Futterstruktur mit der Folge von Energieunterversorgung, Verdauungsstörungen und Mykotoxikosen. Mangel- und Fehlernährung u. a. infolge von Dürreperioden können die Vitalität und das Leistungsvermögen von Tierbeständen beeinträchtigen und Futtervergiftungen hervorrufen (z.B. durch Nitrat). Unwetter können zu lebensmittelhygienisch bedenklichen Kontaminationen von Futter und Tieren führen, die die Lebens- und Futtermittelgewinnung unmöglich machen.

Die Verlängerung der Vegetationsperiode und mildere Winter erleichtern das Überwintern von infektiösfähigen Parasitenstadien. In der Vegetationsperiode verkürzen erhöhte Temperaturen die Entwicklungszyklen z.B. von Magen-Darm-Würmern mit der Folge eines rascheren Aufbaus der Weidebelastung durch Parasiten.

Hitze und/oder hohe Luftfeuchtigkeit werden bei Zunahme von Sommer- und Hitzetagen die Herz- und Kreislaufbelastung erhöhen, mindern die Leistung sowie die Anfälligkeit für Atemwegserkrankungen und andere infektiöse Faktorenenerkrankungen wie z.B. Rotlauf.

3.3. Forschungsbedarf Anpassungsstrategien

3.3.1. Zucht von krankheitsresistenten und robusten Nutztieren

Die Zucht robuster (Tiere, die unter verschiedenen Umwelten gleich gute Leistungen realisieren) und krankheitsresistenter Tiere ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, den erwarteten klimabedingten Belastungen, wie erhöhter Keimdruck, ungünstige und variierende Futtersversorgung etc., begegnen zu können. Wesentliche Basis ist die genetisch-statistische Untersuchung der Genotyp-Umwelt-Interaktion zur Ermittlung geeigneter Phänotypen und der Aufklärung epistatischer Netzwerke der Umwelt-Tier-Wechselwirkung.

3.3.2. Zucht von thermotoleranten Nutztieren

Die Zucht thermotoleranter Tiere, d.h. von Tieren, welche die Fähigkeit besitzen durch entsprechende Mechanismen der Wärmeabgabe Hitzestress zu minimieren bzw. durch Mechanismen der Regulation der zellulären Stressantwort ausgelöste

⁶¹ Mettenleiter, T. C., W. W. Boehle (2008). Erregerbedingte Erkrankungen unter veränderten Umweltbedingungen. Arch. Tierz. 51 Sonderheft, 49-56.

Stresssituationen zu kompensieren bzw. zu tolerieren, stellt eine wesentliche Voraussetzung für eine zukünftige erfolgreiche Nutztierhaltung dar. Dies bildet die Basis für eine tiergerechte Antwort auf die Witterungseinflüsse. Neben der Entwicklung einfacher nicht invasiver Verfahren zur reproduzierbaren Bestimmung der tierindividuellen Thermotoleranz sind Forschungen zur Aufklärung der molekularen Grundlagen der Thermotoleranz und zur Interaktion dieser Merkmale mit anderen funktionalen und Leistungsmerkmalen erforderlich.

3.3.3. Hitzestress kompensierende Verfahrenstechniken und Stallsysteme

Die meisten Arbeiten wurden zu diesem Thema in tropischen und subtropischen Regionen durchgeführt, in denen lange Hitzeperioden die Regel sind. Zur Wirkung von kurzzeitigem und extremerem Hitzestress sowie den Wechselwirkungen zum Produktionssystem sind die verfügbaren Informationen sehr begrenzt. Von besonderem Interesse sind dabei Wechselwirkungseffekte von Stallsystemen bzw. Verfahrenstechniken mit dem Genotyp von Tieren sowie die Abschätzung der ökonomischen und/oder ökologischen Bewertung verschiedener Produktionssysteme in ganzheitlichen systemischen Ansätzen.

3.3.4. Verbesserung der Futterqualität

Bisher stand bei den Kulturpflanzen im Wesentlichen der Ertrag aber kaum der Futterwert im Mittelpunkt des Interesses. Der Verbesserung des Futterwertes kommt bei klimabedingt erwarteten geringeren Erträgen und veränderter Pflanzenszusammensetzung eine besondere Bedeutung zu, um zusätzlichen Fütterungs- bzw. Ernährungsbedingten Stress zu vermeiden. Im Mittelpunkt der Verbesserung der Futterqualität stehen dabei insbesondere (i) die züchterische Verbesserung des Futterwertes von Kulturpflanzen, (ii) die Optimierung von Futterkonservierung, -aufbereitung und -verwertung und (iii) die Verbesserung von Futterbewertungssystemen auf der Basis einer engen Forschungskooperation zwischen Tierernährung, Pflanzenzüchtung und Futterbau.

3.3.5. Effiziente Strategien der Sicherung der Tiergesundheit und Lebensmittelsicherheit

Im Zusammenhang mit der künftigen Sicherung einer hohen Tiergesundheit in unseren Nutztierbeständen kommen Verbesserungen der Kenntnisse in der Epidemiologie, Diagnostik und Pathogenese von Zoonosen genauso Bedeutung zu wie der Verbesserung der Tiergesundheit durch die Aufklärung der Determinierungsprozesse der immunologischen Regulation bzw. der Ausprägung natürlicher Infektionsbarrieren (z.B. Immunkompetenz, Erregertoleranz). U. a. gilt es Präventionsmaßnahmen zu etablieren, die insbesondere durch eine Erhöhung der Biosicherheit in allen Produktionsschritten die Ein- und Verschleppung von Infektionserregern erschweren. Eine verhaltensgerechte Tierhaltung kann z.T. die Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit beeinträchtigen, indem sie insbesondere den fäkal-oralen Infektionsweg, der wichtigsten Infektionskette von Zoonosen, begünstigt.

3.3.6. Gewährleistung einer hohen Futtermittelsicherheit

Die Futtermittelsicherheit muss bei bestimmungsgemäßem Gebrauch gewährleistet werden. Unerwünschte Umwelteinträge können Nahrungsmittel und Tiere schädigen und mindern, letztere können aber auch vor unerwünschten Einträgen schützen. Die Möglichkeiten zur Futterverderbnis werden sich vermehren. Pilze und Mykotoxine werden auf Pflanzen und im Futterlager häufiger vorkommen ebenso wie der Befall mit Futterschädlingen.

4. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Schlussfolgerung 1: Die Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft erfolgt in einem höchst komplexen System, in welchem Emissionen bzw. Umweltbelastungen nur eine von vielen ebenfalls wichtigen Zielgrößen, wie z.B. die Wirtschaftlichkeit, der Ressourceneinsatz und -verbrauch, die Ernährungssicherung, das Wohlbefinden und die Gesundheit der Tiere, die Lebensmittelsicherheit und -qualität sowie die Verbraucherakzeptanz, darstellen. Die Emissionsminderungsstrategien bedürfen aufgrund der komplexen Sachverhalte einer systemischen Nachhaltigkeitsbewertung unter Einbeziehung aller THG-Emissionsquellen und der weiteren wichtigen Gütekriterien.

Schlussfolgerung 2: Ansätze zur Minderung der THG-Emissionen im Bereich der Nutztierhaltung sind unter Beachtung wirtschaftlicher Minderungskosten:

- a. die Verminderung der Methanbildung beim Wiederkäuer,
- b. die Erhöhung der Lebenstageleistung (Leistungshöhe, Nutzungsdauer) der Nutztiere durch geeignete Maßnahmen von Zucht, Haltung und Fütterung, wobei die Zusammenhänge zwischen Leistungshöhe und Emissionsminderung außerordentlich komplex sind,
- c. die effiziente bilanzierte Nutzung von organischen und mineralischen Düngemitteln (insbesondere N-Management) in der Futtermittelproduktion und
- d. die Entwicklung optimierter Futterbausysteme (Futterwert von Kulturpflanzen, Bodenfruchtbarkeit, Fruchtfolgen, Bedarfsermittlung und exakte Bedarfsdeckung der Tiere).

Schlussfolgerung 3: Die projizierte Klimaentwicklung wird sich unmittelbar und mittelbar auf die deutsche und europäische Nutztierhaltung auswirken. Wesentliche Anpassungsmaßnahmen bestehen in der:

- a. Zucht thermotoleranter, robuster und krankheitsresistenter Nutztiere,
- b. Optimierung effizienter Strategien der Tierseuchenbekämpfung,
- c. Entwicklung Hitzestress kompensierender Verfahrenstechniken und Stallsysteme und der
- d. Durchsetzung einer hohen Lebens- und Futtermittelsicherheit.

Schlussfolgerung 4: Umfängliches und multidisziplinär generiertes Wissen muss gezielt erarbeitet werden, um den vielfältigen Forderungen einer nachhaltigen Umsetzung der Minderungs- und Anpassungsstrategien im Bereich der Nutztierhaltung gerecht werden zu können, Risiken zu minimieren, Zielkonflikte zu identifizieren sowie Nutzungsfolgen abschätzen und ganzheitliche hierarchisch gegliederte Zielkomplexe sowie Handlungsoptionen ableiten zu können.

Schlussfolgerung 5: Die künftige bedarfsgerechte und nachhaltige Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft unter den sich ändernden Bedingungen von Klimawandel und Globalisierung erfordert zwingend, die möglichen wissenschaftlichen und technologischen Beiträge der deutschen Agrarwissenschaften als integrierten Bestandteil einer notwendiger Weise weltweiten Initiative für die globale Ernährungssicherung und den Klimaschutz zu identifizieren, deren Realisierung zu fördern und die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft zu sichern.