

29. Hülseberger Gespräche 2024

Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

Hamburg, 03. Juni bis 05. Juni 2024



H. WILHELM SCHAUMANN STIFTUNG

Inhalt

29. Hülseberger Gespräche 2024, Hamburg, 03. Juni bis 05. Juni 2024

Ökosystemleistungen – eine Terra Incognita? V. BECKMANN	3
Ökonomische Dimension der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in Deutschland M. BANSE	4
Ökosystemleistungen mit der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung J. ISSELSTEIN	11
Diätetische Leistungen mit Hilfe landwirtschaftlicher Nutztiere K. EDER	19
Alternative Proteine zwischen Physiologie und Nachhaltigkeit H. DANIEL	29
Nutztierhaltung gegen den globalen Hunger M. PARLASCA	37
Die Klimawirksamkeit landwirtschaftlicher Nutztiere S. DÄNICKE	43
Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung im Wasserschutz und Verbesserungspotenziale A. FREIBAUER	49
Biodiversitätsleistungen landwirtschaftlicher Nutztiere C. KLEIN	50
Einfluss der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung auf die Luftqualität und Verbesserungspotenziale W. BÜSCHER	51
Züchterische Anpassung landwirtschaftlicher Nutztiere für mehr Ökosystemleistungen J. BENNEWITZ	58
Landwirtschaftliche Nutztierhaltung aus Verbrauchersicht – welche Rolle spielen Ökosystemleistungen? J. ROOSEN	63
Die ethische Dimension der Nutztierhaltung zwischen kultureller Bedeutung, Tierwohl und weiterentwickelter Verantwortung für die Ökosysteme P. KUNZMANN	68
Landwirtschaftliche Nutztierhaltung heute und morgen – grundsätzliche Entwicklungen W. WINDISCH	73
Zusammenfassung	86
Schlusswort	91
Kontaktadressen der Referenten	93
Hülseberger Gespräche von 1965 bis 2024	94

Ökosystemleistungen – eine Terra Incognita?

VOLKER BECKMANN
Universität Greifswald

Zusammenfassung

Das Konzept der Ökosystemleistungen und die damit verbundene Perspektive, dass Ökosysteme zahlreiche für den Menschen nützliche Leistungen erbringen, hat sich ausgehend von der Naturschutzbiologie in den 1980er Jahren in der Forschungslandschaft stark verbreitet und spielt auch in politischen Diskursen eine zunehmend wichtige Rolle, besonders bei der Biodiversitäts- und Klimaschutzpolitik. Als Indikator dieser Entwicklung kann die Zahl der jährlichen internationalen Veröffentlichungen zum Thema herangezogen werden, die gemäß der Datenbank Web of Science von 2 im Jahr 1992 auf über 7.400 im Jahr 2022 gestiegen sind. In der Forschung zu Ökosystemleistungen nehmen die wissenschaftlichen Disziplinen der Ökologie und Umweltwissenschaften eine führende Rolle ein, selbst bei Themen wie Landwirtschaft und Tierhaltung. Beiträge, die den Agrarwissenschaften zugeordnet werden können, liegen hingegen bei unter 15 %. Wird das Thema Ökosystemleistungen in der Agrarwissenschaft vernachlässigt? Sind Ökosystemleistungen für Teile der Agrarwissenschaften sogar eine Terra Incognita, ein unbekanntes und unerforschtes Land? Welche Rolle können die Agrarwis-

enschaften bei der Erforschung von Ökosystemleistungen, aber auch der Weiterentwicklung von Konzepten spielen?

In diesem Beitrag wird diesen Fragen nachgegangen, die Forschungslandschaft zu Ökosystemleistungen in verschiedene Richtungen ausgeleuchtet und der Beitrag der Agrarwissenschaften in der Vergangenheit und der mögliche Beitrag für die Zukunft diskutiert. Ausgangspunkt ist ein kurzer Abriss des Konzepts und die Vorstellung der zentralen Beiträge von Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005), The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) (2010) und Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019). Auch mit Hilfe von bibliometrischen Landkarten wird anschließend die Forschungslandschaft in Bezug auf Ökosystemleistungen, Landwirtschaft und Tierhaltung durchdrungen und ausgewählte Aspekte zum Beitrag der Agrarwissenschaften hervorgehoben. Die Herausforderungen für die agrarwissenschaftliche Forschung zu Ökosystemleistungen werden am Beispiel der Landwirtschaft auf trockengelegten Moorflächen, der Wiedervernässung von Mooren und der möglichen Nutzungsalternative der Paludikultur diskutiert. ■

Ökonomische Dimension der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in Deutschland

MARTIN BANSE

Thünen-Institut, Braunschweig

1 Rahmenbedingungen insgesamt

Die Rahmenbedingungen für die landwirtschaftliche Nutztierhaltung in Deutschland sind von kurz- und langfristigen Trends geprägt. Zu den kurzfristigen Trends zählen die russische Aggression gegen die Ukraine und die immer noch spürbaren Folgen der COVID-Pandemie sowie der Afrikanischen Schweinepest und der Geflügelpest in Deutschland. Langfristig sind vor allem die Folgen von Klimaschutzmaßnahmen und veränderte Ernährungsgewohnheiten wie Vegetarismus und der verstärkte Konsum von Fleischersatzprodukten als Treiber der Märkte für tierische Produkte in Deutschland zu nennen. Von diesen kurz- und langfristigen Treibern der Märkte für tierische Produkte führen die meisten eher zu steigenden Produktionskosten als zu steigenden Erlösen.

Wie in Abbildung 1 deutlich wird, ist auf den Weltmärkten für tierische Produkte eher mit einem Aufwärtstrend der Preise für tierische Produkte zu rechnen. Dabei wird deutlich, dass die Entwicklung bei den verschiedenen Fleischprodukten sehr unterschiedlich verläuft. Während die Preise für Schaffleisch eher sinken, ist bei anderen Produkten wie

Rind- und Geflügelfleisch mit einer positiven Entwicklung zu rechnen.

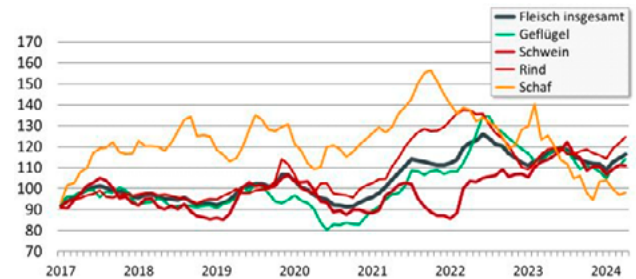


Abbildung 1: Entwicklung der Weltmarktpreise für Fleisch, 2017-24, 01/2017 = 100. Quelle: FAO (2024a).

Unterstützt wird diese Entwicklung auch durch eine Beruhigung der Preise für Vorleistungen wie Futtermittel, Düngemittel oder fossile Brennstoffe, siehe Abbildung 2.

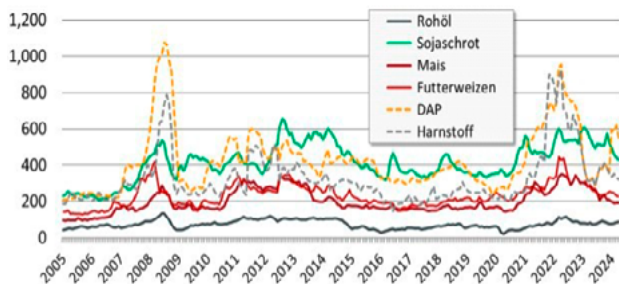


Abbildung 2: Entwicklung der Inputpreise, 01/2005–04/2024, monatliche Basis, in USD/t. Quelle: Weltbank (2024).

2 Allgemeine Entwicklung auf internationalen Fleischmärkten

2.1 Entwicklung weltweite Produktion

Auf den folgenden sechs Grafiken wird die gegenwärtige Lage in der weltweiten Erzeugung von Rind-, Schweine- und Hähnchenfleisch im Jahre 2022 der Entwicklung der letzten Dekade, d.h. Durchschnitt der Erzeugung der Jahre 2010–12 dem Niveau der Jahre 2020–22 gegenübergestellt.



Abbildung 3: Zentren der Rindfleischerzeugung, 2022, in 1000 t. Quelle: FAO (2024b).

Die Entwicklung der weltweiten Fleischerzeugung zeigt deutliche regionale Unterschiede. Der Schwerpunkt der **Rindfleischerzeugung** liegt global gesehen auf dem nord- und südamerikanischen Kontinent, siehe Abbildung 3. Auch wenn die Rindfleischerzeugung in Indien und China im Vergleich eine deutliche mengenmäßige Größe beschreibt, ist die Marktrelevanz als eher gering einzuschätzen. Im letzten Jahrzehnt haben sich jedoch einige Regionen als sehr produktiv erwiesen. Dies wird in Abbildung 4 deutlich. Hier sind es die Länder Asiens und der beiden Amerikas, die insgesamt am stärksten zum Anstieg der weltweiten Rindfleischproduktion beigetragen haben.

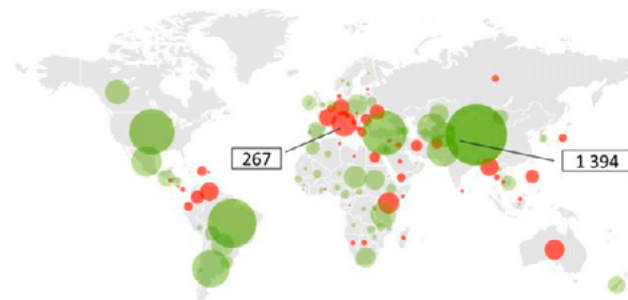


Abbildung 4: Veränderung der Rindfleischerzeugung, Ø 2020–2022 ggü. Ø 2010–2012, in 1000 t.

Anmerkung: Produktionsanstieg ist in grüner und Produktionsminderung in roter Farbe gekennzeichnet. Quelle: FAO (2024b).

Ähnlich wie bei der globalen Rindfleischproduktion ist auch die Schweinefleischproduktion weltweit auf drei Zentren verteilt, siehe Abbildung 5. Die wichtigste Region ist China und die angrenzenden Länder. Fast die Hälfte der weltweiten Schweinefleischproduktion konzentriert sich auf diese Region. Die beiden anderen regionalen Schwerpunkte liegen in Europa und Nordamerika. In anderen Regionen der Welt spielt Schweinefleisch nicht die dominierende Rolle wie in den oben genannten Regionen.



Abbildung 5: Zentren der Schweinefleischerzeugung, 2022, in 1000 t. Quelle: FAO (2024b)

Der Schweinefleischmarkt ist weltweit sehr volatil. Zum einen durch den Ausbruch von Pandemien, wie z.B. der Afrikanischen Schweinepest in China und den Ländern Europas. Zum anderen durch starke Wachstumsschübe in Russland, Spanien, den USA und Brasilien, siehe Abbildung 6.



Abbildung 6: Veränderung der Schweinefleischerzeugung, Ø 2020-2022 ggü. Ø 2010-2012, in 1000 t

Anmerkung: Produktionsanstieg ist in grüner und Produktionsminderung in roter Farbe gekennzeichnet. Quelle: FAO (2024b)

Während die Produktion von Rind- und Schweinefleisch weltweit deutliche Konzentrationen und Schwerpunkte aufweist, verteilt sich die Erzeugung von Hähnchenfleisch, hier

stellvertretend für Geflügelfleisch allgemein, relativ gleichmäßig auf alle Kontinente, siehe Abbildung 7. Auch hier zeigen sich deutliche regionale Unterschiede in der Entwicklung der letzten zehn Jahre. Die größten Zuwächse in der Erzeugung von Hähnchenfleisch sind in den USA und Brasilien, aber auch in südostasiatischen Ländern wie Indien und China zu verzeichnen.



Abbildung 7: Zentren der Hähnchenfleischerzeugung, 2022, in 1000 t. Quelle: FAO (2024b).

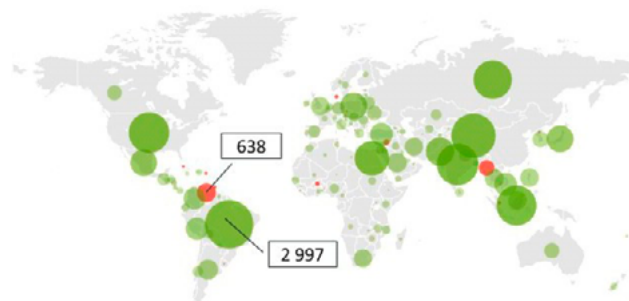


Abbildung 8: Veränderung der Hähnchenfleischerzeugung, Ø 2020-2022 ggü. Ø 2010-2012, in 1000 t.

Anmerkung: Produktionsanstieg ist in grüner und Produktionsminderung in roter Farbe gekennzeichnet. Quelle: FAO (2024b).

Es ist auch zu erwarten, dass die hier beschriebene unterschiedliche Dynamik in der Erzeugung der drei Fleischarten sich auch in der kommenden Dekade fortsetzen wird, siehe Abbildung 9. Während die Projektionen des FAO/OECD Outlook für die mittelfristige Entwicklung bei Rind- und Schweinefleisch eine eher moderate bis konstante Marktentwicklung beschreiben, werden dem Markt für Geflügelfleisch noch steigendes Absatzpotential unterstellt.

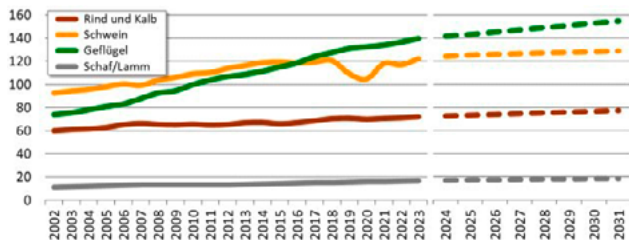


Abbildung 9: Entwicklung und Projektion der tierischen Produktion, weltweit, 2002–2031, in Mill. t

Anmerkung: Die Projektion bezieht sich auf den Zeitraum 2024–2031, gekennzeichnet durch gestrichelte Linien. Quelle: OECD/FAO (2023).

Besonders wichtig ist dabei zu betonen, dass sich diese mehr oder weniger stark ausgeprägte Marktdynamik ausschließlich auf die Ländergruppe, der sich entwickelnden Länder und nicht auf die Gruppe der Industrieländer bezieht, siehe Abbildung 10.

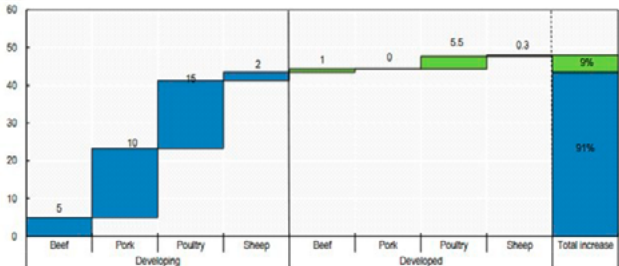


Abbildung 10: Globale Verteilung in der Projektion der tierischen Produktion, 2022–2031, in Mill. t
Quelle: OECD/FAO (2023).

Diese Entwicklung kommt auch in den in Tabelle 1 beschriebenen Importbedarfen (in Rot gekennzeichnet) zum Ausdruck. Hier hat sich die Region Ostasien auf globaler Ebene als die größte Defizitregion auf den globalen Fleischmärkten entwickelt, während sich die Regionen Süd- und Nordamerika sowie die EU in den letzten zehn Jahren als Überschussregionen mit Exportpotenzial entwickelt haben.

Region	2011	2021	2022 v/s	2023 s
	Überschuss/Defizit (Mill. t SG)			
Östl. Asien	-5,5	-13,6	-11,4	-11,7
EU-28	2,4	6,4	5,3	5,1
12 L. der Ex-Sowjetu.	-2,4	0,3	0,5	0,5
Nordamerika	5,4	5,9	5,5	5,4
Südamerika	6,0	8,9	9,8	10,0
Übrige Länder	-1,7	-3,4	-4,1	-3,9

Tabelle 1: Überschuss- und Defizitregionen auf Märkten tierischer Produkte, 2011–2023, in Mill. t
Quelle: USDA (2024).

3 Entwicklung der Tierhaltung in Deutschland

Entgegen der intuitiven Erwartung sind die Tierbestände in Deutschland in den letzten 100 Jahren deutlich zurückgegangen. Abbildung 11 zeigt deutlich, dass sich der Abwärtstrend seit der Wiedervereinigung noch beschleunigt hat, die Bestände liegen heute um 45% unter den Werten vor dem Ersten Weltkrieg. Dieser Trend wird sich voraussichtlich auch in den kommenden Jahren fortsetzen. Diese Aussage wird auch durch die Projektionen der ‚Thünen-Baseline‘ bestätigt, siehe Haß et al. (2022).

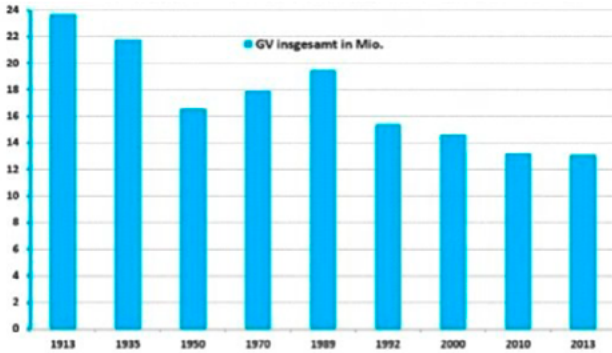


Abbildung 11: Entwicklung der Viehbestände in Deutschland, 1913–2013, in Mill. Großvieheinheiten. Quelle: BMEL.

Der Trend zu Betrieben mit immer größeren Viehbeständen dürfte sich auch in den kommenden Jahren fortsetzen. Abbildung 12 zeigt, dass insbesondere in der Milchvieh- und Mastschweinehaltung die Zahl der Betriebe in den letzten zehn Jahren deutlich zurückgegangen ist. In dieser Abbildung werden auch die regionalen Unterschiede in Deutschland besonders deutlich: Während die Zahl der Milchviehbetriebe in Deutschland in den letzten zehn Jahren um ca. 35 % zurückgegangen ist, liegt der Rückgang bei den Schweinemastbetrieben mit -50% deutlich höher.

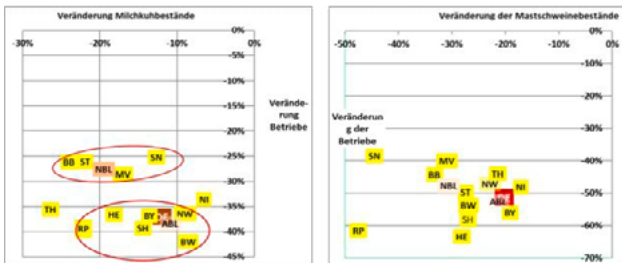


Abbildung 12: Veränderung der Viehbestände und viehhaltende Betriebe in Deutschland, 2023 ggü 2013, in%
Quelle: Destatis (2023).

Diese rückläufige Entwicklung ist zum einen auf den zunehmenden Kostendruck auf die landwirtschaftlichen Betriebe zurückzuführen, der dazu führt, dass Effizienzgewinne durch größere Tierbestände genutzt werden. Zum anderen verändert sich aber auch die Nachfrage nach tierischen Produkten in Deutschland deutlich. Dies liegt zum einen an der steigenden Zahl von Menschen, die sich vegetarisch oder vegan ernähren. Zum anderen ist der Rückgang der Nachfrage nach tierischen Produkten auch auf die zunehmende Alterung unserer Gesellschaft zurückzuführen. Hier macht sich vor allem ein verändertes Ernährungsverhalten der Männer bemerkbar. Die Ergebnisse der Nationalen Verzehrsstudie (MRI 2018) zeigen, dass Männer ab einem Alter von 65 Jahren ihren Fleischkonsum deutlich reduzieren, Abbildung 13. Da die geburtenstarken Jahrgänge, die immerhin fast 23% der Bevölkerung ausmachen, dieses Alter bald erreichen, ist mit einem weiteren Rückgang des Fleischkonsums zu rechnen.

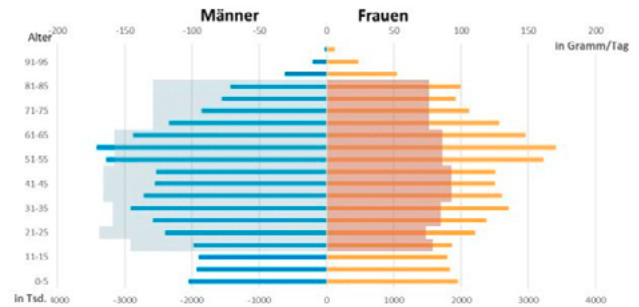


Abbildung 13: Alterspyramide und Fleischverzehr nach Altersklassen in Deutschland; 2020.

Anmerkung: Die Angaben zum Fleischverzehr (in Gramm/Tag) sind grau gekennzeichnet. Die farbigen Balken beschreiben die Anzahl der Bevölkerung (in 1.000 Personen) in dem jeweiligen Dezil.

Quelle: Nationale Verzehrsstudie II und NEMONIT-Studie. Destatis (2020).

4 Aussichten

Die zukünftigen Aussichten der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung in Deutschland stehen vor einer Vielzahl von Herausforderungen und Veränderungen. Diese Entwicklungen sind sowohl durch nationale als auch internationale Trends geprägt, die die Struktur und Dynamik der Fleischwirtschaft beeinflussen werden.

4.1 Bedeutung der Nutztierhaltung und Fleischwirtschaft in Deutschland

Die Tierhaltung und Fleischwirtschaft haben in Deutschland eine große volkswirtschaftliche Bedeutung. Sie tragen erheblich zur Wertschöpfung in der Landwirtschaft bei und sichern zahlreiche Arbeitsplätze in der Produktion, Verarbeitung und im Handel. Trotz der Herausforderungen, die durch strengere Umweltauflagen und höhere Tierwohlstandards entstehen, bleibt die Bedeutung dieser Sektoren für die deutsche Wirtschaft unbestritten. Die Konsumenten in Deutschland legen zunehmend Wert auf nachhaltige und ethisch vertretbare Produktionsmethoden, was die Branche zwingt, sich anzupassen und innovative Lösungen zu finden.

4.2 Internationale Marktveränderungen und Konkurrenz

Global betrachtet sind die Marktaussichten für die Fleischwirtschaft positiv. Der weltweite Fleischkonsum steigt weiterhin, getrieben von wachsender Bevölkerung und steigendem Wohlstand in Schwellenländern. Allerdings zeigt sich in der EU und insbesondere in Deutschland ein anderer Trend. Mittelfristig wird eine stagnierende oder sogar rückläufige Entwicklung der tierischen Erzeugung projiziert. Dies ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen, darunter verschärfte Umwelt- und Tierschutzauflagen, veränderte Konsumgewohnheiten und ein wachsender Markt für pflanzliche Alternativen.

Auf den internationalen Märkten gewinnen Regionen außerhalb Europas immer mehr an Bedeutung sowohl auf der Erzeugungs- als auch auf der Nachfrageseite. Länder wie Brasilien, die USA und China erweitern ihre Produktionskapazitäten und verbessern kontinuierlich ihre Techniken, was sie zu ernsthaften Konkurrenten für die europäische Fleischwirtschaft macht. Gleichzeitig wächst in diesen Regionen auch die Nachfrage nach Fleischprodukten, was neue Marktchancen bietet. Diese Dynamik bedeutet jedoch auch, dass europäische und insbesondere deutsche Produzenten sich vermehrt auf ihre Alleinstellungsmerkmale konzentrieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

4.3 Rückgang des Fleischkonsums in der EU

Ein bedeutender Faktor für die stagnierende oder abnehmende Entwicklung der Nutztierhaltung in der EU ist der sinkende Fleischkonsum. Studien zeigen, dass immer mehr Konsumentinnen und Konsumenten in Europa ihren Fleischkonsum reduzieren oder ganz darauf verzichten. Dieser Trend wird durch gesundheitliche Bedenken, ökologische Überlegungen und ethische Motive verstärkt. Der wachsende Markt für Fleischersatzprodukte und pflanzliche Alternativen trägt ebenfalls zu dieser Entwicklung bei. In Deutschland ist dieser Trend besonders ausgeprägt, was die erhaltenden Betreibe vor die Herausforderung stellt, sich an die veränderte Nachfrage anzupassen.

4.4 Herausforderungen und Chancen für deutsches Fleisch im Export

Ein weiterer Aspekt, der die Zukunft der Nutztierhaltung in Deutschland beeinflussen wird, ist die Positionierung von deutschem Fleisch auf internationalen Märkten. Fleisch, das nach höheren Tierwohlstandards produziert wird, hat derzeit in Ländern außerhalb der EU wenig Marktpotenzial, siehe Derstappen und Christoph-Schulz (2024). Ohne verstärktes

Marketing und eine gezielte Positionierung wird es schwer sein, dieses Fleisch als Exportschlager zu etablieren. Hier liegt jedoch auch eine Chance: Durch gezielte Marketingstrategien und eine verstärkte Kommunikation der Vorteile von nachhaltiger und ethisch vertretbarer Fleischproduktion können neue Märkte erschlossen und bestehende Märkte erweitert werden.

4.5 Fazit und Ausblick

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung in Deutschland steht vor einer komplexen Zukunft. Die Branche muss sich auf international wachsende Konkurrenz einstellen und gleichzeitig den sinkenden Fleischkonsum in der EU kompensieren. Es ist notwendig innovative Lösungen zu entwickeln, um die Effizienz der Produktion zu steigern und gleichzeitig den höheren Umwelt- und Tierschutzanforderungen gerecht zu werden. Zudem ist es wichtig, neue Absatzmärkte zu erschließen und durch gezieltes Marketing die Vorteile der deutschen Fleischproduktion hervorzuheben.

Die Aussichten sind zweifellos herausfordernd, doch bieten sie auch zahlreiche Chancen. Durch eine Kombination aus Innovation, Anpassung an Markttrends und gezielter Vermarktung kann die deutsche Fleischwirtschaft ihre Position stärken und langfristig erfolgreich bleiben. Es wird entscheidend sein, flexibel auf die sich verändernden Bedingungen zu reagieren und kontinuierlich in Forschung und Entwicklung zu investieren, um nachhaltig und wettbewerbsfähig zu bleiben. ■

Quellen

- BMEL. Landwirtschaftliches Statistisches Jahrbuch. Verschiedene Jahre. Berlin
- Derstappen R, Christoph-Schulz IB (2024). The importance of animal welfare and country of origin in consumer preferences: A cross-national study. *J Int Food Agribusiness Market*
- Destatis (2020). 14. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung für Deutschland. Wiesbaden Destatis (2023). GENESIS-Online: Statistiken. 413 Viehbestand und tierische Erzeugung. Wiesbaden
- FAO (2024a), Meat Price Index. *Commodities Markets Monitoring*. Rom
- FAO (2024b), Meat Price Index. *Commodities Markets Monitoring*. Rom
- Haß M, Deblitz C, Freund F, Kreins P, Laquai V, Offermann F, Pelikan J, Sturm V, Wegmann J, Witte T de, Wüstemann F, Zinnbauer M (2022). Thünen-Baseline 2022 - 2032: Agrarökonomische Projektionen für Deutschland. Braunschweig
- MRI (2018). Nationale Verzehrsstudie II und NEMONIT-Studie. Max Rubner-Institut, Institut für Ernährung und Lebensmittel. Karlsruhe
- OECD/FAO (2023), World Agricultural Outlook 2022-2031. Paris
- und Rom USDA (2024). PS&D Database. Washington DC
- Weltbank (2024). Pink Sheet. *Commodity Markets*. Online. Washington DC

Ökosystemleistungen mit der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung

JOHANNES ISSELSTEIN

Universität Göttingen

Zusammenfassung

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung beeinflusst die auf der Nutzfläche erbrachten Ökosystemleistungen. Solche Leistungen können für Mensch und Natur positiv oder negativ sein. Grundsätzlich sind Art und Umfang der Ökosystemleistungen der Nutztierhaltung verknüpft mit dem Kohlenstoffumsatz des Produktionssystems, das Boden, Pflanze und Nutztier umfasst. Die Nutztierarten unterscheiden sich in Bezug auf den Kohlenstoffumsatz. Das ist im Wesentlichen in einer verschiedenen Futterkonvertierungseffizienz begründet, also dem Verhältnis von Futteraufnahme und Produkt der Nutztiererzeugung sowie den Ansprüchen an die chemische Zusammensetzung der Futterstoffe. Wegen des hohen Kohlenstoffumsatzes und der Erzeugung des Futters überwiegend auf der eigenen landwirtschaftlichen Fläche spielen Wiederkäuer eine besondere Rolle für die Ökosystemleistungen der Flächen des Betriebes. Am Beispiel des Grünlands und der Wiederkäuer untersucht der Beitrag die Auswirkungen der Nutztierhaltung auf die Ökosystemleistung der landwirtschaftlichen Flächen. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der biologischen Vielfalt. Es wird nach direk-

ten und indirekten Wirkungen der Nutztiere unterschieden. Direkte Wirkungen entstehen durch weidende Tiere und deren Verhaltenspräferenzen. Sie verändern die Konkurrenzverhältnisse der Pflanzenarten untereinander, das führt zu heterogenen Vegetationsstrukturen und begünstigt die biologische Vielfalt. Indirekte Wirkungen üben die Tiere über die Versorgung mit Futter von und die Entsorgung der Exkremente über die Fläche aus. Es kann gezeigt werden, dass die Gestaltung und die Intensität der Nutztierhaltung Konsequenzen hat für die biologische Vielfalt der einzelnen Grünlandflächen aber auch der biologischen Vielfalt, die ein Betrieb insgesamt beherbergt. Eine verbesserte Kenntnis dieser Zusammenhänge ist erforderlich, um die Nutztierhaltung in der Weise weiterzuentwickeln, dass neben der Erzeugung marktgängiger Produkte Ökosystemleistungen wie die biologische Vielfalt besser gewährleistet werden. Rasche Entwicklungen von ‚smart farming‘-Technologien werden dazu beitragen, dass dieses Ziel leichter erreicht werden kann.

1. Einleitung

Die landwirtschaftliche Fläche in Deutschland wird zum überwiegenden Anteil für die Erzeugung von Nutztierleistungen verwendet, vorrangig, Milch und Fleisch. Die Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Fläche und der Agrarlandschaft insgesamt hängen unmittelbar mit der Nutztierhaltung zusammen. Die Produktionsfunktion der Landschaft, in diesem Fall also die Erzeugung tierischer Nutzleistung ist – im weltweiten Vergleich – stark ausgeprägt, die Leistungsfähigkeit ist hoch. Die Landschaft erbringt aber vielfältige andere Leistungen. Diese sog. Ökosystemleistungen betreffen u.a. den Boden- und Gewässerschutz, die biologische Vielfalt oder den Klimaschutz. Herbivore Nutztiere beeinflussen das Erscheinungsbild der Landschaft auf direkte und auf indirekte Weise. Weidetiere grasen, entblättern die Pflanzen und unterscheiden bei der Futteraufnahme durch die Fähigkeit zur Futterselektion. Damit beeinflussen sie die Vegetationszusammensetzung direkt. Moderne Haltungssysteme transportieren aber das Futter zum überwiegenden Teil zu den Tieren in den Stall und der Landbau hat sich auf die Produktion, Ernte und Konservierung des Futters eingestellt, diese Wirkung der Nutztiere ist somit indirekt. Die Unmittelbarkeit der Wirkungswege aber auch die Skalenebene, auf der die Ressourcen für die Nutztierhaltung bereitgestellt werden, bestimmen die Ökosystemleistungen der Agrarlandschaft.

Der Beitrag untersucht am Beispiel des Grünlands und der Grünlandbiodiversität den Einfluss direkter und indirekter Pfade sowie verschiedener räumlicher Skalenebenen (Fläche, Betrieb, Landschaft) auf die Ökosystemfunktion der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

2. Landnutzung und Ökosystemleistungen

Das Erscheinungsbild der Landschaft in Mitteleuropa wird durch land- und forstwirtschaftliche Aktivitäten geprägt.

50% der Landesfläche in Deutschland sind landwirtschaftliche Nutzfläche.

Landwirt*innen kontrollieren m.o.w. effizient die Vegetation in der Landschaft. Historisch gesehen geschah dies zunächst durch meliorative Eingriffe in den Boden, um den Wasser- und Nährstoffhaushalt für das Wachstum der angebauten Kulturen zu begünstigen. Durch Bodenbearbeitung, gezielte Ansaat, Unkrautbekämpfung, Düngung und Nutzung werden die heute hohen Erträge landwirtschaftlicher Kulturen ermöglicht. Durch Flächenzuschnitt und Flächenzusammenlegung greifen Landwirt*innen aber auch in den Naturhaushalt der nichtproduktiven Fläche, die sog. Landschaftselemente, in der Agrarlandschaft ein (vgl. hierzu Poschold 2017, Küster 2010). Eng verbunden mit der Gestaltung der Landschaftsstruktur, der Landnutzung, der Ausprägung von Flora und Fauna sind die Ökosystemleistungen der Agrarlandschaft. Dazu zählen neben der Bereitstellung landwirtschaftlicher Produkte der Erhalt bzw. die Förderung der biologischen Vielfalt, der Schutz des Bodens vor Degradation, die Reinhaltung von Grund- und Oberflächenwasser, die Bindung von organischem Kohlenstoff im Boden, die Bereitstellung einer für Erholungssuchende attraktiven Landschaft (vgl. Isselstein & Kayser 2014, Schils et al. 2022). Solche in der angelsächsischen Literatur als ‚ecosystem services‘ bezeichnete Leistungen werden als für den Menschen positiv, als nützlich angesehen. Sind solche Leistungen aber negativ, dann wird von ‚ecosystem disservices‘ gesprochen, etwa wenn organischer Kohlenstoff aus entwässerten, landwirtschaftlich genutzten Moorböden freigesetzt wird, Böden durch Verdichtung ihre Filter- und Speicherfähigkeiten einbüßen oder die biologische Vielfalt durch die Art der Landnutzung zerstört wird (Pellaton et al. 2022).

3. Nutztiere und Landschaft

Ein wesentlicher Aspekt der Landnutzung in Mitteleuropa ist

die Haltung von Nutztieren. Die landwirtschaftliche Nutzfläche stellt die Ressourcen bereit, die die Haltung der Nutztiere erfordert. Fährt man heutzutage durch mitteleuropäische Agrarlandschaft, dann gewinnt man allerdings nicht den Eindruck, als spielten Nutztiere für das Erscheinungsbild der Landschaft eine wichtige Rolle.

Weidende Nutztiere sind kaum mehr anzutreffen, Ausnahmen hiervon stellen manche Grünlandregionen mit Milchviehhaltung (Weidemilchprogramme) oder extensive Nutzungsformen des Grünlands (Naturschutz und Landschaftspflege) dar. Nutztiere können aber landschaftsprägend sein, auch wenn man sie in der Landschaft nicht mehr sieht. Dann sind es andere Sinne als das Augenlicht, die in manchen viehstarken Regionen die Anwesenheit von Nutztieren signalisieren, nämlich dann, wenn die Residuen der Stallhaltung zurück auf die landwirtschaftliche Nutzfläche gebracht werden.

Landschaftshistorische und vegetationskundliche Forschung hat in den zurückliegenden Jahrzehnten zeigen können, in welchem Maße herbivore Tiere das Verhältnis von Offenland zu Wald, die Vegetation im Offenland und die Ausbildung von Strukturen in der Landschaft steuern (Vera 2000, Riesch et al. 2019). Weidetiere haben Verhaltenspräferenzen, insbesondere bei der Futteraufnahme, die die Konkurrenzverhältnisse der Pflanzenarten beeinflussen. Über einen längeren Zeitraum gesehen bilden sich Vegetationsstrukturen heraus, die die Habitatvielfalt erhöhen und die Ökosystemleistungen verändern. Heute sind es aber vorrangig indirekte Effekte, mit denen Nutztiere das Erscheinungsbild der Landschaft prägen. Die Nutztierhaltung setzt erhebliche Mengen an organischem Kohlenstoff um; Futter und ggfs. Stroh gelangen von der Nutzfläche in den Stall, unverdauter organischer Kohlenstoff wird zurück auf die Fläche gebracht. Verbunden mit dem Kohlenstoff werden erhebliche Mengen an Stickstoff, Phosphor, Kalium und anderen Ele-

menten transportiert. Ein erheblicher Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche L(N) dient der Futterbereitstellung der Tiere. Knapp 30% der LN in Deutschland ist Grünland, es wird Futter für zellwandverdauende Nutztiere erzeugt. Knapp 60% der Getreideerzeugung wird für die Nutztiere verwendet (BMEL 2020). Fruchtfolgen und Produktionsintensitäten werden demnach in hohem Maße an den Versorgungszielen der Nutztierhaltung ausgerichtet.

3. Grünland, Weidewirtschaft und biologische Vielfalt

Die biologische Vielfalt des Grünlands hat sich seit der Mitte des letzten Jahrhunderts drastisch verändert. In Tab. 1 ist gezeigt, in welchem Maße historisch artenreiches Grünland in Norddeutschland durch die Intensivierung der Landnutzung verloren ging. Von ehemals 100 ha artenreichem Grünland blieben nur gut 3 ha übrig, der Rest der Fläche wurde entweder in Ackerland oder in intensiver bewirtschaftetes, artenarmes Grünland umgewandelt.

Vegetation type	%
Historical situation (50 to 60 years ago)	
Species-rich mesic meadows	100
Present situation	
Species-rich mesic meadows today	3.1
Wet meadows	3.3
Species-poor intensively managed grasslands	39.9
Marshes, fens, watersides, fallows	5.6
Woodlands, shrublands	3.7
Arable land	36.3
Water bodies	6.8
Settlements, industrial areas	1.3

Tab. 1: Landnutzungsänderungen (Flächenprozent) im Dauergrünland des norddeutschen Tieflandes am Beispiel von artenreichem Magergrünland (Krause et al. 2011).

Eine detailliertere Analyse der Pflanzenartenvielfalt zeigt, dass die Artenzahl auf der Parzellenebene von Feuchtgrünland um 30 bis 50 % zurückgegangen ist (Wesche et al. 2012, Krause et al. 2015).

Produktive Grünlandarten, die häufige Entblätterung tolerieren und eine hohe Nährstoffverfügbarkeit benötigen, wurden dominant und verdrängten die weniger konkurrenzfähigen Pflanzenarten, zu denen die meisten Arten mit hohem Natur schutzwert zählen. Anhand funktionaler Merkmalsindikatoren der Vegetation wie dem Ellenberg-Nährstoffindikatorwert konnte gezeigt werden, dass sich der lokale Nährstoffeintrag stärker auf den Vegetations- und Artenverlust auswirkt als etwa der Klimawandel (Wesche et al. 2012).

Neben der großen Bedeutung des Nährstoffeintrages, insbesondere mit Phosphor und Kalium (Riesch et al. 2018) sind es die Art und Intensität der Grünlandnutzung, die die Vielfalt beeinflussen. In einer systematischen Untersuchung der Pflanzenartenvielfalt des Grünlands in Südniedersachsen konnten Klimek et al. (2008) zeigen, dass Weiden artenreicher sind als Wiesen. Das gilt auf allen untersuchten räumlichen Skalenebenen, von der Aufnahme-parzelle bis zur Gesamtheit der untersuchten Wiesen und Weiden (Abb. 1). Interessanterweise profitieren eher seltene, z.T. auch naturschutzrelevante Arten besonders davon, wenn Grünland beweidet wird. Durch präferentielles Grasens schaffen Weidetiere kleinräumig Nischendiversität, wodurch eine größere Pflanzenartenvielfalt ermöglicht wird.

Abb. 1: Skalenabhängigkeit des Pflanzenartenreichtums von Wiesen und Weiden ($n=60$) im Landkreis Northeim, Niedersachsen, (A)=alle Arten, (B)=häufige Arten, (C)=seltene Arten, α_l (Aufnahmeparzelle), β_l (Grünland-schlag), β_r (gesamte Region), (Klimek et al. 2008)

In einer ähnlichen, in der landwirtschaftlichen Praxis auf Milchviehbetrieben in Nordwestdeutschland durchgeführten Studie konnten Breitsameter & Isselstein (2015) zeigen, dass die Pflanzenartenzahl des gesamten betrieblichen Grünlands höher ist, wenn die Betriebe den Kühen längeren Weidegang gewähren (Abb. 2).

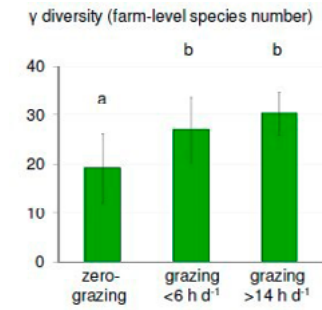
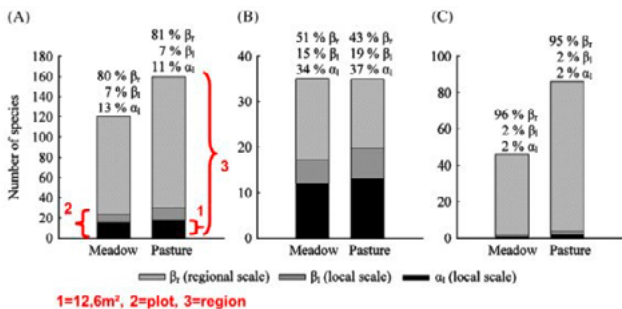


Abb. 2: Pflanzenartenreichtum (γ -Diversität, Flächen eines Betriebes insgesamt) der Grünlandflächen von Milchviehbetrieben ($n=60$) in NW-Deutschland in Abhängigkeit von der Beweidungspraxis (tägliche Weidezeit, Breitsameter & Isselstein 2015)



1=12.6m², 2=plot, 3=region

Offensichtlich spielt auch das Weidemanagement, also die raumzeitliche Begrenzung des Flächenzugangs des Weidelandes für die Weidetiere, eine wichtige Rolle für die Auswirkungen auf die Grünlandvegetation. Je weniger das Weidemanagement den Zugang begrenzt, umso stärker kommen die Auswirkungen präferentiellen Grasens zur Wirkung. So konnte für extensive Standweiden gezeigt werden, dass sich

bei gleichbleibendem Weidemanagement über viele Jahre stabile Vegetationsmuster ausbilden (Abb. 3, Tonn et al. 2018) mit sehr verschiedenen Habitatsigenschaften und ökologischen Funktionen (Jerrentrup et al. 2014, Tonn et al. 2019, Ebeling et al. 2020, Komainda et al. 2023).

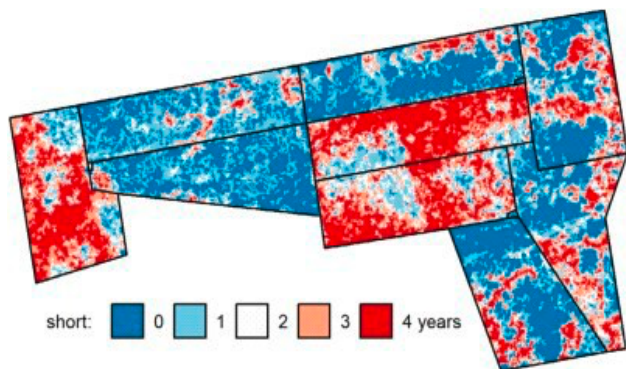


Abb. 3: Zeitliche Stabilität kurz- und hochrasiger Bereiche („patches“) auf einer langjährig mit Rindern beweideten Versuchsfläche (FORBIOBEN-Experiment). Anzahl der Fälle, in denen eine Fläche als kurzer Bereich klassifiziert wurde (im Gegensatz zu hochrasigem Bereich). Basis: Luftbildern aus den Jahren 2005, 2010, 2013 und 2015; 0: immer als hoch eingestuft, 4: immer als kurz eingestuft (Tonn et al. 2018).

Dieses Ergebnis zeigt, dass extensive Weidesysteme ein erhöhtes Potential haben, biologische Vielfalt zu erhalten und zu fördern. Dabei ist es jedoch nicht nur das Weidetier, das diese Wirkung gewährleistet. Extensive Systeme sind auch dadurch gekennzeichnet, dass der Nährstoffeinsatz und die Entblätterungshäufigkeit geringer sind als in intensiven Systemen. In Abb. 4 ist schematisch gezeigt, wie im Zusammenspiel von Entblätterungshäufigkeit und Nährstoffverfügbarkeit (durch Düngung gesteuert) einerseits die Produktionsfunktion reagiert und andererseits die Pflanzenartenvielfalt.

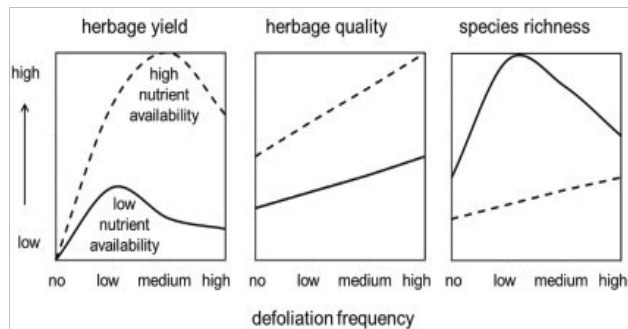


Abb. 4: Schematische Darstellung der Auswirkungen der Intensität der Grünlandnutzung (Häufigkeit der Entblätterung) und der Nährstoffverfügbarkeit auf die Eigenschaften des Grünlands (Ertrag und Qualität) und den Pflanzenartenreichtum von Grünland. Entblätterungshäufigkeit: no=Aufgabe der Nutzung, low=1-2 Schnitte/Jahr, medium=2-3 Schnitte/Jahr, high=>4 Schnitte/Jahr.

Nährstoffverfügbarkeit (Boden plus Dünger): durchgezogene Linien=geringe Nährstoffverfügbarkeit, gepunktete Linien=hohe Nährstoffverfügbarkeit (Isselstein 2018).

Ist man nun bestrebt, diese Kenntnisse im Hinblick auf die Kompatibilität mit modernen Nutztierhaltungsverfahren zu prüfen, dann stellt man zunächst fest, dass extensive Grünlandwirtschaft und Bereitstellung von Futter an hochleistende Nutztiere, v.a. Milchrinder, kaum zusammengehen. Für die konkrete Grünlandfläche, auf der hochwertiges Futter etwa für Milchkühe erzeugt wird, trifft diese Feststellung zu. Betrachtet man jedoch das gesamte Grünland eines Betriebes, dann stimmt diese Feststellung nicht mehr. In Abb. 5 sind die Ergebnisse einer Studie gezeigt, in der die Pflanzenartenvielfalt des Grünlands von Milch- und Mutterkuhbetrieben in Südniedersachsen verglichen wurde. Dabei wurde nach dem durchschnittlichen Artenreichtum der Flächen (=α-Diversität) und dem Artenreichtum aller Flächen eines

Betriebes zusammen (γ -Diversität) unterschieden. Auf den generell extensiver wirtschaftenden Mutterkuhbetrieben war die α -Diversität erwartungsgemäß größer als auf den Milchviehbetrieben. Für die γ -Diversität galt das aber nicht. Das bedeutet, dass auch Milchviehbetriebe auf ihrem Grünland eine höhere Vielfalt gewährleisten können, nicht auf jeder einzelnen Fläche, aber im Betriebsgrünland insgesamt. Dies wird dadurch ermöglicht, dass Milchviehbetriebe auch Futter einer geringeren Qualität, also von extensiver bewirtschafteten Flächen, verwerten können, nämlich durch Trockensteher oder Aufzuchtfernen im zweiten Lebensjahr.

Diversity	Beef			Dairy			p-level
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	
Species/25m ²	19	7	40	16	5	35	***
Species/Farm	50	31	79	47	34	71	n.s.

Management	Beef			Dairy			p-level
	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	
N-input kg/ha	71	0	339	167	0	468	***
Soil-P mg/100g	7.1	1	31	7.3	1	27	n.s.
Soil-K mg/100g	10.4	1	63	9.3	2	77	n.s.

Abb. 5: Pflanzenartenreichtum und Bewirtschaftung von Grünland in Milchvieh- und Mutterkuhbetrieben in Südniedersachsen, Deutschland, Anzahl der Grünlandstandorte für Milchvieh $n=120$ und für Mutterkühe $n=120$ (Stroh et al. 2009)

Ein weiteres Beispiel für den Zusammenhang zwischen Produktionssystem und Vielfalt des Grünlandes wurde jüngst am Beispiel des Kraftfuttereinsatzes bei Milchviehherden gezeigt (Abb. 6). Arbeiteten konventionelle Betriebe mit einem geringeren Kraftfutteraufwand, dann wies das Grünland auf allen Skalenebenen eine höhere Pflanzenartenvielfalt auf als auf Betrieben mit einem erhöhtem Kraftfutteraufwand.

Betriebe mit einem geringeren Kraftfuttereinsatz nutzen mehr selbst erzeugtes Futter, importieren weniger Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor, Kalium) mit dem Kraftfutter auf den Betrieb. Offensichtlich nutzen sie das betriebseigene Grünland auch rationeller, den Eigenschaften des Grünlands besser angemessen und erzielen damit auch Vorteile für die Pflanzenartenvielfalt.

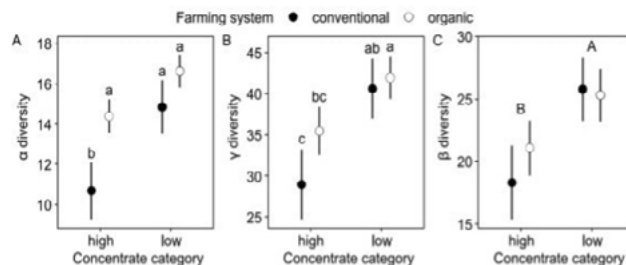


Abb. 6: Auswirkung von hohen und niedrigen Kraftfuttergaben (210 vs. 90 g je kg Milch) auf die Pflanzenartenvielfalt des Grünlands von konventionell und ökologisch wirtschaftenden Milchviehbetrieben in Deutschland (Bettin et al. 2023)

4 Schlussfolgerungen

Die Ausführungen haben gezeigt, dass Nutztierhaltung und Ökosystemleistungen auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche zusammenhängen. In den zurückliegenden Jahrzehnten wurde dieser Umstand bei der Entwicklung der Produktionssysteme der Nutztierhaltung nicht vollumfänglich berücksichtigt. Eine bessere Kenntnis der Wirkungspfade, sowohl der direkten als auch der indirekten der Nutztiere auf die Ökosystemleistungen kann dazu beitragen, dass klassische 'trade-offs', wie sie am Beispiel der Nutztierleistung einerseits und der biologischen Vielfalt des Grünlands andererseits gut dokumentiert sind, abgeschwächt werden können. Hierbei dürften drei Wege maßgeblich zu berücksichtigen sein: (i) die konsequente Bindung der betrieblichen Tierhaltung an

die von den betrieblichen Flächen produzierbaren Futterressourcen, (ii) die Weiterentwicklung rationellen und ressourcenschonenden Futterbaus sowie die Verringerung externer Inputs (Düngung, Pflanzenschutz) sowie (iii) die Weiterentwicklung und sachgerechte Anwendung von ‚smart farming‘-Technologien, die sowohl den Futterbau als insbesondere auch das Weidemanagement effizienter und zielgerichteter gestalten lässt. ■

Literatur

Bettin, K., Komainda, M., Tonn, B., & Isselstein, J., 2023: Relationship between concentrate feeding strategy and grassland phytodiversity on dairy farms. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 344, 108293.

BMEL 2020: Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe.

Ebeling, D., Tonn, B., Isselstein, J., 2020: Primary productivity in patches of heterogeneous swards after 12 years of low-intensity cattle grazing. *Grass and Forage Science* 75, 398–408.

Isselstein, J., 2018: Protecting biodiversity in grasslands. Improving grassland and pasture management in temperate agriculture. In: Marshall, A.; Collins, R. (Eds.), *Improving grassland and pasture management in temperate agriculture* pp. 381–396. Cambridge, UK: Burleigh Dodds Science.

Isselstein, J., Kayser, M., 2014: Functions of grassland and their potential in delivering ecosystem services. *Grassland Science in Europe* 19, 199–214.

Jerrentrup, J. S., Wrage-Mönnig, N., Röver, K. U., Isselstein, J., 2014: Grazing intensity affects insect diversity via sward structure and heterogeneity in a long-term experiment. *Journal of Applied Ecology* 51, 968–977.

Komainda, M., Mohn, E., Kajzrová, K., Obermeyer, K., Titèra, J., Pavlu, V., Isselstein, J., 2023: Soil organic carbon stocks and belowground biomass in patches in heterogeneous grassland. *Grassland Research* 2, 279–288.

Krause, B., Culmsee, H., Wesche, K., Bergmeier, E., Leuschner, C., 2011: Habitat loss of floodplain meadows in north Germany since the 1950s. *Biodiversity and Conservation* 20, 2347–2364.

Krause, B., Culmsee, H., Wesche, K., Leuschner, C., 2015: Historical and recent fragmentation of temperate floodplain grasslands: Do patch size and distance affect the richness of characteristic wet meadow plant species? *Folia Geobotanica* 50, 253–266.

Küster, H., 2010: *Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart*. 4. Aufl., Verlag C.H. Beck, 448 S.

Pellaton, R., Lellei-Kovacs, E., Baldi, A., 2022: Cultural ecosystem services in European grasslands: A systematic review of threats. *Ambio* 51, 2462–2477.

Poschlod, P., 2017: *Geschichte der Kulturlandschaft. Entstehungsursachen und Steuerungsfaktoren der Entwicklung der Kulturlandschaft, Lebensraum- und Artenvielfalt in Mitteleuropa*. 2. Aufl., Verlag E. Ulmer Stuttgart, 320 S.

Riesch, F., Stroh, H. G., Tonn, B., Isselstein, J., 2018: Soil pH and phosphorus drive species composition and richness in semi-natural heathlands and grasslands unaffected by twentieth-century agricultural intensification. *Plant Ecology & Diversity* 11, 239–253.

Riesch, F., Tonn, B., Meißner, M., Balkenhol, N., Isselstein, J., 2019: Grazing by wild red deer: Management options for the conservation of semi-natural open habitats. *Journal of Applied Ecology* 56, 1311–1321.

Schils R.L.M., Bufe C., Rhymer C.M., Francksen R.M., Klaus V.H., Abdalla M., Milazzo F., Lellei-Kovács E., ten Berge H.F.M., Bertora C., Chodkiewicz A., Dámâtircá C., Feigenwinter I., Fernández-Rebollo P., Ghiasi S., Hejduk S., Hiron M., Janicka M., Pellaton R., Smith K.E., Thorman R., Vanwallegem T., Williams J., Zavattaro L., Kampen J., Derckx R., Smith P., Whittingham M.J., Buchmann N., Newell Price J.P., 2022: Delivery of ecosystem services from permanent grasslands in Europe: a systematic review. *Grassland Science in Europe* 27, 274–276.

- Tonn, B., Densing, E. M., Gabler, J., Isselstein, J., 2019: Grazing-induced patchiness, not grazing intensity, drives plant diversity in European low-input pastures. *Journal of Applied Ecology* 56, 1624–1636.
- Tonn, B., Raab, C., Isselstein, J., 2019: Sward patterns created by patch grazing are stable over more than a decade. *Grass and Forage Science* 74, 104–114.
- Vera, F.W.M., 2000. *Grazing ecology and forest history*. CABI publishing.
- Wesche, K., Krause, B., Culmsee, H., Leuschner, C., 2012: Fifty years of change in Central European grassland vegetation: Large losses in species richness and animal-pollinated plants. *Biological Conservation* 150, 76–85.

Diätetische Leistungen mit Hilfe landwirtschaftlicher Nutztiere

KLAUS EDER

Institut für Tierernährung und Ernährungsphysiologie, Justus-Liebig-Universität Gießen

1. Einleitung

Die Nutztierhaltung in Deutschland steht seit einigen Jahren in der gesellschaftspolitischen Kritik. Gründe hierfür sind unter anderem ethische Aspekte und die Freisetzung von Treibhausgasen im Rahmen der Nutztierhaltung. Zudem warnen Ernährungswissenschaftler und Mediziner vor einem erhöhten Risiko für bestimmte Erkrankungen, unter anderem auch Tumoren im Bereich des Magen-Darmtrakts, durch einen hohen Verzehr von rotem Fleisch (Leitzmann und Keller, 2020). Infolge dieser Entwicklungen haben Ernährungsgesellschaften, wie auch die Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE) ihre Empfehlungen für den Verzehr tierischer Produkte, speziell für den Verzehr von Fleisch, in den letzten Jahren herabgesetzt. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche Rolle den tierischen Produkten in der Ernährung zukommt, bzw. ob gegebenenfalls auch ganz auf tierische Produkte verzichtet werden kann. Diese Frage lässt sich beantworten, indem man die Nährstoffzufuhr durch eine vegane Ernährungsweise, mit der einer omnivoren Ernährungsweise vergleicht. Zieht man umfangreichere

Untersuchungen heran, so lässt sich feststellen, dass die vegane Ernährung in der Regel geringere Gehalte an Energie, Gesamtfett, gesättigten Fettsäuren, aber höhere Gehalte an mehrfach ungesättigten Fettsäuren, n-3 Fettsäuren, Ballaststoffen und verschiedenen Vitaminen (Vitamin B1, Vitamin B6, Folsäure, Vitamin C, Vitamin E) und Mineralstoffen (Magnesium) aufweist als die omnivore Ernährungsweise (Neufingerl und Eilander, 2022). Die geringere Energiezufuhr, ebenso wie die geringere Zufuhr von gesättigten Fettsäuren und die höhere Zufuhr an mehrfach ungesättigten Fettsäuren und Ballaststoffen wirkt sich auf das Risiko für die Entstehung diverser Erkrankungen (Diabetes Typ 2, koronare Herzerkrankungen, verschiedene Krebserkrankungen) günstig aus (Leitzmann und Keller, 2020). Auf der anderen Seite gibt es einige Nährstoffe, die in der veganen Ernährung in geringeren Mengen vorkommen und daher bei dieser Ernährungsweise als kritisch einzuschätzen sind. Zu diesen Nährstoffen zählen Protein, Calcium, Selen, Vitamin D und langkettige, hochungesättigte n-3 Fettsäuren (Eicospentaensäure, EPA; Docosahexaensäure, DHA). Vitamin B12

fehlt in pflanzlichen Lebensmitteln komplett. Die Gehalte an Eisen können in der veganen Ernährung ähnlich hoch oder sogar höher sein als in der omnivoren Ernährung allerdings ist die Bioverfügbarkeit von Eisen aus pflanzlichen Lebensmitteln in der Regel deutlich geringer als aus tierischen Lebensmitteln. Auch beim Zink ist die Versorgung in der veganen Ernährung aufgrund einer geringeren Bioverfügbarkeit in der Regel schlechter als bei einer omnivoren Ernährung.

2. Kritische Nährstoffe in der veganen Ernährung – Bedeutung von tierischen Produkten

Nachfolgend sollen die in der veganen Ernährung kritischen Nährstoffen beleuchtet werden und die Bedeutung tierischer Produkte für die Versorgung mit diesen Nährstoffen betrachtet werden.

2.1 Protein

Der Mensch hat, wie auch andere Säugetiere, einen Bedarf an essentiellen Aminosäuren. Der Bedarf dieser essentiellen Aminosäuren – wie auch Bedarf an Aminostickstoff für die Synthese nicht essentieller Aminosäuren im Stoffwechsel – wird über die Zufuhr an Proteinen als Lieferanten der Aminosäuren gedeckt. Die Gehalte der essentiellen Aminosäuren in einem Protein, speziell der Gehalt der limitierenden Aminosäure (die essentielle Aminosäure, die im Verhältnis zum Bedarf in der geringsten Menge vorkommt), bestimmt den biologischen Wert des Proteins. Die biologische Wertigkeit eines Proteins ist definiert als die Menge des absorbierten Proteins, die in körpereigenes Protein überführt werden kann. Tierische Proteine weisen überwiegend eine höhere biologische Wertigkeit als pflanzliche Proteine auf, da sie über ein ausgewogeneres Muster an essentiellen Aminosäuren verfügen (Tabelle 1). In den meisten pflanzlichen Proteinen liegt mindestens eine Aminosäure unter dem Bedarf, die dann die biologische Wertigkeit des Proteins limitiert.

Zudem ist auch die Verdaulichkeit pflanzlicher Proteine in der Regel geringer als die tierischer Proteine, sodass der Anteil des Proteins, der tatsächlich zur Proteinsynthese genutzt werden kann („Net protein utilization“) bei den meisten pflanzlichen Proteinen deutlich niedriger ist als bei tierischen Proteinen. Auch der „Protein digestibility corrected amino acid score“ (PDCAAS), der auf dem Gehalt der limitierenden Aminosäure auf verdaulicher Basis in Relation zum Bedarf basiert, ist bei den meisten pflanzlichen Proteinen deutlich geringer als bei tierischen Proteinen (Tome, 2012). Proteine, deren biologische Wertigkeit aufgrund eines geringen Gehaltes einer bestimmten essentiellen Aminosäure relativ gering ist, können dadurch aufgewertet werden, indem sie mit anderen Proteinen kombiniert werden, in denen der Gehalt dieser Aminosäure über dem Bedarf liegt. Durch dieses als „Ergänzungswirkung von Proteinen“ bezeichnete Konzept können auch pflanzliche Proteine aufgewertet werden. So ergibt zum Beispiel die Kombination von Protein aus Bohnen mit Protein aus Mais (im Verhältnis 52 zu 48 auf Proteinbasis) eine biologische Wertigkeit, die vergleichbar mit der von Vollei ist. Allerdings ergibt vor allem die Kombination pflanzlicher Proteine mit tierischen Proteinen besonders hochwertige Proteine, da ein Überschuss an essentiellen Aminosäuren in tierischen Proteinen die geringeren Gehalte dieser Aminosäuren in pflanzlichen Proteinen ausgleicht (Wolfram, 1985).

Laut eines systematischen Reviews, der insgesamt 50 Studien zur Proteinzufuhr (vorwiegend aus Europa, Süd-/Ostasien und Nordamerika) berücksichtigt, liegt die tägliche Proteinzufuhr in der Bevölkerung über 18 Jahren bei omnivorer Ernährungsweise bei 82 g (entsprechend 16,0% der Energiezufuhr) und bei veganer Ernährungsweise bei 61 g (entsprechend 12,9% der Energiezufuhr). Obgleich laut dieser Zahlen die Empfehlungen zur Proteinzufuhr bei erwachsenen Personen bis 65 Jahre (0,8 g/k Körpergewicht, D-A-CH-Referenzwerte 2019) auch bei veganer Ernährungsweise erreicht wer-

den, weisen vereinzelte Studien darauf hin, dass bei veganer Ernährungsweise die Empfehlungen zur Proteinzufuhr nicht erreicht werden. In der Deutschen Vegan-Studie beispielsweise erreichten 31% der Männer und 41% der Frauen mit veganer Ernährungsweise die Empfehlungen zur Proteinzufuhr nicht (Waldmann et al., 2003). Problematisch könnte sich eine vegane Ernährung im Hinblick auf die Proteinversorgung insbesondere auch in Bevölkerungsgruppen mit einem erhöhten Bedarf auswirken, wozu neben Schwangeren und Stillenden speziell auch ältere Menschen zählen, zumal die geringere biologische Wertigkeit des Proteins in der veganen Ernährung zusätzlich zu berücksichtigen ist.

Nahrungsprotein	Biologische Wertigkeit*	Verdaulichkeit (%) [#]	Net protein utilization*	PDCAAS [#]
Lactalbumin	104	97	104	130
Vollei	100	97	100	130
Rindfleisch, Fisch	92	94	89	140
Milch	88	95	86	130
Soja	84	91	79	99
Reis	81	88	73	55
Mais	71	85	62	58
Weizen	56	86	50	54

*Werte in Relation zu Vollei, aus: Wolfram (1985)

[#]PDCAAS: Protein digestibility corrected amino acid score, aus: Tome (2012)

Tabelle 1: Ernährungsphysiologische Bewertung von Nahrungsproteinen.

* Werte in Relation zu Vollei, aus: Wolfram (1985).

PDCAAS: Protein digestibility corrected amino acid score, aus: Tome (2012).

Ein weiterer Aspekt der in Proteinen, neben dem Gehalt der limitierenden Aminosäuren und der sich daraus ableitenden biologischen Wertigkeit, von Bedeutung ist, ist der Gehalt der Aminosäure Leucin. Leucin fungiert als Trigger der Proteinbiosynthese im Muskel, indem es den mTOR-Signalweg aktiviert. Neuere Untersuchungen zeigen, dass bei der Aufnahme proteinreicher Mahlzeiten mit einem Mindestgehalt von 2 g Leucin die postprandiale Proteinsynthese maximal

aktiviert wird (van Vliet et al., 2015). Bei älteren Menschen sind aufgrund der „anabolen Resistenz“ sogar Leucinmengen von 3 bis 4 g pro Mahlzeit notwendig, um die postprandiale Proteinsynthese maximal zu stimulieren (Shad et al., 2016; Devries et al., 2018). Milchprotein (besonders Molkenprotein) ist besonders reich an Leucin, so dass die Muskelproteinsynthese schon mit relativ kleinen Mengen an diesem Protein maximal stimuliert werden kann. Auch die meisten anderen tierischen Proteine enthalten größere Mengen an Leucin als pflanzliche Proteine (Tabelle 2). Eine Reihe von Untersuchungen zeigt, dass die Art und die Höhe der Proteinzufuhr aufgrund unterschiedlicher Zufuhr an Leucin den Umfang altersbedingter Sarkopenie beeinflussen kann (Houston et al. 2008).

Nahrungsprotein	Biologische Wertigkeit*	Verdaulichkeit (%) [#]	Net protein utilization*	PDCAAS [#]
Lactalbumin	104	97	104	130
Vollei	100	97	100	130
Rindfleisch, Fisch	92	94	89	140
Milch	88	95	86	130
Soja	84	91	79	99
Reis	81	88	73	55
Mais	71	85	62	58
Weizen	56	86	50	54

*Werte in Relation zu Vollei, aus: Wolfram (1985)

[#]PDCAAS: Protein digestibility corrected amino acid score, aus: Tome (2012)

Tabelle 2: Leucingehalte in pflanzlichen und tierischen Proteinen. Aus: van Vliet et al. (2015).

2.2. Eisen

Eisen hat eine Vielzahl von Funktionen im Organismus. Dazu zählen unter anderem der Sauerstofftransport im Blut in Form von Hämoglobin, sowie die Sauerstoffspeicherung im Muskel in Form von Myoglobin. Eisen ist aber auch Bestandteil vieler Enzyme und ist an der Elektronenübertragung in der Atmungskette beteiligt (Leitzmann und Keller, 2020).

In den meisten Lebensmitteln liegt Eisen in Form von Nicht-Hämeisen vor, während in Fleisch und Geflügel ca. 40% des Eisens als Hämeisen vorliegen (Leitzmann und Keller 2020). Der Unterschied in diesen Eisenformen besteht in der Art der Absorption im Dünndarm. Nicht-Hämeisen wird über den „Divalent metal transport 1“ (DMT1) absorbiert, Hämeisen hingegen über den Hämrezeptor. Die Aufnahme von Hämeisen über den Hämrezeptor ist deutlich effektiver als die Aufnahme von Nicht-Hämeisen. Dies liegt zum einen daran, dass das überwiegend in dreiwertiger Form vorkommende Nicht-Hämeisen erst zum zweiwertigen Nicht-Hämeisen reduziert werden muss und die Aufnahme des zweiwertigen Eisens zudem durch diverse andere Nahrungsbestandteile gehemmt werden kann. Zu letzteren zählen beispielweise Phytate, Polyphenole, Sojaprotein, Milch- und Eiprotein, Calciumsalze, Phosphate, Oxalate sowie auch eine Reihe anderer zweiwertiger Kationen. Begünstigt wird die Absorption von Nicht-Hämeisen hingegen durch Nahrungsfaktoren, die zu einer Reduktion des dreiwertigen Eisens fördern. Dazu zählen Vitamin C und schwefelhaltige Aminosäuren. Proteine aus Muskelfleisch begünstigen die Eisenaufnahme („Meat factor“), vermutlich aufgrund des darin enthaltenen Cysteins (Leitzmann und Keller 2020). Die Absorption von Hämeisen liegt im Bereich zwischen 5 und 35%, die von Nicht-Hämeisen zwischen 2 und 20% (Beard and Dawson, 1997). Die große Variabilität des Umfangs der Eisenabsorption liegt auch darin begründet, dass die Eisenversorgung selbst einen großen Einfluss auf den Umfang der Eisenabsorption hat (Hunt, 2002). Ein besserer Eisenstatus (höhere Eisengehalte in der Leber) führt dazu, dass die Aufnahme von Eisen aus der Darmzelle in den Blutkreislauf gehemmt wird, da der dafür verantwortliche Transporter an der basolateralen Membran (Ferroportin) gehemmt wird (Stangl, 2014).

Eine Meta-Analyse zeigte, dass sowohl bei Männern als auch bei prämenopausalen Frauen eine vegetarische Ernährung mit einer Reduktion der Konzentration des Ferritins im Serum, die als Indikator für die Eisenspeicher in der Leber gilt, im Vergleich zu einer omnivoren Ernährung vermindert war (Haider et al., 2018; Tabelle 3). Bei den Männern war die Reduktion deutlich stärker (-62 µg/L als bei den prämenopausalen Frauen (-18 µg/L). Allerdings war die Reduktion der Ferritinkonzentration bei den Männern bei vegetarischer Ernährung deutlich unproblematischer, da die Ferritinkonzentrationen trotz der Reduktion in allen Studien im Referenzbereich blieben. Der Referenzbereich für Serumferritin liegt bei 300 bis 200 µg/l Werte von unter 30 µg/zeigen eine Eisen-depletion an, Werte unter 15 µg/ gelten als Eisenmangel (Milman et al., 2017). Bei den prämenopausalen Frauen hingegen waren die Werte bereits bei omnivorer Ernährungsweise sehr gering, so dass sich ein weiterer Abfall durch vegetarische Ernährungsweise noch stärker bemerkbar machte (Tabelle 3). Diese Zahlen deuten darauf hin, dass eine vegetarische Ernährung das Risiko eines Eisenmangels bei prämenopausalen Frauen erhöht. Daraus leitet sich die Schlussfolgerung ab, dass der Konsum von Fleisch vor allem bei prämenopausalen Frauen wichtig ist, um eine adäquate Eisenversorgung sicher zu stellen.

Studie	Vegetarier		Omnivore		Differenz
	Mittelwert	SD	Mittelwert	SD	
Frauen (prämenopausal)					
Faber (1986)	16,1	12,9	47,3	35,7	-31,2
Shaw (1995)	25,7	17,2	51,1	33,0	-25,4
Derlemaeker (2010)	22	12	51	15	-29,0
Hawk (2012)	23,2	15,5	27,8	18,0	-4,6
Huang (1999)	17,9	10,3	40,0	20,9	-22,1
Harvey (2005)	12,6	10,5	13,0	9,9	-0,4
Gesamt (95% CI)*					-17,7
Männer					
Brune (1989)	84,5	76,6	109,3	133,1	-24,8
Harmann (1998)	79,8	30,3	148	162	-68,2
Faber (1986)	60,7	103,9	146,8	82,5	-86,1
Haddad (1999)	72	32	141	93	-69,0
Shaw (1995)	72,3	44,8	192,6	132,5	-120,3
Wilson (1999)	65	50	121	73	-56,0
Kajanachumpol (2011)	54,1	41,4	159,2	113,9	-105,1
Li (2000)	50	29	121	95	-70,7
Derlemaeker (2010)	50	19	73	29	-23,0
Huang (1999)	46,2	18,1	69,9	22,6	-23,7
Gesamt (95% CI)*					-61,9

Test auf Unterschied: *P=0,004; #P<0,0001

Tabelle 3: Serumferritinkonzentrationen ($\mu\text{g/l}$ bei Vegetariern und Omnivoren (Meta-Analyse, Haider et al., 2018).

Test auf Unterschied: *P=0,004; #P<0,0001.

2.3 Zink

Zink spielt im tierischen Organismus eine außerordentlich wichtige Rolle, da es Bestandteil oder Aktivator von mehr als 300 Enzymen ist und daher in den Ablauf vieler Stoffwechselwege involviert ist (Chesters, 1997). Zink kommt sowohl in tierischen als auch pflanzlichen Lebensmitteln vor. Zink aus der Nahrung wird durch Zinktransporter in die Darmzelle aufgenommen (Wan und Zhang, 2022). Auch beim Zink ist die Rate der Absorption sehr stark von der Zusammensetzung der Nahrung abhängig. Diverse Nahrungsinhaltsstoffe können mit der Absorption von Zink interagieren, in dem sie Komplexe mit Zink bilden. Eine besondere Rolle spielt dabei Phytinsäure, die vor allem in Vollkorngetreideprodukten vorkommt. Aufgrund negativ geladener Gruppen kann Phytinsäure Zink elektrostatisch binden, wodurch schwer lösliche Komplexe entstehen, die der Absorption nicht zugänglich sind. Die Absorption von Zink wird daher maßgeblich

vom molaren Verhältnis zwischen Phytinsäure und Zink in der Nahrung beeinflusst. Laut WHO liegt die Absorptionsrate von Zink bei einem Phytinsäure:Zink-Verhältnis von 5:1 bei 50%, bei Verhältnissen von 5–15 bzw. über 15 hingegen nur noch bei 30 bzw. 15% (Roohani et al., 2013). Weitere Stoffe, die die Absorption von Zink hemmen sind Tannine (Kaffee, Tee) oder hohe Dosen an Kupfer, Eisen, Calcium oder Phosphat (Biesalski und Grimm, 2004). Tierische Proteine fördern hingegen die Absorption von Zink (Leitzmann und Keller (2020).

Laut eines systematischen Reviews, der 23 Studien zur Zinkaufnahme berücksichtigte, ist die Zinkaufnahme bei veganer und omnivorer Ernährungsweise vergleichbar (Neufingerl und Eilander 2022). Eine Meta-Analyse von Foster et al. (2013) ergab aber, dass sowohl eine vegane als auch eine ovo-lacto-vegetarische Ernährungsweise mit signifikant verminderten Serumzink-Konzentrationen im Vergleich zu einer omnivoren Ernährungsweise assoziiert war. Eine neuere Studie (Nutritional Evaluation Study, Klein et al. 2023) zeigte, dass bei einer veganen Ernährungsweise auch die Konzentration an freiem Zink im Plasma vermindert war. Insgesamt belegen diese Studien, dass tierische Lebensmittel, vor allem Fleisch, wichtig für eine adäquate Zinkversorgung sind.

2.4 Calcium

Calcium ist der mengenmäßig wichtigste Mineralstoff im menschlichen Organismus. Mehr als 99% des Calciums sind in Knochen und Zähnen lokalisiert. Calcium hat daneben aber auch eine Reihe anderer wichtiger Funktionen, wie etwa der Mitwirkung bei der Blutgerinnung der neuromuskulären Erregbarkeit, sowie als Cofaktor von Enzymen und der Sekretion von Hormonen wie Insulin (Leitzmann und Keller 2020).

Die Zufuhr von Calcium erfolgt in Deutschland zu 40 bis 60% aus Milch und Milchprodukten, die sehr reich an Calcium sind (Robert Koch-Institut, 2002; MRI, 2008). Verschiedene pflanzliche Lebensmittel (Grünkohl, Mandeln, Haselnüsse) sind ebenfalls reich an Calcium. Allerdings kann die Rate der Absorption von Calcium aus verschiedenen pflanzlichen Lebensmitteln durch das Vorkommen verschiedener pflanzlicher Inhaltsstoffe, wie Phytinsäure, Oxalsäure oder verschiedenen Ballaststoffen, die mit Calcium schwerlösliche Komplexe bilden, beeinträchtigt sein (Leitzmann und Keller). Entsprechend der Nationalen Verzehrsstudie II liegt die mittlere tägliche Calciumzufuhr bei Männern bei 1052 mg und bei Frauen bei 964 mg (MRI, 2008). Die Calciumzufuhr bei Menschen mit veganer Ernährung ist insgesamt deutlich niedriger. Sie liegt laut mehrerer Studien bei 540 bis 840 mg (Frauen) bzw. 520 bis 890 mg (Männer) (Leitzmann und Keller, 2020).

Im Unterschied zu anderen Elementen ist die Calciumkonzentration im Plasma kein geeigneter Parameter für die Ableitung des Versorgungsstatus, da sie streng hormonell (Calcitonin, Parathormon) reguliert wird. Eine Reihe von Studien zeigte allerdings, dass Menschen mit veganer Ernährungsweise eine geringere Knochendichte aufweisen und zudem ein deutlich erhöhtes Frakturrisiko, speziell im Bereich der Hüfte, aufweisen (Kraselnik, 2024). Ein Teil des erhöhten Frakturrisikos bei veganer Ernährungsweise ist auf einen geringeren Body-Mass-Index zurückzuführen. Interessanterweise war das Frakturrisiko auch dann noch erhöht, wenn das Risiko auf Body-Mass-Index sowie der Zufuhr von Calcium und Protein adjustiert wurde (Tabelle 4). Dies deutet darauf hin, dass tierische Lebensmittel, unabhängig der Gehalte an Calcium, einen positiven Effekt auf das Frakturrisiko haben.

	Fälle	Adjustiertes Risiko*	Adjustiertes Risiko + BMI	Adjustiertes Risiko + BMI + Calcium + Protein
Gesamte Frakturen				
Fleischesser	2468	Referenz	Referenz	Referenz
Fischesser	464	0,97	0,95	0,94
Ovo-lacto-Vegetarier	862	1,11	1,09	1,07
Veganer	147	1,50	1,43	1,30
Hüftfrakturen				
Fleischesser	610	Referenz	Referenz	Referenz
Fischesser	122	1,33	1,26	1,25
Ovo-lacto-Vegetarier	172	1,34	1,25	1,21
Veganer	41	2,64	2,31	1,94

Tabelle 4: Risiko für Frakturen in Abhängigkeit der Ernährungsweise in der EPIC-Oxford-Studie (Kraselnik, 2024).

Adjustiert auf Geschlecht, Alter, ethnische Herkunft, sozio-ökonomischer Status, physische Aktivität, Rauchen, Alkoholkonsum, Verwendung von Supplementen, menopausaler Status bei Frauen, Anwendung einer Hormonersatztherapie bei postmenopausalen Frauen.

2.5 Selen

Selen zählt zu den essentiellen Spurenelementen. Es fungiert vor allem als Bestandteil von Glutathionperoxidasen, die als oxidative Enzyme ein Schutz gegen oxidativen Stress darstellen. In Lebensmitteln liegt Selen hauptsächlich in Form von Selenomethionin oder Selenocystein vor. Diese beiden Selenformen werden zu 70-80% im Dünndarm absorbiert. Die Absorption von Selen wird nicht wesentlich durch andere Nahrungsbestandteile beeinflusst (Alexander und Olsen, 2023). Die Gehalte an Selen in tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln unterscheiden sich deutlich. Während viele tierische Lebensmittel reich an Selen sind (vor allem in Fisch und Meeresfrüchten), sind die Selengehalte in den meisten pflanzlichen Lebensmitteln gering (Tabelle 5).

Mehrere Studien zeigten, dass die Selenzufuhr bei veganer und auch ovo-lacto-vegetarischer Ernährung niedriger ist als bei omnivorer Ernährungsweise (siehe Leitzmann und Keller, 2020). Beispielsweise erreichten in der EPIC-Oxford-Studie 50% der Veganerinnen und 33% der Veganer sowie über

60% der ovo-lacto-Vegetarierinnen und 43% der ovo-lacto-Vegetarier die Referenzwerte der Selenzufuhr nicht (Sobiecki et al. 2016). Bei den Mischköstlerinnen und Mischköstlern lagen diese Werte bei 14 bzw. 12%. In den meisten Studien war auch der Selenstatus von Menschen mit veganer oder vegetarischer Ernährungsweise niedriger als bei Menschen mit omnivorer Ernährungsweise (siehe Leitzmann und Keller, 2020). Auch in der kürzlich veröffentlichten Nutritional Evaluation (NuEva) Studie zeigten Menschen mit veganer oder vegetarischer Ernährung niedrigere Konzentrationen an Selen sowie eine niedrigere Aktivität der Glutathionperoxidase im Plasma als Menschen mit omnivorer Ernährungsweise (Klein et al., 2023). Auch diese Untersuchung bestätigt, dass der Verzehr von Fleisch und Fisch für eine adäquate Versorgung mit Selen wichtig ist.

Tierische Lebensmittel	µg/100 g		µg/100 g
Rindfleisch	5,4	Weizen	7,0
Schweinefleisch	12	Hafer	7,1
Hähnchenfleisch	10	Kartoffel	1,5
Hühnerei	10	Möhre	1,4
Kuhmilch	1,3	Grünkohl	1,4
Edamer	4,0	Paprika	4,3
Ementaler	11	Erbse	0,9
Speisequark	5,0	Linse	9,8
Kabeljau	28	Apfel	1,4
Rotbarsch	44	Erdbeere	1,0
Hering	43	Sojabohne	19
Thunfisch	82	Erdnuss	5,7
Lachs	29	Walnuss	5,5

Tabelle 5: Selengehalte in ausgewählten tierischen und pflanzlichen Lebensmitteln (Souci et al., 2008)

2.6 Vitamin B12

Vitamin B12 ist in Form von Adenosylcobalamin und Methylcobalamin Cofaktor der Homocystein-Methyltransferase und der Methylmanoyl-CoA-Mutase. Diese Enzyme katalysieren die Remethylierung von Homocystein zu Methionin bzw. die Umlagerung von Methylmalonyl-CoA zu Succinyl-CoA.

In Pflanzen kommt im Unterschied zu Tieren kein Vitamin B12 vor. Daher enthalten pflanzliche Lebensmittel kein Vitamin B12. Lediglich pflanzliche Produkte, die einer mikrobiellen Behandlung unterzogen werden, wie z.B. Sauerkraut, enthalten geringe Mengen an Vitamin B12, die allerdings keinen ausreichenden Beitrag für die Bedarfsdeckung leisten. Innerhalb der tierischen Lebensmittel sind vor allem Innereien (Leber, Herz, Niere) reich an Vitamin B12, aber auch alle anderen tierischen Lebensmittel enthalten mehr oder weniger große Mengen an Vitamin B12. Laut Nationaler Verzehrsstudie II liegt die tägliche Vitamin B12-Zufuhr in der Gesamtbevölkerung bei Frauen bei 4,0 µg und bei Männern bei 5,8 µg. Diese Werte liegen bei oder knapp über dem aktuellen Referenzwert der Deutschen Gesellschaft für Ernährung von 4,0 µg. Bei Ovo-Lacto-Vegetariern liegt die tägliche Vitamin B12-Zufuhr hingegen nur bei 1,6-3 µg (Leitzmann und Keller, 2020). Die Versorgungssituation der verschiedenen Ernährungsweisen manifestiert sich auch an Parametern der Vitamin B12-Versorgung. Bei veganer Ernährungsweise zeigen Serumcobalamin und Holo-Transcobalamin die niedrigsten Werte, Methylmalonsäure und Homocystein hingegen die höchsten Werte. Ovo-lacto-Vegetarier liegen in diesen Werten zwischen Veganern und Mischköstlern (Herrmann et al. 2003).

2.7 Vitamin D

Vitamin D, das in Form von Vitamin D3 (tierische Form) und Vitamin D2 (pflanzliche Form) vorkommt, spielt eine zentrale Rolle in der Calcium- und Phosphathomöostase. Neuere Untersuchungen zeigen, dass Vitamin D auch weitere Funktionen hat und beispielsweise eine Rolle im Immunsystem wahrnimmt (Johnson and Thacher, 2023).

Der Großteil der Vitamin D-Versorgung wird durch Eigensynthese in der Haut unter dem Einfluss der Einwirkung von UV-Strahlen gedeckt. Die meisten Lebensmittel sind

arm an Vitamin D. Lediglich Fettfische (Hering, Aal, Sardinen, Lachs) sind reich an Vitamin D. In Pflanzen haben nur verschiedene Pilzarten nennenswerte Gehalte an Vitamin D. Die Versorgung der deutschen Bevölkerung mit Vitamin D durch die Nahrung liegt entsprechend der Nationalen Verzehrsstudie II (MRI, 2008) bei 2,9 und 2,2 µg pro Tag bei Männern und Frauen und daher deutlich unter dem D-ACH-Referenzwert von 8 µg. Aufgrund der geringen Gehalte von Vitamin D in den meisten pflanzlichen Lebensmitteln ist die Zufuhr von Vitamin D bei Veganern noch geringer als bei Mischköstlern. In einer Meta-Analyse, die 21 Studien zur Vitamin D-Aufnahme einschloss, lag die Vitamin D-Zufuhr bei Personen mit Fleischverzehr bei 4,17 µg bei Vegetariern bei 2,67 µg und bei Veganern bei 1,52 µg (Neufingerl und Eilander 2022). Entsprechend zeigten sich bei Veganern auch die geringsten Plasmakonzentrationen an 25-Hydroxy-Vitamin D, einem Indikator der Vitamin D-Versorgung (Neufingerl und Eilander 2022). Insgesamt bleibt festzuhalten, dass tierische Lebensmittel, vor allem Fettfische, zu einer Verbesserung der Vitamin D-Versorgung beitragen können. Trotzdem liegt die Versorgung mit Vitamin D auch bei Personen mit omnivorer Ernährungssituation deutlich unterhalb der Referenzwerte.

2.8 Langkettige hochungesättigte n-3 Fettsäuren (EPA, DHA)

Die hochungesättigte n-3 Fettsäuren (EPA, DHA) spielen eine wichtige Rolle als Bestandteile der Phospholipide in Zellmembranen. EPA ist zudem Ausgangssubstanz für die Bildung verschiedener Eicosanoide (Prostaglandine, Prostaglandine, Leucotriene, Thromboxane), die teilweise antagonistische Wirkungen zu den aus der Arachidonsäure gebildeten Eicosanoiden haben. EPA und DHA haben zudem eine präventive Wirkung gegenüber der Entstehung kardiovaskulärer Erkrankungen. Diese beiden Fettsäuren können auch aus der

Vorstufe, der α -Linolensäure (ALA), gebildet werden. Allerdings ist die Umwandlung von ALA in EPA und DHA durch Desaturasen und Elongasen insgesamt gering. Zudem wird die Konversion von ALA zu EPA und DHA durch hohe Gehalte an Linolsäure kompetitiv gehemmt, da Linolsäure die gleiche Enzymkaskade nutzt (Leitzmann und Keller, 2020).

Die hochungesättigten Fettsäuren EPA und DHA kommen in relativ großen Mengen in Fettfischen, in geringeren Mengen in den Zellmembranen von Säugetieren vor. Pflanzen enthalten keine EPA und DHA. Lediglich Algen stellen eine Quelle hochungesättigter n-3 Fettsäuren in der veganen Ernährung dar. Daher ist die Zufuhr von EPA und DHA bei Personen mit veganer Ernährung weitaus niedriger als bei Personen mit omnivorer Ernährungsweise. Neufingerl und Eilander (2022) geben in ihrer Meta-Analyse für Veganer eine tägliche Zufuhr von 31 mg an, für Personen mit omnivorer Ernährung hingegen von 268 mg. Obgleich Personen mit veganer Ernährung eine deutlich höhere Zufuhr an ALA haben, weisen sie in den meisten Studien geringere Spiegel an EPA und DHA im Plasma auf (siehe Leitzmann und Keller 2020).

Zusammenfassung

Es ist unstrittig, dass eine Ernährungsweise, die überwiegend auf pflanzlichen Lebensmitteln basiert, das Risiko für verschiedene Krankheiten vermindert und damit auch gesundheitliche Vorteile mit sich bringt. Untersuchungen zur Nährstoffaufnahme bei veganer Ernährungsweise zeigen aber, dass eine Ernährung ohne tierische Produkte zu einem Defizit an verschiedenen essentiellen Nährstoffen führen kann, zumal bei bestimmten Nährstoffen in pflanzlichen Lebensmitteln nicht nur die Gehalte, sondern auch die biologische Wertigkeit (Protein), die Verdaulichkeit (Protein) oder die Absorbierbarkeit (Eisen, Zink) niedriger sind als in tierischen Lebensmitteln. Um eine bedarfsgerechte Versor-

gung mit den Nährstoffen sicher zu stellen, die in pflanzlicher Nahrung kritisch sind, ist daher ein Mindestanteil an tierischen Lebensmitteln in der Ernährung notwendig. ■

Literatur

- Alexander, J., Olsen, A.-K. (2023): Selenium – a scoping review for Nordic nutrition recommendations 2023. *Food Nutr. Tres.* 28:67.
- Beard, J.L., Dawson, H.D. (1997): Iron. In *Handbook of nutritionally essential mineral elements* (B.L. O’Dell, R.A. Sunde, eds). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Biesalski, H.K., Grimm, P. (2004): *Taschenatlas Ernährung*: Thieme, Stuttgart und New York.
- Chesters, J.K. (1997): Zinc. In *Handbook of nutritionally essential mineral elements* (B.L. O’Dell, R.A. Sunde, eds). Marcel Dekker, Inc. New York.
- Devries, M., McGlor, C., Bolster, D.R., Kamil, A. Rahn, M., Harkness, L., Baker, S.K., Phillips, S.M. (2018): Leucine, not total protein, content of a supplement is the primary determinant of muscle protein anabolic responses in healthy older women. *J. Nutr.* 148:1088-1095.
- Foster, M., Chu, A. Petocz, P., Samman, S. (2013): Effect of vegetarian diet on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *J. Sci. Food. Agric.* 93:2362-2371.
- Haider, L.M., Schwingshackl, L., Hoffmann, G., Ekmekcioglu, C. (2018): The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 58:1359-1374.
- Herrmann, W., Schorr, H., Obeid, R. Geisel, J. (2003): Vitamin B12 status, particularly holotranscobalamin II and methyl malonic acid concentrations, and hyperhomocysteinemia in vegetarians. *Am. J. Clin. Nutr.* 78:131-136.
- Hunt, J.R. (2002): Moving towards a plant-based diet: Are iron and zinc at risk? *Nutr. Rev.* 60:127-134.
- Johnson, C.R. Thacher, T.D. (2023): Vitamin D: immune function, inflammation, infections and auto-immunity. *Paediatr. Int. Child Health* 43:29-39.
- Klein, L., Dawczynski, C., Schwarz, M., Maares, M., Kipp, K., Haase, H., Kipp, A.P. (2023): Selenium, Zinc, and copper status of vegetarians and vegans in comparison to omnivores in the Nutritional Evaluation (NuEva) study. *Nutrients* 15:3538.
- Kraselnic, A (2024): Risk of bone fracture on vegetarian and vegan diets. *Curr. Nutr. Rep.* (Epub ahead of print).
- Leitzmann, C., Keller, M. (2020): *Vegetarische und vegane Ernährung*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart, 4. Auflage.
- Milman, N., Taylor, C.L., Merkel, J., Brannon, P.M. (2017): Iron status in pregnant women of reproductive age in Europe. *Am. J. Clin. Nutr.* 106:1655S-1662S.
- MRI (Max-Rubner-Institut) (2008): *Nationale Verzehrsstudie II. Ergebnisbericht Teil II*, Karlsruhe.
- Neufingerl, N., Eilander, A (2022): Nutrient intake and status in adults consuming plant-based diets compared to meat-eaters: A systematic review. *Nutrients* 14, 29.
- Robert Koch-Institut (2002): *Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Was essen wir heute?* Berlin.
- Roohani, N., Hurrell, R. Kelishadi, R. Schulin, R (2013): Zinc and its importance for human health: An integrative review. *J. Res. Med. Sci.* 18:144-157.
- Shad, B.J. Thompson, J.L., Breen, L. (2016): Does the muscle protein synthetic response to exercise and amino-acid based nutrition diminish with advancing age? A systematic review. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 311:E803-E817.
- Sobiecki, J.G., Appleby, P.N., Bradburry, K.E., Key, T.J. (2016): High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the EPIC-Oxford study. *Nutr. Res.* 36:464-477.
- Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H. (2008): *Die Zusammensetzung der Lebensmittel – Nährwert-Tabellen*. 7. Auflage, MedPharm Scientific Publishers, Stuttgart.
- Stangl, G.I. (2014) *Mineralstoffe, Vitamine und sonstige Wirkstoffe*. In: M. Kirchgeßner (ed.) *Tierernährung*, 14. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main

- Tome, D. (2012): Criteria and markers for protein quality assessment – a review. *Br. J. Nutr.* 108:222-229.
- Van Vliet, S., Burd, N.A. van Loon, L.J.C. (2015): The skeletal anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. *J. Nutr.* 145:1981-1991.
- Waldmann, A. Koschizke, J.W., Leitzmann, C., Hahn, A (2003): Dietary intake and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study. *Eur. J. Clin. Nutr.* 57:947-955.
- Wan, Y., Zhang B. (2022): The impact of zinc and zinc homeostasis on the intestinal barrier and intestinal diseases. *Biomolecules* 12:900.
- Wolfram, G. (1985): Grundlagen der Ernährung und des Stoffwechsels. In: Stoffwechselkrankheiten (H. Mehnert, ed.) Thieme, Stuttgart.

Alternative Proteine zwischen Physiologie und Nachhaltigkeit

HANNELORE DANIEL

ehemals Lehrstuhl für Ernährungsphysiologie der TU-München

Einleitung

Proteine und vor allem die sogenannten „Alternativen Proteine“ (AltP) haben in jüngster Zeit eine enorme öffentliche Wahrnehmung erfahren. Unter AltP werden vielfach die Substitute für tierische Proteine und deren Ursprung wie Milch, Eier, Fleisch und daraus hergestellte Produkte, verstanden. Es werden darunter aber auch neuartige Quellen (Pflanzen, Pilzen, Insekten, Bakterien bzw. Einzeller) definiert, die dem Ersatz von pflanzlichen Rohstoffen wie Sojabohnen oder Getreide – in Tier- und Humanernährung dienen sollen. Und letztlich werden AltP auch als tragende Säule der Nahrungsversorgung einer stetig wachsenden Weltbevölkerung angesehen. Wir reden also zunächst in allen Fällen über eine Erweiterung des Spektrums von Rohstoffquellen – und dies ist fast immer mehr als nur Protein. Wenn es jedoch ihre Funktionalität erlaubt, sind die aus den neuen Quellen gewonnenen Proteine auch Ersatz und damit „alternativ“ zu konventionellen Quellen.

Verfahren für die Erzeugung von AltP

Aufgrund der begrenzten Agrarflächen und den aus dem Klimawandel zu erwartenden Verringerungen der landwirt-

schaftlichen Erträge resultiert das Interesse an Proteinen aus neuen Quellen. Auch das Streben nach nachhaltigeren Ernährungsweisen, bei denen Fleisch und tierische Lebensmittel ersetzt werden, hat das Interesse an „neuen Proteinen“ geschürt und eine riesige Zahl von Forschungsinitiativen gestartet. Diese sind häufig auch in nationale strategische Initiativen eingebettet, um die Lebensmittelsysteme widerstandsfähiger und weniger abhängig von Importen zu machen. Während sich der Agrar- und Ernährungssektor derzeit auf Eiweißpflanzen, Ertragssteigerungen und klimafreundlichere Pflanzensorten konzentriert, bieten neue Technologien auch neue Wege für die Lebensmittelproduktion. So können mittels erneuerbarer Energien, Wasserstoff, Acetat oder Methanol gebildet werden, die dann als Energiesubstrate für die Biomasse- und Proteinproduktion durch Pflanzen oder Algen dienen können (Leger D, Matassa S, Noor E et al. 2021, Hann EC, Overa S, Harland-Dunaway M. 2023). So kommen auch chemolithotrophe Bakterien zum Einsatz, die Wasserstoff als Energiequelle nutzen und CO₂ aus der Atmosphäre in die Biomasse einbringen. Sie werden bereits für die Proteinproduktion genutzt (Nyyssölä, A, Ojala LS, Wuokko M

et al. 2021) und befinden sich in Europa im Antragverfahren für die Novel-Food-Zulassung. Die Biotechnologie bietet ebenfalls ein breites Spektrum an neuen Ansätzen, die neben eher tradierten Feldern wie Algenproduktion oder Proteinisolation aus Nebenströmen das Produktspektrum stark erweitert (siehe Abbildung). Dazu zählen Zellkulturtechniken mit Stammzellen als Rind, Schwein oder Fisch, die als Substitute herkömmlicher Fleisch- und Fischprodukte dienen sollen. „Präzisionsfermentation“ mit rekombinanter Expression von Zielproteinen wie Caseinen oder Molkenproteinen in Bakterien oder Hefen führen zu Milchprodukten aus dem Fermenter. Darüber hinaus gibt es viele Bemühungen Pilze und ihr Mycel für die Nutzung von nicht durch den Menschen verwertbaren Nebenströmen und damit direkt für die Lebensmittelerzeugung zu erschließen. Erste Produkte aus Mycelien sind in den Märkten. Bei AltP haben wir es somit mit einem riesigen Spektrum an Ansätzen und neuartigen Technologien zu tun, die eine Bewertung der Unbedenklichkeit sowie der Nährwert- und Umweltqualität der daraus hergestellten neuartigen Lebensmittel erfordern. Vielfach lässt sich die Nachhaltigkeit der Produktion mit diesen neuen Verfahren jedoch nicht realistisch darstellen, da entscheidende Kenngrößen für die Berechnungen fehlen und die Prozessparameter auch sehr von der Skalierung abhängen. Dabei steht in nahezu allen Verfahren, die eine Produktion jenseits von Agrarflächen vorsieht, die Frage nach der Energiequelle im Vordergrund. Nur wenn die Energie aus erneuerbaren Quellen stammt, lassen sich günstige CO₂-Emissionen darstellen (Sinke, P., Swartz, E., Sanctorem, H. et al. 2023). Damit unmittelbar verknüpft ist die Frage, inwieweit die AltP gegenüber konventionellen Quellen und Produkten auch jemals eine Preisparität erreichen können. Das gilt gleichermaßen für die Proteinisolate oder -konzentrate aus neuen Quellen, wie auch die pflanzlichen Substitute von tierischen Lebensmitteln, die seit kurzer Zeit die Regale füllen. Bei in vitro

generiertem Fleisch wird die Diskrepanz besonders eklatant (Garrison GL, Biermacher JT, Brorsen BW 2022). Solange für die konventionellen Lebensmittel nicht „true cost“ gilt und die Externalitäten nicht eingepreist sind (Pieper M, Michalke A, Gaugler T. 2021), werden die Mehrzahl der neuen Produkte kaum Preisparität und damit auch keinen nennenswerten Marktanteil erreichen können.

Proteinbedarfe, Zufuhr und Emissionen

Nach FAO-Schätzungen beträgt der Proteinbedarf für das Jahr 2050 mit erwarteten 10 Milliarden Menschen rund 400 Millionen Tonnen pro Jahr (<https://www.fao.org/global-perspectives-studies/food-agriculture-projections-to-2050/en/>). Berechnungen auf der Grundlage des Delta-Modells haben ergeben, dass die schon heute weltweit zur Verfügung stehende Proteinmenge ausreichend wäre, um die in 2050 erwarteten 10 Milliarden Menschen zu versorgen (Smith NW, Fletcher AJ, Dave LA et al. 2021). Der erwartete Mehrbedarf an Protein wird in erster Linie in Ländern der südlichen Hemisphäre bestehen, da hier der Anstieg der Populationen von ca. 1,5 bis 2 Milliarden Menschen erwartet wird. Es bleibt daher zu vermuten, dass auch weiterhin die Versorgung hier in erster Linie ein Verteilungsproblem bleibt und nicht durch eine unzureichende Proteinmenge bestimmt wird. Dem Proteinbedarf in diesen Weltregionen steht aber heute schon ein Überkonsum an Protein gegenüber, der in allen Industrieländern die empfohlenen Zufuhrmengen erheblich übersteigt, was Folgen für die Gesundheit und die Umwelt hat.

Zweifellos sind unter den Makronährstoffen Proteine mit den unentbehrlichen Aminosäuren die wichtigsten Nahrungskomponenten für Wachstum, Gedeih und Erhalt an Körpersubstanz und Funktion bei Säugern. Im Gegensatz zu den meisten pflanzlichen Proteinquellen weisen die tierischen Produkte Aminosäuremuster auf, die denen der menschlichen Proteine nahekommen und somit mit gerings-

ter Gesamtzufuhr an Protein optimale physiologische Funktionalität bieten. Menschen verzehrten in der Vergangenheit alles, was das jeweilige Ökosystem bot, und das war meist eine Mischung aus pflanzlichen und tierischen Produkten. Allerdings zeigen verschiedene Ernährungsmuster, dass der Anteil tierischer Erzeugnisse als Bestandteil der Ernährung mit einem nördlicheren Breitengrad zunimmt (Pontzer, H, Wood, BM (2021). Für Mittel- und Nordeuropa gilt dies auch für die Ernährung von frühen Homininen. Bei Überresten von Neandertalern (Alter ca. 40.000 Jahre) und anderen paläolithischen Menschen in Europa ergab die Isotopenanalyse von 15 N im Knochenkollagen eine noch ausgeprägtere Signatur als bei reinen fleischfressenden Spezies derselben Region. Dies deutet darauf hin, dass frühe Menschen hier einen sehr hohen Anteil an tierischem Eiweiß in ihrer Nahrung hatten (Lee-Thorp, J, Sponheimer M. 2006). Bemerkenswert ist, dass die tägliche Proteinzufuhr weltweit stark mit der durchschnittlichen Körperlänge von Männern und Frauen korreliert (Grasgruber P, Hrazdíra E. 2020). Dabei zeigt sich auch eine enge Korrelation mit der phänotypischen Häufigkeit der Laktosetoleranz, was suggeriert, dass die hohe biologische Qualität des Milcheiweißes, das in der Jungsteinzeit eingeführt wurde, auch zusätzliches Wachstum fördert. Es lässt sich also feststellen, dass die Proteinversorgung nach Umfang und Art bei Homininen im Laufe der Evolution beträchtlich in Bezug auf Zeit, Geografie, Jahreszeit und Ökosystem variierte; die „Paleo-Kost“ gibt es demnach auch nicht. Natürlich haben sich nach der Einführung des Feuers für die Lebensmittelzubereitung die Verdaulichkeit der Kost und damit auch die Verfügbarkeit der Aminosäuren markant verbessert und somit Wachstum und Entwicklung ebenfalls geprägt (Carmody RN, Weintraub GS, Wrangham RW. 2011, Groopman EE, Carmody RN, Wrangham RW. 2015).

Während eine geringe Proteinversorgung in vielen Ländern mit niedrigem Einkommen nach wie vor ein großes

Problem darstellt, liegt die tägliche Proteinzufuhr in Industrieländern inzwischen deutlich über der empfohlenen Menge. Zudem ist hier die Proteinqualität kein kritischer Faktor mehr, da die Verfügbarkeit von Nahrungsmitteln und ihre Vielfalt schier unbegrenzt ist und mit einem hohen Anteil an tierischen Produkten auch ein hoher Proteinversorgungsstatus einhergeht. Die Proteinzufuhr beträgt in Europa und Nordamerika bei Männern etwa 90 bis 100 g pro Tag und bei Frauen etwa 70 bis 75 g pro Tag (EU Science Hub 2021). Bei der Bereitstellung hochwertiger Proteine zur Aufrechterhaltung des Stickstoffgleichgewichts beim Menschen wurde die erforderliche Mindestproteinaufnahme auf 0,3 bis 0,5 g/kg Körpergewicht/Tag geschätzt, wobei ein mittlerer Bedarf von 0,66 g festgelegt wurde (Millward DJ. 2012) Mit dem Sicherheitszuschlag führt dies zur empfohlenen Zufuhrmenge von 0,8 oder 0,83 g/kg/Tag bei Erwachsenen und von 1,05 g/kg/Tag für Senioren (Leitlinie DGE). Die Gesamtproteinsynthese bei einem Erwachsenen beträgt etwa 300g pro Tag. Diese wird aus einem Aminosäurenpool gespeist, der sich aus dem kontinuierlichen Proteinabbau des Körpers und denen aus der Nahrung zugeführten Aminosäuren zusammensetzt. Wenn die Aminosäurezufuhr den Bedarf übersteigt, müssen Aminosäuren als Energiesubstrate unmittelbar oxidiert werden, was zur Freisetzung von Stickstoff und Schwefel führt, die als Schwefelsäure, Harnstoff und Ammoniak vor allem über die Niere in den Urin gelangen. Der aus der hohen Proteinzufuhr resultierende Stickstoffüberschuss, der ausgeschieden werden muss, stellt ein Umweltproblem dar. Eine Analyse des Stickstoffflusses aus dem Mehrkonsum an Nahrungspotein, der auch in den USA weit über die empfohlenen Aufnahmemengen hinausgeht, ergab dass rund 28% aller N-Emissionen, die in die Umwelt bzw. Oberflächenwasser gelangen, diesem Mehrkonsum zuzuschreiben sind (Almaraz M, Kuempel CD, Salter AM, Halpern BS 2022). Eigene Schätzungen ergaben für Deutschland rund 200.000

Tonnen Stickstoff pro Jahr, die aus diesem hohen Proteinverbrauch resultieren und über Kläranlagen entsorgt werden müssen. In letzter Zeit haben die Märkte sogar noch einen echten „Protein-Hype“ erlebt, bei dem viele Produkte mit einer zusätzlichen Portion Protein angereichert werden, wodurch die tägliche Gesamtproteinaufnahme nochmals über die erforderlichen und empfohlenen Mengen hinaus erhöht wird. Dies findet leider in allen Diskussionen über die Nachhaltigkeit der Ernährung jedoch keine Berücksichtigung.

Tierische Lebensmittel tragen wesentlich zur Gesamtaufnahme der Proteine bei. Nur rund 35 bis 40% der Proteinzufuhr resultiert in Deutschland aus pflanzlichen Lebensmitteln (FAO Statistical Yearbook 2022), die jedoch meist einen günstigeren Umwelt-Fußabdruck haben. Schon als öffentlicher Megatrend ist wahrnehmbar, dass nur eine pflanzliche Ernährung geeignet sei, die aus der Lebensmittelproduktion entspringenden klimawirksamen Emissionen (Greenhouse-gas-emissions: GHG) nennenswert zu reduzieren. Entsprechende Analysen belegen, dass eine vegane Kost tatsächlich rund 45% der GHG im Ernährungssystem einzusparen vermag (Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJ, Smith P, Haines A 2016). Eine vegetarische Ernährungsweise in unterschiedlicher Ausprägung (mit und ohne Convenience-Produkte) kann eine Reduktion der GHG um 30 bis 35% erreichen (Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJ, Smith P, Haines A 2016, Reynolds AN, Mhurchu CN, Kok ZY, Cleghorn C. 2022, Masino T, Colombo PE, Reis K, Tetens I, Parlesak A. 2023). Erhöht man den Anteil pflanzlicher Proteinquellen in der Kost im Ersatz zu den tierischen Produkten zur Reduktion der GHG auf über 75% der Gesamtzufuhr, läuft man Gefahr, eine unzureichende Versorgung mit Mikronährstoffen herbeizuführen (Fouillet H, Dussiot A, Perraud E et al. 2023). So sehen auch die neuen Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Ernährung (DGE) zur veganen Ernährung den Einsatz von Nahrungsergänzungsmitteln für „kritische Nährstoffe“

wie Vitamin B12, Vitamin D und ggf. Vitamin A, aber auch von Jod, langkettigen Omega-3-Fettsäuren, Calcium, Eisen, Zink und Selen vor. Auch in den Empfehlungen zur „Planetary Health Diet“ wird eingeräumt, dass ggf. Supplemente genommen werden müssen und Nährstoffdefizite – vor allem bei Frauen im reproduktiven Alter – nicht auszuschließen sind (Beal T, Ortenzi F, Fanzo J. (2023). Aus Analysen nach dem Delta-Modell geht hervor, dass 2050 vor allem Defizite bei Mikronährstoffen die primären Versorgungsprobleme der Weltbevölkerung darstellen werden (Smith NW, Fletcher AJ, Dave LA et al. 2021).

Im statistischen Mittel konsumieren Europäer im Jahr rund 16 kg pflanzliches Protein und 22 kg aus tierischen Quellen (EU Science Hub 2022). Wollte man diese 22 kg durch Protein aus pflanzlichen Quellen ersetzen, würden wir in Deutschland rund 1.800.000 Tonnen Protein benötigen. Diese wären durch Umwidmung der Agrarflächen aus dem Anbau von Energiepflanzen und einem Anbau von Leguminosen für die Humanernährung leicht bereitzustellen. Die bei einer Reduktion der Produktion tierischer Lebensmittel freigesetzten Flächen würden darüber hinaus im Anbau von Proteinpflanzen für die direkte Verwertung in der Humanernährung sogar ein weiteres Überangebot an Protein liefern. Eine kürzlich publizierte Studie des Forschungsinstituts für den Biologischen Landbau der Schweiz (FiBL) im Auftrag von Greenpeace (De Luca K, Müller A. FiBL 2024) kam zu dem Schluss, dass man in Deutschland, würde man Rinder ausschließlich mit Gras, Heu und Silage ernähren, noch immer rund 50% an Rindfleisch und Milch/Milchprodukten bereitstellen könnte und gleichzeitig rund 2,3 Millionen ha agrarische Fläche für den Anbau von Proteinpflanzen freisetze. Damit bestünde keine Nahrungskonkurrenz mehr, bei allen Vorteilen der Nutzung anderweitig nicht durch Menschen verwertbarer Biomasse seitens der Wiederkäuer und dem gleichzeitigen Erhalt ihrer Ökosystemleistungen

auf dem Grünland. Mit dem Vorschlag aus den freigesetzten Agrarflächen rund 950.000 ha wieder zu vernässen und damit als Moore in CO₂-Senken zu konvertieren, würde ein weiterer Mehrwert entstehen. Setzt man die Kapazität von Mooren zur CO₂-Bindung ein (Tanneberger F, Appulo L, Ewert S et al. 2021), berechnet sich daraus eine Menge an klimawirksamen Emissionen, die in den Boden eingebracht werden können, die den gesamten GHG aus dem Verzehr tierischer Lebensmittel in Deutschland per Capita entspricht. Gleichzeitig ließen sich aus den verbleibenden freigesetzten Agrarflächen beim Anbau von Leguminosen z. Bsp. noch immer rund 1,1 Millionen Tonnen zusätzliches Protein für die Humanernährung erzeugen. Natürlich gibt es noch mehr Argumente für eine Diversifikation des Angebotes an pflanzlichem Protein, ein Mengenproblem ist aber in Deutschland bzw. Europa nicht auszumachen. Das soll nicht heißen, dass man AltP aus neuen Quellen und neuen Produktionsverfahren nicht explorieren sollte. Sie sollen unbedingt die Chance haben, ihre Stärken gegenüber konventionellen Produkten zu demonstrieren.

Physiologie und Nachhaltigkeit

Nicht alle Gewinnungsverfahren und neuen Proteinquellen bringen alle essentiellen Nährstoffe für die Humanernährung mit (Parodi A, Leip A, De Boer IJM. 2018). Werden Lebensmittel aus diesen neuen Quellen hergestellt, vor allem als Ersatz für Fleisch- oder Milchprodukte – müssen bei den neu geschaffenen Produkten u.a. essentielle Nährstoffe wie Vitamine, Mineralstoffe und Spurenelemente sowie andere, die Textur, die Farbe und den Geschmack bestimmenden Stoffe zugesetzt werden. Damit fallen die neuen Erzeugnisse häufig in die Kategorie der sogenannten ultraverarbeiteten Lebensmittel (ultraprocessed food: UPF), für die sich eine zunehmende Stigmatisierung als „der Gesundheit abträglich“ durchsetzt (Flint, M, Bowles, S, Lynn, A, Paxman, JR 2023).

So sind rund 2/3 der europäischen Konsumenten schon überzeugt, das UPF maßgeblich an der Entwicklung von Übergewicht beteiligt sind und der Gesundheit im späteren Leben schaden (EIT Food 2024).

In den Plädoyers zur Steigerung des Anteils an pflanzlicher Kost bei Verzicht auf tierische Quellen wird selten adressiert, dass nicht nur die Versorgung mit Mikronährstoffen limitierend wird, sondern auch die Proteinqualität eine Neubewertung braucht.

Pflanzen produzieren viele Verbindungen, die der Abwehr- oder symbiotischen Wechselwirkungen in ihrem Ökosystem dienen; darunter Proteine und Glykoproteine die als Proteaseinhibitoren und Lectine fungieren. Eine Vielzahl von Metaboliten des Sekundärstoffwechsels gelangt ebenfalls in die Kost und diese verbleiben bei der Gewinnung der Proteinfractionen in der Zutat und gelangen so in die verarbeiteten Produkte. Im Rahmen einer pflanzlichen Ernährung kann die Aufnahme dieser Verbindungen die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Verdauung der Nahrung im oberen Dünndarm sowie die Bioverfügbarkeit von essentiellen Nährstoffen wie Mineralien und Spurenelementen (siehe oben) aber eben auch der Aminosäuren beeinflussen.

Aktuelle Studien belegen übereinstimmend deutliche Unterschiede in den postprandialen Aminosäurespiegeln, wenn Probanden Testmahlzeiten aus Pflanzenproteinen (meist Mixturen) oder Fleisch bzw. Milchprotein in jeweils identischer Proteinmenge verabreicht werden (Pham T, Knowles S, Bermingham E. 2022, Pinckaers, P.J.M., Kouw, I.W.K., Gorissen 2023). Die Unterschiede bleiben auch erhalten, wenn die Zufuhr der Proteinmengen auf die Leucingehalte standardisiert wurden (de Marco Castro E, Valli G, Buffière C. 2022). Unterschiede in den Blutspiegel-Verläufen wurden in allen Studien für alle essentiellen aber auch die nicht-essentiellen Aminosäuren beobachtet. Unterschiede in den Glukose- oder Insulinspiegeln oder im Sättigungseffekt wurden dagegen

nicht festgestellt. Studien an jungen gesunden Probanden, die pflanzliche Proteinmischungen im Vergleich zu Molkenprotein erhielten, zeigten ebenfalls geringere postprandiale Aminosäureprofile; eine verminderte de novo Proteinsynthese im Muskel ließ sich aber nicht nachweisen (Pinckaers, P.J.M., Kouw, I.W.K., Gorissen 2023). In einer aktuellen Studie wurde allerdings von derselben Arbeitsgruppe bei Senioren (65 bis 85 Jahre) beim Vergleich einer pflanzlichen Kost gegenüber einer Mahlzeit mit tierischem Anteil (mageres Hackfleisch) bei gleicher Proteinmenge (36g) neben den verminderten postprandialen Aminosäurekonzentrationen auch eine signifikant reduzierte postprandiale Proteinsynthese in der Muskulatur gemessen (Pinckaers PJ, Domić J, Petrick HL. 2024). Da Senioren meist ohnehin geringere Mengen an Nahrung aufnehmen und sie gleichzeitig ein erhöhtes Risiko für eine Sarkopenie tragen, erscheint hier die Empfehlung für ein Mehr an Pflanzenprotein in der Kost nicht angezeigt. Allerdings tragen die höheren Zufuhrempfehlungen für Protein bei Senioren mit rund 1 g/kg Körpergewicht und Tag dem bereits Rechnung. Auch eine Anreicherung der pflanzlichen Proteinmischungen mit limitierenden Aminosäuren bietet sich an (Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., Walrand, S. (2019) um eine bessere Proteinsyntheserate zu erreichen. ■

Referenzen

Almaraz M, Kuempel CD, Salter AM, Halpern BS. The impact of excessive protein consumption on human wastewater nitrogen loading of US waters. *Front Ecol Environ* 2022; 20(8): 452–458, doi:10.1002/fee.2531

Aleksandrowicz L, Green R, Joy EJ, Smith P, Haines A. The Impacts of Dietary Change on Greenhouse Gas Emissions, Land Use, Water Use, and Health: A Systematic Review. *PLoS One*. 2016 Nov 3;11(11):e0165797. doi: 10.1371/journal.pone.0165797. PMID: 27812156; PMCID: PMC5094759.

Beal T, Ortenzi F, Fanzo J. (2023) Estimated micronutrient shortfalls

of the EAT- Lancet planetary health diet. *Lancet Planet Health*. 7(3):e233–e237. doi: 10.1016/S2542-5196(23)00006-2. Erratum in: *Lancet Planet Health*. 2023 Jul;7(7):e546. PMID: 36889864.

Berrazaga I, Micard V, Gueugneau M, Walrand S. (2019). The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. *Nutrients*. 11(8):1825. doi: 10.3390/nu11081825. PMID: 31394788; PMCID: PMC6723444.

Carmody RN, Weintraub GS, Wrangham RW. (2011). Energetic consequences of thermal and nonthermal food processing. *Proc Natl Acad Sci USA*. 108(48):19199-203. doi: 10.1073/pnas.1112128108. PMID: 22065771; PMCID: PMC3228431.

De Luca K, Müller A. FIBL. Das Potential einer Grünlandbasierten Milchproduktion in Deutschland. 2024. <https://www.greenpeace.de/publikationen/Gruenlandstudie.pdf>

de Marco Castro E, Valli G, Buffière C, Guillet C, Mullen B, Pratt J, Horner K, Naumann-Gola S, Bader-Mittermaier S, Paganini M, De Vito G, Roche HM, Dardevet D; APPETITE Consortium. (2022). Peripheral Amino Acid Appearance Is Lower Following Plant Protein Fibre Products, Compared to Whey Protein and Fibre Ingestion, in Healthy Older Adults despite Optimised Amino Acid

EU Science Hub: Dietary Protein - Overview of protein intake in European countries. Dataset, EU, Science Hub, 2021.

EIT-Food 2024: Consumer-Perceptions-Unwrapped_Consumer-Observatory-Report 1.pdf (eitfood.eu)

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2023). The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI) . ISBN 978-92-5-137226-5

Flint M, Bowles S, Lynn A, Paxman JR. (2023). Novel plant-based meat alternatives: future opportunities and health considerations. *Proc Nutr Soc*. 82(3):370–385. doi: 10.1017/S0029665123000034. Epub 2023 Jan 6. PMID: 36603854.

Fouillet H, Dussiot A, Perraud E, Wang J, Huneau JF, Kesse-Guyot E, Mariotti F. Plant to animal protein ratio in the diet: nutrient ade-

- quacy, long-term health and environmental pressure. *Front Nutr.* 2023 Jun 15;10:1178121. doi: 10.3389/fnut.2023.1178121. Erratum in: *Front Nutr.* 2023 Sep 01;10:1281700. doi: 10.3389/fnut.2023.1281700. PMID: 37396122; PMCID: PMC10311446.
- Garrison GL, Biermacher JT, Brorsen BW. How much will large-scale production of cell-cultured meat cost? *Journal of Agriculture and Food Research* 2022; 100358, ISSN 2666-1543, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100358> .
- Grasgruber P, Hrazdíra E. (2020). Nutritional and socio-economic predictors of adult height in 152 world populations. *Econ Hum Biol.* 37:100848. doi: 10.1016/j.ehb.2020.100848. PMID: 32247188.
- Groopman EE, Carmody RN, Wrangham RW. (2015). Cooking increases net energy gain from a lipid-rich food. *Am J Phys Anthropol.* 156(1):11-8. doi: 10.1002/ajpa.22622. PMID: 25293786; PMCID: PMC4272645.
- Hann EC, Overa S, Harland-Dunaway M, Narvaez AF, Le DN, Orozco-Cárdenas ML, Jiao F, Jinkerson RE. A hybrid inorganic-biological artificial photosynthesis system for energy-efficient food production. *Nat Food.* 2022 Jun;3(6):461-471. doi: 10.1038/s43016-022-00530-x. Epub 2022 Jun 23. PMID: 37118051.
- Lee-Thorp, J, Sponheimer M. (2006). Contributions of Biogeochemistry to Understanding Hominin Dietary Ecology. *Yearbook of Physical Anthropology* 49:131–148.
- Leger D, Matassa S, Noor E, Shepon A, Milo R, Bar-Even A. Photovoltaic-driven microbial protein production can use land and sunlight more efficiently than conventional crops. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2021 Jun 29;118(26):e2015025118. doi: 10.1073/pnas.2015025118. PMID: 34155098; PMCID: PMC8255800.
- Leitlinie DGE: <https://www.dge.de/wissenschaft/dge-leitlinien/leitlinie-protein/#:~:text=Der%20aktuelle%20Referenzwert%20f%C3%BCr%20die,g%2Fkg%20K%C3%B6rpergewicht%2Ftag>.
- Masino T, Colombo PE, Reis K, Tetens I, Parlesak A. Climate-friendly, health-promoting, and culturally acceptable diets for German adult omnivores, pescatarians, vegetarians, and vegans - a linear programming approach. *Nutrition.* 2023
- Millward DJ. Identifying recommended dietary allowances for protein and amino acids: a critique of the 2007 WHO/FAO/UNU report. *Br J Nutr.* 2012 Aug;108 Suppl 2:S3-21. doi: 10.1017/S0007114512002450. PMID: 23107542. , pp. S3 - S21
- Nyysölä A, Ojala LS, Wuokko M, Peddinti G, Tamminen A, Tsitko I, Nordlund E, Lienemann M. (2021). Production of Endotoxin-Free Microbial Biomass for Food Applications by Gas Fermentation of Gram-Positive H₂-Oxidizing Bacteria. *ACS Food Science & Technology* 1 (3), 470-479. DOI: 10.1021/acfoodscitech.0c00129
- Pham T, Knowles S, Birmingham E, Brown J, Hannaford R, Cameron-Smith D, Braakhuis A. (2022). Plasma Amino Acid Appearance and Status of Appetite Following a Single Meal of Red Meat or a Plant-Based Meat Analog: A Randomized Crossover Clinical Trial. *Curr Dev Nutr.* 6(5):nzac082. doi: 10.1093/cdn/nzac082. PMID: 35669048; PMCID: PMC9154224.
- Pieper M, Michalke A, Gaugler T. Calculation of external climate costs for food highlights inadequate pricing of animal products. *Nat Commun.* 2020 Dec 15;11(1):6117. doi: 10.1038/s41467-020-19474-6. Erratum in: *Nat Commun.* 2021 Mar 31;12(1):2109. doi: 10.1038/s41467-021-22237-6. PMID: 33323933; PMCID: PMC7738510.
- Pinckaers PJ, Domić J, Petrick HL, Holwerda AM, Trommelen J, Hendriks FK, Houben LH, Goessens JP, van Kranenburg JM, Senden JM, de Groot LC, Verdijk LB, Snijders T, van Loon LJ. Higher Muscle Protein Synthesis Rates Following Ingestion of an Omnivorous Meal Compared with an Isocaloric and Isonitrogenous Vegan Meal in Healthy, Older Adults. *J Nutr.* 2024 Jul;154(7):2120-2132. doi: 10.1016/j.tjnut.2023.11.004. Epub 2023 Nov 15. PMID: 37972895.
- Pinckaers PJM, Kouw IWK, Gorissen SHM, Houben LHP, Senden JM, Wodzig WKHW, de Groot LCPGM, Verdijk LB, Snijders T, van Loon LJC. (2023). The Muscle Protein Synthetic Response to the Ingestion of a Plant-Derived Protein Blend Does Not Differ from an Equivalent Amount of Milk Protein in Healthy Young Males. *J Nutr.* 152(12):2734-2743. doi: 10.1093/jn/nxac222. PMID: 36170964; PMCID: PMC9839989.

Pontzer, H, Wood, BM (2021). Effects of Evolution, Ecology, and Economy on Human Diet: Insights from Hunter-Gatherers and Other Small-Scale Societies. *Annu Rev Nutr.* 41:363-385. doi: 10.1146/annurev-nutr-111120-105520. PMID: 34138633.

Reynolds AN, Mhurchu CN, Kok ZY, Cleghorn C. The neglected potential of red and processed meat replacement with alternative protein sources: Simulation modelling and systematic review. *EClinicalMedicine.* 2022 Dec 14;56:101774. doi: 10.1016/j.eclinm.2022.101774. PMID: 36567793;

Sinke P, Swartz E, Sanctorem H, van der Giesen C, Odegard I. Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. *Int J Life Cycle Assess* 28, 234–254 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02128-8>

Smith NW, Fletcher AJ, Dave LA, Hill JP, McNabb WC. Use of the DELTA Model to Understand the Food System and Global Nutrition. (2021). *J Nutr.* 151(10):3253- 3261. doi: 10.1093/jn/nxab199. PMID: 34195827; PMCID: PMC8485910.

Tanneberger F, Appulo L, Ewert S, Lakner S, Ó Brolcháin N, Peters J, Wichtmann

W. The Power of Nature-Based Solutions: How Peatlands Can Help Us to Achieve Key EU Sustainability Objectives. *Adv. Sustainable Syst.* 2021, 5, 2000146. <https://doi.org/10.1002/adsu.202000146>

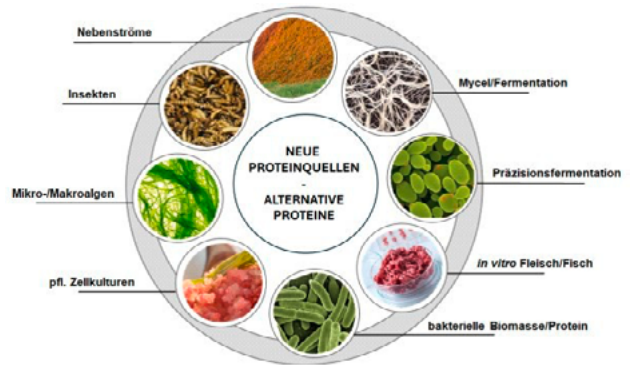


Abbildung: Zusammenstellung der unter dem Begriff „ALTERNATIVE PROTEINE“ verstandenen Produktionsverfahren für Biomasse und zu gewinnender Proteine. Fast alle Produkte aus diesen Verfahren unterliegen in Europa einer Zulassung nach der sog. Novel Food Verordnung 2015/2283, die eine umfangreiche Prüfung der Unbedenklichkeit für den Verzehr durch den Menschen beinhaltet.

Nutztierhaltung gegen den globalen Hunger

MARTIN C. PARLASCA

Einleitung

Trotz beträchtlicher Fortschritte in der Agrarwissenschaft und Lebensmittelproduktion bleibt Hunger eine der größten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Hunger ist ein komplexes, vielschichtiges Problem, das in verschiedenen Formen auftreten kann. Die zwei bekanntesten Formen sind Unterernährung und Mikronährstoffmangel, oft auch als „versteckter Hunger“ bezeichnet. Diese beiden Formen haben unterschiedliche Ursachen, Auswirkungen und Lösungsansätze, die im Folgenden detaillierter untersucht werden.

Unterernährung

Die bekannteste und am leichtesten sichtbare Form des Hungers ist die Unterernährung. Unterernährung tritt auf, wenn Menschen nicht ausreichend Energie zu sich nehmen, um ein aktives und gesundes Leben zu führen. Laut aktuellen Schätzungen sind weltweit etwa 750 Millionen Menschen unterernährt, wobei der Großteil davon in Asien und Afrika lebt. Besonders betroffen sind die Regionen Ost- und Zentralafrika (FAO, 2023).

Der Kampf gegen die Unterernährung war über viele Jahrzehnte hinweg eine Erfolgsgeschichte. In der zweiten Hälfte

des 20. Jahrhunderts wurden bedeutende Fortschritte erzielt, insbesondere in Asien. Um das Jahr 2010 lag der Anteil der unterernährten Weltbevölkerung bei etwa 8%, ein erheblicher Rückgang im Vergleich zu den etwa 20% im Jahr 1990 (Ritchie et al., 2023). Diese Reduktion ist auf verschiedene Faktoren zurückzuführen, darunter Verbesserungen in der Landwirtschaft, erhöhte Nahrungsmittelproduktion und gezielte Ernährungsprogramme.

Ab 2010 stagnierten diese Fortschritte jedoch und die Zahl der unterernährten Menschen ist in den letzten Jahren sogar wieder angestiegen. Während aktuelle Ereignisse wie der Krieg in der Ukraine und die COVID-19-Pandemie eine Rolle bei diesem Anstieg spielen, begann der Trend der Stagnation und des leichten Anstiegs bereits vor 2020 (FAO, 2023). Dies deutet darauf hin, dass die Ursachen tiefer liegen und strukturelle und systemische Probleme wie den Klimawandel, Einkommensungleichheiten, oder Konflikte umfassen.

Mikronährstoffmangel (Versteckter Hunger)

Eine ausreichende Kalorienzufuhr allein reicht jedoch nicht aus, um eine gesunde Ernährung sicherzustellen. Der Mangel an essenziellen Mikronährstoffen kann ebenfalls gravieren-

de gesundheitliche Auswirkungen haben. Diese sind oft nicht sofort sichtbar, weshalb diese Mängel auch oft „verstecktem Hunger“ genannt werden. Mikronährstoffmängel sind weit verbreitet und betreffen insbesondere vulnerable Gruppen wie schwangere Frauen und Kinder. Diese Mängel können zu erheblichen gesundheitlichen Problemen führen, darunter schlechte körperliche und geistige Entwicklung bei Kindern, erhöhte Krankheitsanfälligkeit, geistige Behinderungen und Blindheit (Adesogan et al., 2020).

Besonders besorgniserregend ist, dass weltweit über die Hälfte der Kinder unter fünf Jahren an einem Mangel an mindestens einem wichtigen Mikronährstoff (Eisen, Zink oder Vitamin A) leidet (Stevens et al., 2020). Wachstumsverzögerungen bei Kindern, die durch Mikronährstoffmängel verursacht werden, führen zu erheblichen langfristigen wirtschaftlichen Kosten. Studien schätzen, dass das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf in betroffenen Regionen wie Subsahara-Afrika und Südasien um 9–10% reduziert wird (Galasso et al. 2016). Darüber hinaus sind über zwei Drittel der nicht schwangeren Frauen im gebärfähigen Alter von einem Mangel an mindestens einem der Mikronährstoffe Eisen, Zink oder Folsäure betroffen (Stevens et al., 2020).

Vergleich der Auswirkungen und Fortschritte

Die Konsequenzen der verschiedenen Formen des Hungers sind nicht leicht zu vergleichen, da sie unterschiedliche Aspekte der menschlichen Gesundheit und Entwicklung betreffen. Unterernährung, obwohl weniger weit verbreitet, hat sehr akute und drastische Auswirkungen auf die Gesundheit, einschließlich erhöhter Sterblichkeitsraten und schwerwiegender Gesundheitsprobleme. Im Gegensatz dazu ist versteckter Hunger weiter verbreitet, aber die gesundheitlichen Folgen treten schleicher auf und sind oft weniger sichtbar.

Disability Adjusted Life Years (DALYs) sind ein Maß für die Quantifizierung von Krankheitsbelastung, welche sich Ver-

gleiche zwischen verschiedenen Formen des Hungers zumindest andeuten kann. Im Jahr 1990 war die globale „Belastung durch Hunger“ (Burden of Hunger) durch Unterernährung etwa doppelt so hoch wie die durch Mikronährstoffmängel (200 Millionen (DALYs) gegenüber 100 Millionen DALYs). Jedoch haben die Fortschritte bei der Bekämpfung von Mikronährstoffmängeln deutlich langsamer stattgefunden (Gödecke et al. 2020). Infolgedessen haben sich die Belastungen durch beide Formen des Hungers angenähert, und man kann vermuten, dass die Belastung durch Mikronährstoffmängel mittlerweile sogar wahrscheinlich größer ist.

Rolle tierischer Produkte bei der Bekämpfung von Mikro- und Makronährstoffmängeln

Tierische Produkte können eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung von Hunger und Mangelernährung spielen, insbesondere in Bezug auf die Versorgung mit Mikro- und Makronährstoffen. Diese Rolle lässt sich in drei Hauptaspekte unterteilen: Bezahlbarkeit gesunder Ernährung, Zugang zu gesunden Lebensmitteln über das Jahr hinweg und die Resilienz der Ernährung gegenüber Mikronährstoffmängeln.

Finanzielle Hürde machen einen erheblichen Anteil an Unter- und Mangelernährung aus. In einer kürzlich durchgeführte Studie wurden die Kosten der günstigsten Ernährungsweisen berechnet, die entweder ausreichende Kalorien, ausreichende Mikronährstoffe oder eine gesunde Ernährung nach regionsspezifischen Ernährungsempfehlungen bieten (Herforth et al. 2020). Die Ergebnisse zeigen, dass eine kalorisch ausreichende Ernährung im Durchschnitt 0,79 Dollar pro Tag kostet, wobei die Preise zwischen 0,54 und 1,06 Dollar je nach Region variieren. Eine nährstoffadäquate Ernährung kostet im Durchschnitt 2,33 Dollar pro Tag, mit regionalen Unterschieden zwischen 2,07 und 2,83 Dollar. Eine gesunde Ernährung ist noch teurer und liegt im Durchschnitt bei 3,75 Dollar pro Tag, variierend zwischen 3,07 und 4 Dollar je nach Region.

Gesunde Ernährungsweisen sind für viele Menschen unerschwinglich. Weltweit können sich etwa 190 Millionen Menschen keine kalorisch ausreichende Ernährung leisten. 1,5 Milliarden Menschen können sich keine nährstoffadäquate Ernährung leisten und etwa 3 Milliarden Menschen können sich keine gesunde Ernährung leisten (Herforth et al. 2020).

Für Ernährungsweisen, die lediglich auf ausreichende Kalorien abzielen, spielen tierische Produkte kaum eine Rolle, da stärkehaltige Grundnahrungsmittel und Öle kostengünstigere Optionen darstellen. Bei nährstoffadäquaten und bei gesunden Ernährungsweisen sind tierische Produkte, insbesondere Milch, von größerer Bedeutung. Tierische Produkte sind daher besonders nützlich bei der Bekämpfung von Mikronährstoffmängeln, weniger jedoch bei der Reduktion von Unterernährung.

Im globalen Süden spielt die Saisonalität von Lebensmitteln eine große Rolle, da der Konsum stärker an die lokale Produktion gekoppelt ist und weniger Lagerungsmöglichkeiten bestehen als in vielen Ländern des globalen Nordens. Obst und Gemüse unterliegen oft starken saisonalen Preisschwankungen bedingt durch Erntezyklen, klimatische Bedingungen und regionale Produktionskapazitäten. Beispielsweise kann der Zugang zu frischem Gemüse und Obst während der Trocken- oder Regenzeiten stark eingeschränkt sein, was zu erheblichen Engpässen bei der Versorgung mit wichtigen Nährstoffen führt.

Tierische Produkte sind weniger von saisonalen Schwankungen betroffen, da Viehhaltung und Tierprodukte wie Milch, Eier und Fleisch eine stabilere Produktionsbasis bieten (Bai et al. 2020). Milchvieh beispielsweise produziert das ganze Jahr über Milch und ist weniger abhängig von saisonalen Veränderungen. Dies macht tierische Produkte zu einer konstanteren Nährstoffquelle, die dazu beiträgt, Ernährungsengpässe in Zeiten saisonaler Knappheit auszugleichen. Besonders in ländlichen Gebieten, wo die Lagerung

und der Transport von frischem Obst und Gemüse problematisch sein können, bieten tierische Produkte eine verlässliche Alternative zur Deckung des Nährstoffbedarfs.

Auch unzureichendes Wissen darüber, welche Mikro- und Makronährstoffe benötigt werden, kann zu unausgewogenen Ernährungsgewohnheiten und Mangelernährung führen. In solchen Fällen kann der Konsum von Lebensmitteln mit einer hohen Nährstoffdichte helfen, Mikronährstoffmängel vorzubeugen. Tierische Produkte sind oft reich an verschiedenen essenziellen Nährstoffen und bieten eine hohe Nährstoffdichte (Beal & Ortenzi, 2022).

Zum Beispiel enthalten tierische Produkte wie Rindfleisch, Käse und Innereien hohe Konzentrationen an Eisen, Zink, Vitamin B12 und anderen wichtigen Mikronährstoffen, die für die menschliche Gesundheit unerlässlich sind. Der regelmäßige Konsum dieser Lebensmittel kann daher eine wichtige Strategie zur Vorbeugung von Mangelernährung sein, insbesondere in Bevölkerungsgruppen mit begrenztem Zugang zu einer breiten Vielfalt an Nahrungsmitteln und besonderen Mikronährstoffanforderungen (z.B. Kinder, schwangere oder stillende Frauen, ältere Menschen). Dunkles Blattgemüse, Nüsse und Samen sind pflanzliche Optionen die ebenfalls sehr nährstoffreich sind (Beal & Ortenzi, 2022).

Neben diesen eher theoretischen Verbindungen, gibt es in der wissenschaftlichen Literatur auch zahlreiche Hinweise darauf, dass der Konsum tierischer Produkte mit positiven Auswirkungen auf die Ernährung verbunden ist. Insbesondere in ärmeren Regionen der Welt sind tierische Produkte oft die einzige zugängliche Quelle essentieller Nährstoffe. Ein Beispiel hierfür ist eine randomisierte kontrollierte Studie aus Ecuador, die zeigt, dass schon ein Ei pro Tag über den Zeitraum von einem Jahr bei Kinder im Alter von 6-9 Monaten Wachstumsverzögerungen und Untergewicht um 47 bzw. 74 % reduzieren kann (Iannotti et al., 2017).

Darüber hinaus findet eine Analyse von 130.432 Kindern im Alter von 1–2 Jahren aus 49 Ländern robuste negative Zusammenhänge zwischen Wachstumsverzögerung und dem Konsum von tierischen Produkten. Die Analyse zeigt, dass der Konsum von Milchprodukten, Fleisch/Fisch und Eiern Ernährung verbessern kann. Gerade die Kombination mehrerer tierischer Lebensmittel hat sich also besonders vielversprechend herausgestellt (Headey et al. 2018). Eine Studie mit 50 689 Kindern und Jugendlichen zeigt, dass Vielfalt des Nutztviehs auf landwirtschaftlichen Betrieben positive Assoziationen mit Längenwachstum von Kindern haben (Khonje et al. 2022).

Weitere Forschung hebt die Bedeutung von Fleisch und Milch für das Wachstum von Kindern hervor (Neumann et al., 2007; De Beer, 2012). Eine kürzlich durchgeführte Meta-Analyse von 62 Studien mit 30.000 Teilnehmern aus 61 Ländern zeigt, dass die Ergänzung der Ernährung von schwangeren Müttern, Säuglingen oder Kindern mit tierischen Produkten das Geburtsgewicht und Wachstum der Kinder verbessert (Pimpin et al., 2019).

Eine Studie mit kenianischen Schulkindern zeigt, dass die Ergänzung der Grundnahrung mit kleinen Mengen Fleisch oder Milch zu deutlich besseren Testergebnissen führen kann. Frühere Studien derselben Forschungsgruppe zeigen auch, dass die Fleischergänzung mit verbesserten kognitiven Fähigkeiten, Führungsverhalten, körperlicher Aktivität und Initiative verbunden ist (Hulett et al., 2014). Die Ergänzung der Nahrung durch Fisch während der Schwangerschaft kann mit einer besseren kognitiven Entwicklung der Säuglinge in Verbindung gebracht werden (Daniels et al., 2004). Eine aktuelle Übersicht von acht Interventions- und zehn Beobachtungsstudien mit Daten von 61.066 Erwachsenen und 26.299 Kindern aus elf Ländern zeigt, dass die Ergänzung der Ernährung mit tierischen Produkten oder eine darauf basierende Ernährung die kognitiven Funktionen, die Intelligenz

und verbale Fähigkeiten um mindestens das Doppelte steigert (Balehegn et al., 2019). Möglicherweise ist ein erhöhter Konsum tierischer Produkte effektiver bei der Reduktion von Wachstumsverzögerungen als die Supplementierung einzelner Nährstoffe, die oft durch unregelmäßige und nicht nachhaltige Verfügbarkeit in abgelegenen Gebieten der einkommensschwachen Länder erschwert wird (Adesogan et al., 2020).

Fazit

Die globale Herausforderung des Hungers bleibt trotz beachtlicher Fortschritte in der Agrarwissenschaft und Lebensmittelproduktion bestehen. Die Bekämpfung von Unterernährung und Mikronährstoffmangel erfordert differenzierte Ansätze, da beide Formen des Hungers unterschiedliche Ursachen und Auswirkungen haben. Während Unterernährung in den letzten Jahrzehnten bedeutende Fortschritte verzeichnete, stagnieren diese Fortschritte seit 2010, was auf tiefere strukturelle Probleme hinweist. Mikronährstoffmängel, oft als „versteckter Hunger“ bezeichnet, sind weit verbreitet und haben schwerwiegende gesundheitliche und wirtschaftliche Konsequenzen, insbesondere für Kinder und Frauen im gebärfähigen Alter.

Tierische Produkte spielen eine wesentliche Rolle bei der Bekämpfung beider Formen von Mangelernährung. Sie sind nicht nur eine konstante Nährstoffquelle, die saisonale Engpässe ausgleichen kann, sondern bieten auch eine hohe Nährstoffdichte, die zur Vorbeugung von Mikronährstoffmängeln beiträgt. Studien zeigen, dass der Konsum tierischer Produkte positive Auswirkungen auf das Wachstum und die kognitive Entwicklung von Kindern hat. Die Erreichbarkeit und der Zugang zu diesen Produkten bleiben jedoch eine Herausforderung, insbesondere in einkommensschwachen Ländern.

Um die globalen Ziele der zur Reduktion von Unterernährung und Mangelernährung zu erreichen, ist es entscheidend, die Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit nährstoffreicher tierischer Produkte zu verbessern. Die Bekämpfung des globalen Hungers erfordert somit eine multifaktorielle Strategie, die sowohl kurzfristige als auch langfristige Maßnahmen zur Sicherstellung einer ausreichenden und gesunden Ernährung für alle Menschen umfasst. ■

Literatur

- Adesogan, A. T., Havelaar, A. H., McKune, S. L., Eilittä, M., & Dahl, G. E. (2020). Animal source foods: sustainability problem or malnutrition and sustainability solution? Perspective matters. *Global Food Security*, 25, 100325.
- Bai, Y., Naumova, E. N., & Masters, W. A. (2020). Seasonality of diet costs reveals food system performance in East Africa. *Science advances*, 6(49), eabc2162.
- Balehegn, M., Mekuriaw, Z., Miller, L., Mckune, S., & Adesogan, A. T. (2019). Animal-sourced foods for improved cognitive development. *Animal Frontiers*, 9(4), 50–57.
- Beal, T., & Ortenzi, F. (2022). Priority micronutrient density in foods. *Frontiers in nutrition*, 9, 379.
- Daniels, J. L., Longnecker, M. P., Rowland, A. S., Golding, J., & AL-SPAC Study Team. (2004). Fish intake during pregnancy and early cognitive development of offspring. *Epidemiology*, 15(4), 394–402.
- De Beer, H. (2012). Dairy products and physical stature: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Economics & Human Biology*, 10(3), 299–309.
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. (2023). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum*. Rome, FAO.
- Galasso, E., Wagstaff, A., Naudeau, S., & Shekar, M. (2016). *The economic costs of stunting and how to reduce them*. Policy Research Note World Bank, Washington, DC.
- Gödecke, T., Stein, A. J., & Qaim, M. (2018). The global burden of chronic and hidden hunger: trends and determinants. *Global food security*, 17, 21–29.
- Headey, D., Hirvonen, K., & Hoddinott, J. (2018). Animal sourced foods and child stunting. *American Journal of Agricultural Economics*, 100, 1302–1319.
- Herforth, A., Bai, Y., Venkat, A., Mahrt, K., Ebel, A., & Masters, W. A. (2020). *Cost and affordability of healthy diets across and within countries: Background paper for The State of Food Security and Nutrition in the World 2020*. FAO Agricultural Development Economics Technical Study No. 9 (Vol. 9). Food & Agriculture Org.
- Hulett, J. L., Weiss, R. E., Bwibo, N. O., Galal, O. M., Drorbaugh, N., & Neumann, C. G. (2014). Animal source foods have a positive impact on the primary school test scores of Kenyan schoolchildren in a cluster-randomised, controlled feeding intervention trial. *British Journal of Nutrition*, 111(5), 875–886.
- Iannotti, L. L., Lutter, C. K., Stewart, C. P., Gallegos Riofrío, C. A., Malo, C., Reinhart, G., ... & Waters, W. F. (2017). Eggs in early complementary feeding and child growth: a randomized controlled trial. *Pediatrics*, 140(1).
- Khonje, M. G., Ricker-Gilbert, J., Muyanga, M., & Qaim, M. (2022). Farm-level production diversity and child and adolescent nutrition in rural sub-Saharan Africa: a multicountry, longitudinal study. *The Lancet Planetary Health*, 6(5), e391–e399.
- Neumann, C. G., Murphy, S. P., Gewa, C., Grillenberger, M., & Bwibo, N. O. (2007). Meat Supplementation Improves Growth, Cognitive, and Behavioral Outcomes in Kenyan Children. *The Journal of Nutrition*, 137(4), 1119–1123.
- Pimpin, L., Kranz, S., Liu, E., Shulkin, M., Karageorgou, D., Miller, V., ... & Mozaffarian, D. (2019). Effects of animal protein supplementation of mothers, preterm infants, and term infants on growth outcomes in childhood: a systematic review and meta-analysis of randomized trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 110(2), 410–429.

- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2023.) Hunger and Undernourishment. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: <https://ourworldindata.org/hunger-and-undernourishment> [Online Resource]
- Stevens, G. A., Paciorek, C. J., Flores-Urrutia, M. C., Borghi, E., Namaste, S., Wirth, J. P., ... & Rogers, L. M. (2022). National, regional, and global estimates of anaemia by severity in women and children for 2000–19: a pooled analysis of population-representative data. *The Lancet Global Health*, 10(5), e627–e639.
- World Health Organization. (2015). World Health Assembly Global Nutrition Targets 2025. Stunting Policy Brief. World Health Organization: Geneva, Switzerland.

Die Klimawirksamkeit landwirtschaftlicher Nutztiere

SVEN DÄNICKE

Institut für Tierernährung, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)

Einleitung

Die Klimawirksamkeit landwirtschaftlicher Nutztiere ergibt sich im Wesentlichen aus den Emissionen in Form von Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O), die durch ihr Treibhausgaspotenzial (TGP) zur Erderwärmung beitragen. Für das Jahr 2021 bezifferte sich die Methanemission, ausgedrückt in CO_2 -Äquivalenten ($\text{CO}_{2\text{eq}}$), durch landwirtschaftliche Nutztiere in Deutschland auf etwa 75% der Summe beider Hauptemissionsquellen (FAO 2021). Dabei ist die Rinderhaltung mit etwa 79% Hauptemittent von Methan und Lachgas, wobei wiederum etwa 78% auf die Methanemission entfallen. Schließlich stellt hierbei die enterische Fermentation mit etwa 85–90% die wesentlichste Quelle der Methanemissionen dar. Aus diesen Zahlenverhältnissen lässt sich ableiten, dass in der Fütterung, Haltung und Zucht der Rinder das größte Potenzial zur Minderung der Methanemissionen und damit der Klimawirksamkeit landwirtschaftlicher Nutztiere zu suchen ist.

Zur Bewertung der Effizienz von Minderungsmaßnahmen können die Methanproduktion ($\text{g CH}_4/\text{Tag}$), die Methan-Emissionsintensität ($\text{g CH}_4/\text{kg}$ fettkorrigierte Milch) sowie

der Methanertrag ($\text{g CH}_4/\text{kg}$ Trockenmasse-Aufnahme) herangezogen werden. Während die absolute Methanproduktion einen direkten Bezug zur Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre und damit zur Erderwärmung aufweist, so implizieren Methan-Emissionsintensität und Methanertrag nährstoffökonomische Betrachtungen bei Akzeptanz der Nutzung von Rindern für die menschliche Ernährung.

Maßnahmen zur Reduktion der enterischen Methanemission Fütterungsmaßnahmen

Unter den Fütterungsmaßnahmen werden beispielsweise eine verbesserte Nährstoffeffizienz, ein bedarfsgerechter Einsatz von Konzentratfuttermitteln, eine verbesserte Grundfutterqualität, sowie verschiedene spezifische Futtermittel (z.B. Futterfette, Algen), sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe (z.B. Tannine, Saponine), Nitrat und 3-Nitrooxypropanol mit CH_4 -Emissionsminderungspotenzial diskutiert (GfE 2023). Hier sollen nur ausgewählte Maßnahmen kurz angesprochen werden.

Physiologisch gesehen stellt das über den Ruktus abgegebene Methan die chemische Form dar, in der Wasserstoff aus

dem Reaktionsgemisch der Nährstofffermentation in den Vormägen entfernt wird. Um die Methanbildung in den Vormägen zu reduzieren und gleichzeitig die physiologischen Vorgänge nicht zu beeinträchtigen, kann beispielsweise über geeignete Fütterungsmaßnahmen das Fermentationsmuster so beeinflusst werden, dass anteilig mehr Propionat gebildet wird (Abbildung 1). Bei der Propionatbildung wird mehr Wasserstoff gebunden als bei der Azetatbildung, wodurch weniger Wasserstoff als Methan eliminiert werden muss. Krafftutterreichere Rationen verschieben das Fermentationsmuster zum Propionat, so dass hierbei weniger Methan entsteht (Abbildung 1). Allerdings muss sich der Krafftuttereinsatz immer am Bedarf an Energie und Nährstoffen der Tiere orientieren und kann daher nicht als Methan-Minderungsmaßnahme angesehen werden. Da der Energiebedarf einer Laktationsdynamik unterliegt, wird auch demzufolge der Einsatz von Krafftutter und folglich auch der NDF-Anteil der Ration im Verlauf der Laktation variieren. Somit variiert auch die Methanemission der Milchkuh im Verlauf der Laktation (Abbildung 2).

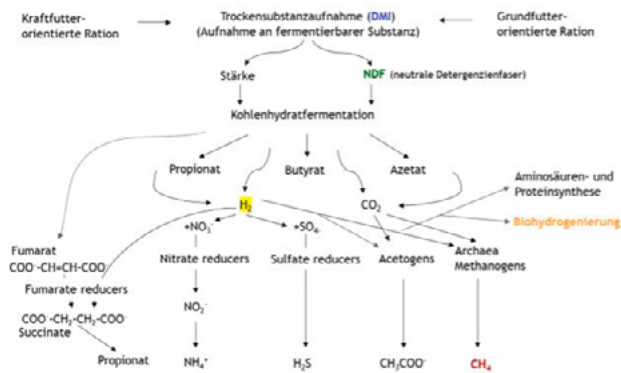


Abbildung 1. Vereinfachtes Schema zu wichtigen Einflüssen auf die ruminale Methanbildung bei Kühen (nach Knapp et al. (2014) und Morgavi et al. (2010), erweitert): Aus quantita-

tiver Sicht (siehe Schätzgleichung nach Niu et al. (2018): $CH_4 [g/d] = 76.0 + 13.5 \cdot DMI [kg/d] - 9.55 \cdot EE [\%DM] + 2.24 \cdot NDF [\%DM]$) kommt der Höhe der DMI die entscheidende Bedeutung zu, da sie die Menge der Fermentationsprodukte bestimmt, wozu auch das Methan gehört. Wie die Methanbildung so entfernt auch die Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren Wasserstoff aus dem Fermentationsgemisch, so dass höhere Rohfettgehalte (EE) in der Ration im Rahmen ernährungsphysiologischer Grenzen die Methanemission senken. Steigende Anteile an pflanzlichen Zellwänden, ausgedrückt als chemisch bestimmbare neutrale Detergenzienfaser (NDF), erhöhen die Methanausscheidung, da weniger Propionat, dessen Bildung mehr Wasserstoff entfernt als die von Azetat, gebildet wird.

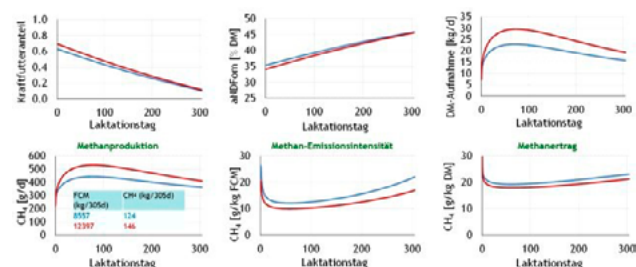


Abbildung 2. Die Dynamik der Methanproduktion im Verlauf der Laktation wird hauptsächlich durch die der Trockenmasse (DM)-Aufnahme bestimmt. Da eine höhere Milchleistung mit einer höheren DM-Aufnahme einhergeht, wird eine höherleistende Kuh - absolut gesehen - mehr Methan emittieren als eine Kuh mit geringerer Milchleistung. Moduliert wird die Methanemission dabei durch die von der Milchleistung abhängigen Konzentratfütter- und NDF-Anteile in der Ration. Bezogen auf das für die menschliche Ernährung produzierte Produkt (Milch) sowie auf den dafür notwendigen Einsatz von Ressourcen (DM-Aufnahme) ist die höherleistende Kuh jedoch effizienter zu bewerten.

Verbesserte Grundfutterqualitäten, die eine Erhöhung der Energiekonzentration beinhalten, sparen Kraftfutter bei vergleichbaren ruminalen Fermentationsmustern und können daher auch zu einer Reduktion der Methanausscheidung führen. Weitere positive Effekte können u.a. eine Stimulation der Futterraufnahme beinhalten, was sich insbesondere in der Phase der negativen Energiebilanz zu Beginn der Laktation positiv auf die Tiergesundheit und die Milchleistung auswirken kann. Diese stimulierte Futterraufnahme steigert gleichzeitig die absolute Methanproduktion, führt dann aber durch die parallel gesteigerte Milchleistung zu einer verringerten Methan-Emissionsintensität. Da die Höhe der Futterraufnahme die treibende Kraft der Methanemission von Rindern darstellt, ist bei züchterischen Maßnahmen zu berücksichtigen, dass die Futterraufnahme nicht nachteilig beeinflusst wird.

Darüber hinaus führen verbesserte Grundfutterqualitäten bei gleichzeitiger Verringerung des Konzentratanteils zu einer Entschärfung der Nahrungsmittelkonkurrenz zum Menschen. Den Prinzipien der Bioökonomie folgend sollten Konzentratfuttermittel überwiegend für den Menschen nicht verzehrbare Nebenprodukte der Lebensmittelindustrie enthalten.

Die Biohydrogenierung ungesättigter Fettsäuren verbraucht Wasserstoff, so dass weniger Methan gebildet wird. Um einen messbaren Methanminderungseffekt zu erzielen, braucht es einen Mindestfettgehalt von 3% in der Futter-DM, wobei die ernährungsphysiologische Grenze bei 7% erreicht ist (GfE 2023).

Über den Zusatz von Nitrat zum Futter kann ebenfalls ruminal gebildeter Wasserstoff eliminiert werden, der dann nicht mehr für die Methanbildung zur Verfügung steht. Hier konnten lineare Beziehungen zwischen der Nitratzulage zum Futter und der Reduktion der Methanausscheidung gezeigt werden (Lee and Beauchemin 2014). Allerdings ist hierbei

die Gefahr einer möglichen Nitrat-/Nitritvergiftung zu beachten. Die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) geht davon aus, dass es bereits ab einer Nitratdosis von 64 mg/kg Lebendmasse und Tag zu einer gesundheitlich bedenklichen Erhöhung der Bildung von Methämoglobin bei Kühen kommt (European Food Safety Authority 2020). Zudem ist zu berücksichtigen, dass durch Verwendung von Nitrat als Futterzusatz zur Reduzierung der Methanemission zusätzlicher Stickstoff in die Ration eingetragen wird, der, wenn er nicht in den Proteinpool einfließt, zusätzlich ausgeschieden wird, wodurch potenziell mehr klimarelevantes Lachgas entstehen kann (Arndt et al. 2022).

Ruminale Sulfat-Reduzierer können Wasserstoff auf Sulfat übertragen, wodurch weniger Wasserstoff für die Methanbildung zur Verfügung steht. Daher werden höhere Schwefelgehalte der Ration als Methanminderungsmaßnahme diskutiert (Zhao and Zhao 2022). Es konnte gezeigt werden, dass hohe Anteile an Getreideschlempen, die in der Regel höhere Schwefelgehalte aufweisen, die Methanemission reduzieren können. Kombinationen von Nitrat und Schwefel scheinen sowohl die erforderliche Schwefel- als auch Nitratdosierung zu reduzieren (Zhao and Zhao 2022), wodurch auch die Gefahr einer Nitrat-/Nitritvergiftung reduziert würde (Arndt et al. 2022). Allerdings gehen die Autoren davon aus, dass verlässliche Dosierungsempfehlungen weiterer Untersuchungen bedürfen. Aus praktischer Sicht ist zudem festzustellen, dass die bisher publizierten erforderlichen Schwefeldosierungen nahe oder über der Schwefeltoleranzgrenze für Rinder liegen. So wurde durch den NRC (2005) für kraftfutterreiche Rationen eine maximal tolerierbare Konzentration von 3 g Schwefel/kg DM und für grundfutterreichere Rationen von 5 g Schwefel/kg DM empfohlen. Die tiergesundheitlichen Konsequenzen überhöhter Schwefelgehalte in Rinderrationen wurden durch Dänicke and Schenkel (2009) diskutiert.

Eine weitere Möglichkeit, die ruminale Verfügbarkeit

Wasserstoff für die Methanogenese zu reduzieren, besteht in dem exogenen Zusatz von Fumarat, das ebenfalls als Wasserstoffakzeptor fungiert (Abbildung 1). Untersuchungen an Kühen haben gezeigt, dass durch Zusatz von Fumarat der Anteil an Propionat im Pansen erhöht. Allerdings wird eingeschätzt, dass die Effizienz dieser Maßnahme im Hinblick auf die Methanreduktion eher gering zu sein scheint (Arndt et al. 2022) und die Gefahr einer Übersäuerung des Panseninhalts besteht.

Rote Seealgen (*Asparagopsis taxiformis* und *A. armata*) akkumulieren halogenierte Verbindungen, wie Bromoform, welche effektiv durch Hemmung der Methyltransferase die Methanogenese reduzieren (Tedeschi and Beauchemin 2023). Problematisch ist aus Sicht der Lebensmittelsicherheit, dass nicht nur das in den Algen angereicherte Bromoform, sondern auch akkumuliertes Jod und ggf. weitere unerwünschte Stoffe in die Milch übertragen werden.

3-Nitrooxypropanol (3-NOP) ist der wirksame Bestandteil eines zugelassenen Futtermittelzusatzstoffes, der den letzten Schritt der ruminalen Methanogenese durch Hemmung des beteiligten Enzyms blockiert (Duin et al. 2016). Eine typische Eigenschaft eines Futtermittelzusatzstoffes besteht darin, dass er in nur geringen Mengen dem Futter zugesetzt werden muss, um die Wirksamkeit zu entfalten. Im Gegensatz zu vielen anderen Minderungsmaßnahmen, die immer auch die Rationszusammensetzung mehr oder weniger stark verändern, ist dies bei Zusatzstoffen daher nicht der Fall. Allerdings konnte gezeigt werden, dass die Wirkung von 3-NOP von der Rationszusammensetzung abhängt (Abbildung 3) und dass sogar transiente Methanminderungseffekte bei Grundfutter-betonten Rationen beobachtet wurden (Abbildung 4), die insbesondere Langzeitstudien bei variierenden Rationszusammensetzungen erfordern, um eine umfassende Bewertung zu ermöglichen.

Abschließend sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle Fütterungsmaßnahmen zur Minderung der Methanemission

nur unter Berücksichtigung der ernährungsphysiologischen Rahmenbedingungen implementiert werden dürfen, um sicherzustellen, dass die Tiergesundheit nicht beeinträchtigt wird.

Haltungs- und Managementmaßnahmen

Unter den Haltungs- und Managementmaßnahmen kommt der Förderung der Tiergesundheit sowie einer verlängerten Nutzungsdauer von Milchkühen besondere Bedeutung zu, da krankheitsbedingte Leistungsminderungen insbesondere die Nährstoffeffizienz und die Methan-Emissionsintensität verschlechtern (Soosten et al. 2020; Džermeikaitė et al. 2024) während eine kurze Nutzungsdauer die Methan-Emissionsintensität durch einen höheren Anteil der Aufzuchtperiode auf die insgesamt produzierte Milch verschlechtert (Soosten et al. 2020).

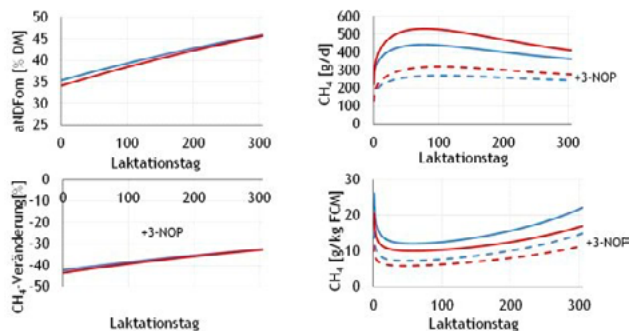


Abbildung 3. Die Reduktion der Methan-Emission durch 3-NOP wird durch den Gehalt der Ration an neutraler Detergenzienfaser (NDF) und Rohfett (CF) modifiziert: $CH_4\text{-Veränderung} (\%) = -32.4 - 0.282 \cdot (3\text{-NOP} - 70.5) + 0.915 \cdot (NDF - 32.9) + 3.08 \cdot (EE - 4.2)$ (Kebreab et al. 2023); 3-NOP = 3-Nitrooxypropanol (100 mg/kg DM als Beispieldosis angenommen); NDF = neutrale Detergenzienfaser (variabel), EE = Rohfett (für das Beispiel konstant mit 3% der Futter-DM unterstellt)

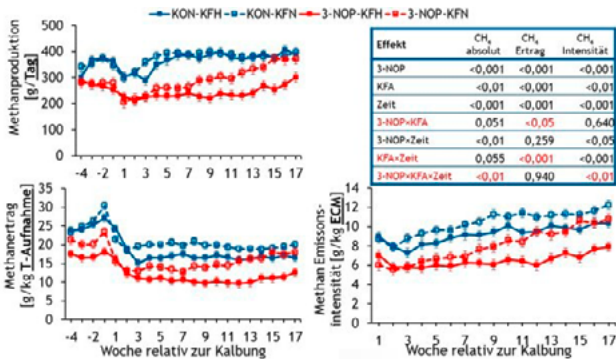


Abbildung 4. Der Methanminderungseffekt des Futtermittelzusatzstoffes 3-Nitrooxypropanol (3-NOP) hängt von der Rationszusammensetzung ab: Bei höheren Grundfutteranteilen (= höherer NDF-Anteil, KFN) ist der Effekt transient, während höhere Kraftfutteranteile (KFH) mit einer persistierenden Methanminderung im Untersuchungszeitraum einhergehen (Schilde et al. 2021).

Schlussfolgerungen

Wie eingangs erläutert, tragen neben der Methanemission insbesondere die Lachgasemissionen aus der Tierhaltung zur Klimawirksamkeit von Nutztieren bei. Fütterungsmaßnahmen zur Minderung der Lachgasemissionen beinhalten eine N-angepasste bzw. N-reduzierte Fütterung. Für den Wiederkäuer ist zusätzlich zu beachten, dass Wasserstoff in Form reduzierender Äquivalente für die mikrobielle Proteinsynthese benötigt wird, wodurch die Interaktionen zwischen N-Stoffwechsel und N-Ausscheidung als potenzielle Quelle von Lachgasemissionen und Methanemission offensichtlich sind und für bestimmte Rationstypen zu gegenteiligen Effekten führen können.

Die Minderungspotenziale lassen sich nur durch Kombination aller genannten Möglichkeiten, zuzüglich von Gülle- und Wirtschaftsdüngermanagement, ausschöpfen. ■

Literatur

- Arndt C, Hristov AN, Price WJ, McClelland SC, Pelaez AM, Cueva SF, Oh J, Dijkstra J, Bannink A, Bayat AR, et al. 2022. Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5 °C target by 2030 but not 2050. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 119;20:e211294119. eng. Epub 2022 May 10.
- Dänicke S, Schenkel H, 6430. 2009. Zur Bedeutung von Schwefel als unerwünschtem Stoff in der Milchkuhfütterung. *Züchtungskunde*. 81;6:442–450.
- Duin EC, Wagner T, Shima S, Prakash D, Cronin B, Yáñez-Ruiz DR, Duval S, Rübels R, Stemmler RT, Thauer RK, Kindermann M. 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 113;22:6172–6177.
- Džermeikaitė K, Krištolaitytė J, Antanaitis R. 2024. Relationship between Dairy Cow Health and Intensity of Greenhouse Gas Emissions. *animals*. 14;6. eng. Epub 2024 Mar 7.
- European Food Safety Authority. 2020. Risk assessment of nitrate and nitrite in feed. *EFSA Journal*. 18;11:e06290. Epub 2020 Nov 4.
- FAO. 2021. Food and Agriculture Organization. FAOSTAT. Online Statistical Service. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>.
- GfE. 2023. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. 1. Auflage, DLG- Verlag GmbH Frankfurt; Gesellschaft für Ernährungsphysiologie; Ausschuss für Bedarfsnormen.
- Kebreab E, Bannink A, Pressman EM, Walker N, Karagiannis A, van Gastelen S, Dijkstra J. 2023. A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of dairy science*. 106;2:927–936. eng. Epub 2022 Dec 7.
- Knapp JR, Laur GL, Vadas PA, Weiss WP, Tricarico JM, 11068. 2014. Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*. 97;6:3231–3261. eng. Epub 2014 Apr 22.

- Lee C, Beauchemin KA. 2014. A review of feeding supplementary nitrate to ruminant animals: nitrate toxicity, methane emissions, and production performance. *Can J Anim Sci.* 94;4:557–570.
- Morgavi DP, Forano E, Martin C, Newbold CJ, 5794. 2010. Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal: an international journal of animal bioscience.* 4;7:1024–1036.
- Niu M, Kebreab E, Hristov AN, Oh J, Arndt C, Bannink A, Bayat AR, Brito AF, Boland T, Casper D, et al., 10607. 2018. Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Global change biology.* 24;8:3368 –3389. eng. Epub 2018 Feb 17.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals.
- Schilde M, Soosten D von, Hüther L, Meyer U, Zeyner A, Dänicke S. 2021. Effects of 3-nitrooxypropanol and varying concentrate feed proportions in the ration on methane emission, rumen fermentation and performance of periparturient dairy cows. *Arch Anim Nutr:*1–26.
- Soosten D von, Meyer U, Flachowsky G, Dänicke S, 10601.2020. Dairy Cow Health and Greenhouse Gas Emission Intensity. *Dairy.* 1;1:3.
- Tedeschi LO, Beauchemin KA. 2023. Galyean appreciation club review: a holistic perspective of the societal relevance of beef production and its impacts on climate change. *J Anim Sci.* 101. eng.
- Zhao Y, Zhao G. 2022. Decreasing ruminal methane production through enhancing the sulfate reduction pathway. *Animal nutrition (Zhongguo xu mu shou yi xue hui) [Internet].* 9:320–326. eng. Epub 2022 Feb 8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35600554/>.

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung im Wasserschutz und Verbesserungspotenziale

ANNETTE FREIBAUER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising

Was hat Nutztierhaltung mit Wasserschutz zu tun? Eigentlich müsste das Thema heißen: „die Wiederkäuerhaltung im Wasserschutz“. Denn Schwein und Geflügel sind nicht anders zu bewerten als der Mensch, da sie ähnlich gedrängt und oft regional konzentriert leben und mit menschlich Verzehrbares gefüttert werden.

Landwirtschaft und Wasserschutz konzentriert sich auf Qualität von Oberflächengewässern und Grundwasser. Die Umweltperspektive blickt auf Konzentrationen der Stoffeinträge. Die Lösung liegt aber generell in einer Reduktion der Frachten, also der Eintragsmengen.

Wie unterstützt die Wiederkäuerhaltung den Wasserschutz? Ganz vereinfacht: sie nutzt Grünland, Zwischenfrüchte und Klee gras, Luzerne – also Nutzungsformen und Fruchtfolge-Elemente, die Erosion und N-Auswaschung reduzieren. Sie produziert Mist und Gülle für enge Stoffkreisläufe im landwirtschaftlichen Betrieb. Dies entspricht den Prinzipien des Ökolandbaus.

Regionale Hotspots von Nährstoffüberschüssen können die Qualität von Oberflächengewässern und Grundwasser beeinträchtigen. Sie sind nicht ein Problem der Nutztierhaltung an sich, sondern der Spezialisierung, der lokalen Kon-

zentration und der Nährstoffimporte in diese Regionen. Das Wasserschutzproblem kommt nicht von der Zahl der Tiere in Deutschland, sondern der lokalen Konzentration, der Art der Tiere bzw. der Art der Fütterung. In diesen drei Punkten liegen Verbesserungspotenziale, die vielfältige Synergien mit anderen Umwelt- und Nachhaltigkeitszielen haben. Die Kommission Landwirtschaft am Umweltbundesamt hat sie 2019 gut auf den Punkt gebracht: Nährstoffkreisläufe optimieren heißt (hier nur bezogen auf die fachlichen Aspekte):

- Strukturwandel zur Flächenbindung der Tierhaltung einleiten
- Organische Dünger besser verwerten, Mineraldünger einsparen
- Standort und lokale Ökosysteme berücksichtigen
- Bildung und Beratung in der Landwirtschaft neu ausrichten und ausbauen

Verbesserungen sind eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe. Denn die landwirtschaftlichen Betriebe brauchen adäquate politische, ökonomische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen, um diese Potenziale betriebs- und regionenübergreifend zu heben. ■

Biodiversitätsleistungen landwirtschaftlicher Nutztiere

CLAUDIA KLEIN

Friedrich-Loeffler-Institut Neustadt

Landwirtschaftliche Nutztiere, obwohl selbst in ihrer Biodiversität bedroht, tragen auf mehreren Ebenen zum Erhalt von Arten und Landschaften bei. Der tägliche Weidegang von Kühen dient nicht nur dem Tierwohl, der Weidegang trägt in Form des Kuhfladens substanziell zur Artenvielfalt bei. Der Kuhfladen dient als Brutstätte und Lebensraum für mehrere Hundert Insekten, welche wiederum als Nahrungsquelle für Vögel dienen. Durch die Beweidung entstehen wieder kurzrasige Flächen, welche von bestimmten Vogelarten bevorzugt werden.

Einsatz von Hausschweinen im Rahmen der Landschaftspflege ist wenig verbreitet, nicht zuletzt da bei einer Haltung auf begrenzten Flächen die Wühlaktivität als problematisch betrachtet wird. Nichtsdestotrotz bietet die Weidehaltung dennoch Potential im Rahmen des Erhaltens von Biodiversität. Ein Beispiel aus der Schweiz ist die Nutzung alter Schweinerassen von dunkler Farbe, welche einen Schutz gegen Sonnenbrand verleiht, um Alpenflächen zu beweiden, allen voran sogenannte „Blackenfelder“ wodurch der Einsatz von Unkrautvernichtungsmittel vermieden werden kann. Diverse Studien halten des Weiteren einen positiven Effekt auf Pflanzenbestände fest.

Geflügelfleisch stellt eine der wichtigsten tierischen Proteinquellen weltweit dar. Hier kann durch eine Steigerung der Futtereffizienz ein indirekter Beitrag zur Biodiversität geleistet werden. Leider besteht ein Antagonismus zwischen dem Erhalt der Biodiversität bei der Tierart Geflügel und der Steigerung der Futtereffizienz, da alte Geflügelrassen eine verminderte Futtereffizienz im Vergleich zu Hochleistungsrassen aufweisen. Ein Teil der Proteinzufuhr von nicht-Wiederkäuer wie Geflügel und Schwein kann potentieller Weise durch Eiweißfuttermitteln aus Larven der schwarzen Soldatenfliege gedeckt werden. Die Anzucht der Larven kann regional erfolgen, ggf. unter dem Einsatz regional anfallender Reststoffe, welche anderweitig nicht an landwirtschaftliche Nutztiere verfüttert werden können. Diese ökologisch nachhaltigere Fütterungsansatz würde einen indirekten Beitrag zur Biodiversität leisten. ■

Einfluss der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung auf die Luftqualität und Verbesserungspotenziale

WOLFGANG BÜSCHER

Universität Bonn; Institut für Landtechnik

Hintergründe und Problemsituation

Es ist allgemein bekannt und vielfach publiziert, dass von der Nutztierhaltung große Umweltbelastungen ausgehen. Aus einer historischen Perspektive waren das chronologisch die Immissionen von Gerüchen, von Ammoniak und von Partikeln (Bioaerosole). Derzeit werden aber auch Klimagase (Methan und Lachgas) aus der Tierhaltung in Bezug auf die Umweltwirkung (Klimaerwärmung) angesprochen; in absehbarer Zeit kommen sicher noch VOCs (Volatile Organic Compounds) und andere Spurengase (z. B. Ozon) hinzu. Umweltbelastungen aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung sind aber nie allein auf den Stall zu reduzieren; insbesondere die Lagerung und Ausbringung der organischen Reststoffe können ähnlich starke Umweltwirkungen auslösen.

Der Begriff „Luftqualität“ muss daher immer in unterschiedlichen Kontexten bewertet werden, wobei die drei erstgenannten Komponenten eine besondere Stellung haben, weil sie bei einzelbetrieblichen Genehmigungsverfahren in Bezug auf den Anlagen-Standort sehr spezifisch betrachtet werden. Gerüche beeinträchtigen zweifellos am stärksten die Akzeptanz eines Stalles im Nahbereich. Die belästigen-

de Wirkung einer Anlage ist allerdings schwierig zu messen. Besonders umstritten war immer die Bestimmung des Mindestabstands, wobei seit einigen Jahren bei den numerischen Simulationen nun auch die Windverhältnisse am Standort berücksichtigt werden müssen.¹ **Ammoniak** entfaltet seine negative Wirkung in der Regel erst nach der Deposition und führt auf nährstoffarmen, schützenswerten **Biotopen** mittel- und langfristig zu einer Verminderung der Biodiversität. Über unmittelbare Schäden an Flora und Fauna durch hohe Konzentrationen ist nur wenig bekannt. Daher beziehen sich die geforderten Mindestabstände auf Biotope, die beim einzelbetrieblichen Genehmigungsverfahren vorher zu identifizieren sind. Durch die Ausweitung von FFH-Gebieten (Flora-Fauna-Habitat) in den letzten Jahren haben viele erhaltende Betriebe Probleme, die geforderten Mindestabstände einzuhalten. Bioaerosole haben in den letzten Jahren eine größere Aufmerksamkeit bekommen, weil das Allergiegesehen in der Bevölkerung stark zugenommen hat und weil

¹ VDI-Richtlinie 3894 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Blatt 1 und 2

die Ausbreitung von Erkrankungen/Tierseuchen von Stall zu Stall durch den Luftweg immer häufiger als Ursache identifiziert wurde. Somit spielen auch hier Mindestabstände und die zu erwartende Verdünnung eine wichtige Rolle bei der Standortfindung eines Stalles. Der Fokus dieses Beitrages soll daher auf der Geruchsproblematik im ländlichen Raum liegen und den potenziellen Minderungsmöglichkeiten liegen.

Geruchsemissionen und -immissionen

Die landwirtschaftliche Tierhaltung führt zu Geruchsemissionen, die durch ihre Belästigungswirkung zu Konflikten mit der Nachbarschaft führen können. Geruch stellt nach GALLMANN (2017) eine Frage der Umweltästhetik oder Umwelthygiene dar. Wissenschaft und Regulierungsbehörden sollten leicht nachvollziehbare und allgemein akzeptierte Standards für die Bewertung von Geruchsmissionen und Minderungsmaßnahmen bereitstellen. Das Ziel ist es, die Häufigkeit und Konzentration von Geruchsstoffeinträgen im Aufenthaltsbereich von Menschen in sensiblen Gebieten nahe der Quelle zu reduzieren oder zu vermeiden. Die Herausforderung besteht darin, den Bewertungsgegenstand Geruch für die Allgemeinheit zu objektivieren, obwohl die Geruchsempfindung eine sehr individuelle, subjektive und emotionale Angelegenheit des Einzelnen ist (GALLMANN 2011a).

Die Geruchsstoffe aus der landwirtschaftlichen Tierhaltung entstehen in den Stallungen, bei der Lagerung und Ausbringung der Exkremate sowie bei der Silagelagerung und -fütterung. Die Hauptquellen für Geruchsstoffe in der Tierhaltung sind frischer oder gelagerter Kot und Harn sowie sich zersetzende Futtermittelreste. Weitere Quellen können auch der Eigengeruch des Futters und der Tiere sein. Genaue Angaben zum Anteil der Quellen an der Gesamtemission sind nicht bekannt. Es wird angenommen, dass nur 9% der gesamten Geruchsstofffreisetzung direkt vom Tier stammen,

während 91% von verschmutzten Oberflächen freigesetzt werden (JANSEN und KRAUSE 1987).

Die aus Tierhaltungsanlagen emittierten Geruchsstoffe bestehen aus einem komplexen Gemisch von über 200 verschiedenen Komponenten in unterschiedlichen Konzentrationen, die hauptsächlich aus Stickstoff-, Schwefel- und Sauerstoffverbindungen bestehen. Die mengenmäßige Dominanz eines Stoffes muss nicht unbedingt mit seiner Dominanz als Geruchsträger übereinstimmen. Geruchsstoffe können organische oder anorganische Verbindungen sein. Im Gegensatz zu anderen Stoffgruppen ist für sie keine chemische Eigenschaft typisch.

Eine Leitsubstanz, wie Ammoniak oder Schwefelwasserstoff, kann nicht festgelegt werden. Es ist nicht möglich, die Geruchswahrnehmung aufgrund der Konzentration der Einzelsubstanzen zu bestimmen, da Geruch keine Stoffeigenschaft, sondern eine physiologische Reaktion des Menschen ist. Die Freisetzung von Geruchsstoffen aus den beschriebenen Quellen an die vorbeiströmende Luft basiert auf den chemisch-physikalischen Grundlagen des Stoffübergangs. Entscheidend für den Übergang eines Stoffes ist die Dampfdruckdifferenz zwischen der Stoffquelle und der Luft (MARTINEC et al. 1998). Der Übertritt der Geruchsstoffe aus dem Stall in die Atmosphäre erfolgt entweder aktiv oder passiv aus Punkt- oder Flächenquellen, abhängig von der Art der Durch- oder Umströmung und der Geometrie der Kontaktfläche bzw. des Luftaustritts.

Da es keine Messverfahren gibt, mit denen man die Geruchswahrnehmung des Menschen abbilden kann, müssen weiterhin sensorische Messverfahren eingesetzt werden (VDI 3883; 2025). Diese ermöglichen es, aus subjektiven Angaben von Probanden über Gerüche Aussagen zur Konzentration, Intensität und Hedonik eines Geruchs abzuleiten. Bei diesen Messverfahren spielen die solide Probenahme und kurze Abstände zwischen Probenahme und Auswertung eine wichtige Rolle.

Sensorische Messverfahren, die den Geruchssinn bzw. die Nase von Probanden als sehr sensiblen Sensor nutzen, nennt man olfaktometrische Messverfahren. Als Messgröße dient die Geruchsempfindung des Menschen. Im Gegensatz zu analytischen Messverfahren sind Probanden in der Lage, die Probenluft nicht nur zu quantifizieren, sondern auch qualitativ zu bewerten. Die Funktionsweise eines Olfaktometers basiert darauf, dass die Geruchsprobe unter definierten und reproduzierbaren Verhältnissen in unterschiedlichen Konzentrationen mit einer nicht riechenden Neutralluft verdünnt wird. Anschließend wird jede Verdünnungsstufe von den Probanden beurteilt. Die Geruchskonzentration in der Probenluft kann dann aus der Geruchswahrnehmungsschwelle und der Verdünnungsstufe abgeleitet werden.

Der Geruchsstoffstrom [GE/s oder GE/h] beschreibt die Anzahl wahrnehmbarer Geruchseinheiten pro Zeiteinheit. Er wird berechnet, indem die Geruchsstoffkonzentration [GE/m³] mit dem Volumenstrom [m³/s oder m³/h] multipliziert wird (BÜSCHER, 2009). Der Geruchsstoffstrom ist für die Landwirtschaft ein sehr wichtiger Emissionskennwert, da er als Eingangsgröße bei Ausbreitungsberechnungen zur Mindestabstandsbestimmung zwischen Stallanlage und Nachbarschaft verwendet wird.

Die Geruchswahrnehmungshäufigkeit in Wohn- und Dorfgebieten ist ein wesentlicher Aspekt bei der Beurteilung der Lebensqualität und des Umweltbewusstseins der Anwohner (VDI 3783, 2010).

Extrem häufige Geruchswahrnehmungen aus Anlagen der Tierhaltung können die Anwohner belästigen und zu Beschwerden führen. Zur Regulierung und Minimierung dieser Geruchsbelästigungen wurden die GIRL-Grenzwerte (Geruchsimmissionsrichtlinie) eingeführt.

Die GIRL-Grenzwerte legen fest, wie häufig Gerüche wahrgenommen werden dürfen, ohne dass dies als unzumutbare Belastung gilt. In Wohngebieten ist die Akzeptanz-

schwelle für Gerüche (10%) niedriger als in Industrie- oder Gewerbegebieten (15%). Diese Grenzwerte geben an, wie viele Geruchsstunden pro Jahr maximal zulässig sind, um eine Balance zwischen den Interessen der Landwirte und dem Schutz der Anwohner zu gewährleisten (GALLMANN, 2011b).

In Dorfgebieten, die oft von landwirtschaftlichen Betrieben umgeben sind, spielt die Einhaltung dieser Grenzwerte eine entscheidende Rolle. Die GIRL-Grenzwerte für Dorfgebiete sind so festgelegt, dass sie eine gewisse Geruchswahrnehmung erlauben, aber gleichzeitig sicherstellen, dass die Lebensqualität der Bewohner nicht erheblich beeinträchtigt wird (GRIMM, 2016). Durch technische und organisatorische Maßnahmen zur Geruchsminderung sollen landwirtschaftliche Betriebe dazu beitragen, die Einhaltung der GIRL-Grenzwerte zu gewährleisten und somit die Akzeptanz ihrer Tätigkeit in der Nachbarschaft zu verbessern.

Die Bestimmung von Mindestabständen zwischen Stallanlagen und benachbarter Wohnbebauung ist ein wichtiger Aspekt der Raum- und Umweltplanung (BJAERG et al. 2004). Diese Abstände dienen dazu, die Anwohner vor negativen Einflüssen wie Geruch, Lärm und Emissionen zu schützen und Konflikte zu vermeiden. Es gibt verschiedene Regelwerke und Methode zur Festlegung dieser Mindestabstände:

- **Immissionsrichtlinien:** Vorschriften wie die Geruchsimmissionsrichtlinie (GIRL) legen fest, wie oft und in welcher Intensität Gerüche auftreten dürfen. Die Mindestabstände werden auf Grundlage dieser Richtlinien berechnet, um sicherzustellen, dass die Belastung für Anwohner akzeptabel bleibt.
- **TA Luft:** Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) gibt Emissionsgrenzwerte vor, die Stallanlagen einhalten müssen. Basierend auf diesen Grenzwerten werden Mindestabstände ermittelt, um

eine Gesundheitsgefährdung der Anwohner zu verhindern.

- **Empirische Modelle:** Modelle wie das VDI-Richtlinienmodell berücksichtigen spezifische Faktoren wie Tierarten, Anzahl der Tiere, Art der Haltung und klimatische Bedingungen. Diese Modelle nutzen empirische Daten und Simulationen, um den erforderlichen Abstand zu berechnen.

Durch die Anwendung dieser Methoden können Planer und Behörden sicherstellen, dass Stallanlagen und Wohngebiete in einer Weise koexistieren, die sowohl den Bedürfnissen der Landwirtschaft als auch dem Schutz der Anwohner gerecht wird. Wenn es zu Beschwerden kommt, müssen Einzelfallbewertungen durchgeführt werden, die die spezifischen örtlichen Gegebenheiten und Besonderheiten berücksichtigen. Dies kann durch Gutachten auf der Basis von Abluftfahnenbegehungen, durch Rastermessungen (VDI 3940, 2006) oder durch angepasste Strömungsmodelle erfolgen.

Minderungsmaßnahmen

Bei den Maßnahmen zur Geruchsminderung muss man wiederum unterscheiden, ob der Stall isoliert betrachtet wird, oder ob die Maßnahmen bei der Lagerung und Ausbringung der Reststoffe ansetzen. Abgedeckte Lagerbehälter und eine Ausbringung der Reststoffe in den Boden haben eine große

Wirkung auf Geruchs- und Ammoniakemissionen und werden mittlerweile als „Stand der Technik“ von den Umweltbehörden gefordert.

Zahlreiche Veröffentlichungen befassen sich mit den stallinternen Maßnahmen zur Emissionsminderung; allerdings vorrangig in Bezug auf Ammoniak und die klassischen klimarelevanten Gase wie Methan und Lachgas. Beispielhaft soll hier auf die Veröffentlichung von BIST et al. (2023) verwiesen werden, die sich sehr konkret auf die Geflügelhaltung

bezieht. In diesem Beitrag werden folgende neun Strategien erläutert, die zur Minimierung der Stickstoff-Emissionen führen:

1. Strategie: N-Ausscheidung (Harnstoff/Harnsäure) verringern
→ Fütterungsmaßnahmen / Futterverluste im Stall reduzieren
2. Strategie: Abbau von Harnsäure unterbinden
→ z. B. durch den Einsatz von Enzym-Inhibitoren
3. Strategie: schneller Abtransport der Exkremate aus dem Stall
→ Einsatz von Kotbändern mit kurzen Reinigungsabständen
4. Strategie: Verminderte Ausgasung durch Kühlung
→ Beschattung, Isolierung, Kühlung
5. Strategie: Verminderte Ausgasung durch Ansäuern
→ pH-Wert Verschiebung durch Säurezugabe
6. Strategie: Verkleinerung der emittierenden Oberfläche
→ Funktionsbereiche; Sitzstangen
7. Strategie: schnelles Ableiten des Emittenten
→ intensives Reinigen der Oberflächen
8. Strategie: verringerter Luftaustausch über dem Emittenten
→ Lüftungssteuerung, Abdeckung, Abschottung
9. Strategie: Abluftreinigung
→ „end of pipe“-Technologie zwischen Stall und Atmosphäre

Abluftreinigung

Trotz vieler Untersuchungen und agrarpolitischer Bemühungen wurde die Abluftreinigung 2017 zum Stand der Technik und als Voraussetzung für die Errichtung und den Betrieb größerer Stallanlagen erklärt. Die Umsetzung dieser

Beschlusslage erfolgte durch die Überarbeitung der Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ (BIMSchG, 2016; TA Luft, 2021).

Eine Abluftreinigungsanlage ermöglicht eine sichere und effektive Reduktion von Emissionen wie Ammoniak, Geruch und Staub, sofern sie technisch für den jeweiligen Anwendungszweck geeignet ist und eine ordnungsgemäße Auslegung und Betriebsweise gewährleistet ist (KTBL 2006 & 2010). Grundsätzlich wird der Einsatz solcher Verfahren empfohlen, die über längere Zeiträume an Praxisanlagen neutral geprüft wurden, beispielsweise im Rahmen einer DLG-Zertifizierung. Dies stellt sicher, dass die Anlagen richtig dimensioniert sind, eine stabile Reinigungsleistung erbringen, ausreichend betriebssicher sind und auch den Anforderungen an die Arbeits- und Gerätesicherheit entsprechen.

Als Reinigungsverfahren oder Anlagentypen haben sich Biofilter, Rieselbettreaktoren (Biowäscher), Chemowäscher und mehrstufige Anlagen als Kombination (2- oder 3-stufig) der genannten Reinigungsverfahren etabliert (BÜSCHER, 2011). Die Auswahl des Reinigungsverfahrens richtet sich vor allem nach den zu mindernden Emissionen, der erforderlichen Reinigungsleistung am Standort und den vorherrschenden betrieblichen Bedingungen. Beispielsweise sind Biofilter für eine dauerhaft zuverlässige Ammoniakabscheidung nicht geeignet. Die anderen Systeme unterscheiden sich ebenfalls hinsichtlich der Reinigungsleistung bei Ammoniak und Staub. Nicht alle Systeme können mit einer hohen Staubfracht in der Abluft umgehen. Nur dreistufige Verfahrenskombinationen können bei allen Haltungsverfahren mit Fest- oder Flüssigmist betrieben werden (KTBL 2010). Neben einer effektiven Geruchsminderung (kein Rohluftgeruch im Reingas erkennbar; Reingaskonzentration < 300 Geruchseinheiten/m³) erreichen die Anlagen Minderungsraten von 70–90% bei Ammoniak und 90% bei Staub.

Durch definierte Anforderungen an die Steuerungs- und Regelungstechnik sind die Verfahren gut zu überwachen und weitgehend automatisiert zu betreiben. Die wichtigsten Anlagenparameter, die für den ordnungsgemäßen Betrieb und die Reinigungsleistung relevant sind, werden im elektronischen Betriebstagebuch erfasst und aufgezeichnet (z.B. Luftmengen, Druckverlust, pH-Wert, Strom- und Wasser- bzw. Säureverbrauch). Dies erleichtert nicht nur die Arbeit für den Landwirt, sondern dient auch als Nachweis gegenüber der Genehmigungs- und Überwachungsbehörde oder der Nachbarschaft im Falle von Beschwerden.

Aufgrund der hohen Kosten, die mit der Errichtung und dem Betrieb der Abluftreinigung verbunden sind, ist die Wirtschaftlichkeit beispielsweise in der Schweinemast nur für erfolgreiche und gut geführte Betriebe möglich. Für den durchschnittlichen Betrieb wird der erzielbare Gewinn mehr oder weniger vollständig von den Festkosten aufgezehrt (KTBL 2010; SAUER UND SPANDAU 2016; UBA 2016). Dennoch kann sich die Abluftreinigung für einzelne Betriebe rechnen, um den Betrieb am vorhandenen Standort weiterzuentwickeln und eine (Teil-)Aussiedlung zu vermeiden. Die Kosten einer Erschließung liegen in der gleichen Größenordnung wie die Anschaffungskosten der Abluftreinigung. Zudem sind vielerorts entwicklungsfähige Standorte knapp.

Persönliches Fazit

Bei der Errichtung von Stallanlagen werden aus gut nachvollziehbaren Gründen Abluftreinigungsanlagen gefordert, weil sie die Emissionen von Gerüchen, Ammoniak und Stäuben mindern und durch die aktuelle Gesetzgebung zum „Stand der Technik“ erklärt wurden. Es dürfen nur zertifizierte (geprüfte) Anlagentypen eingesetzt werden, wobei die Betriebsweise mit Hilfe eines digitalen Tagebuchs von den Umweltbehörden überprüft werden kann. Durch die aktu-

ellen Entwicklungen bei der Tierwohl-Diskussion und den Forderungen des Lebensmitteleinzelhandels in Richtung von Außenklimaställen lassen sich Abluftreinigungstechniken allerdings dort nicht sinnvoll einsetzen. Auch in der aktuellen Rechtsprechung haben die Tierwohl-Interessen übergeordneten Einfluss, sodass wieder emissionsmindernde Maßnahmen im Stall stärker zum Zuge kommen. Es sollte nicht vergessen werden, dass zur Geruchsminderung im ländlichen Raum die Abdeckung von Exkrementlagern und die direkte Einarbeitung des Stallmistes in den Boden während bzw. unmittelbar nach der Ausbringung wesentliche Beiträge leistet. ■

Quellenverzeichnis:

BImSchG (2013/2016): Gesetz zum Schutz vor schädlichen

Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – Bundesimmissionsschutzgesetz. 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert am 26. Juli 2016 (BGBl. I S. 1839)

Bist, Ramesh Bahadur; Sachin Subedi; Lilong Chai;

Xiao Yang (2023): Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. *Journal of Environmental Management*. doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919

Bjerg, B.; P. Kai, S. Morsing und H. Takai (2004): CFD

Analysis to predict close range spreading of ventilation air from livestock buildings. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript BC 03014. Vol. VI, August 2004

Büscher, W. (2011): Abluftführung in der Schweine- und

Geflügelhaltung im Hinblick auf die Anrainersituation – Stand der Technik. Tagungsband „Neue Herausforderungen und Strategien in der Rinder- und Schweinehaltung“ – Bautagung 2011, Selbstverlag HBLFA Raumberg-Gumpenstein, ISBN: 978-3-902559-57-9

Büscher, W. (2009): Messung der gasförmigen Ausscheidungen – technische Möglichkeiten und Grenzen. *Proceedings „Forum angewandte Forschung“*, Fulda, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn

Gallmann (2011a): Beurteilung von Geruchsimmissionen aus der Tierhaltung. *Habilitationsschrift, Fakultät Agrarwissenschaften, Universität Hohenheim*. 241 S. Digital verfügbar unter <http://opus.uni-hohenheim.de/volltexte/2014/996/>

Gallmann (2011b): Geruchsimmissionen – Beurteilung und Minderung. In: *Zukunftsorientiertes Bauen für die Tierhaltung*. KTBL-Schrift 485, Darmstadt, S. 71–83

Gallmann, E. (2017): Kapitel 8 Luft getragene Emissionen aus der Tierhaltung und Immissionsschutz in: Jungbluth, T.;

W. Büscher, M. Krause (2017): *Technik Tierhaltung*, Ulmer Buch 2461; Zweite Auflage, Ulmer Verlag Stuttgart

Grimm, E. (2016): Novellierung der TA Luft – aktueller Stand. In: *Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung*. KTBL-Tagung 01.06.2016 in Ulm und 15.06.2016 in Hannover, S. 5–14.

Jansen, J. und K.-H. Krause (1987): Stallinterne Beeinflussung der Gesamtemission aus Tierhaltungen. *Grundlagen der Landtechnik* 37, S. 213–220

KTBL (2006): Abluftreinigung für Tierhaltungsanlagen. *KTBL-Schrift* 451, Darmstadt, 86 S.

KTBL (2010): Abluftreinigung in der Schweinehaltung - Verfahren, Einsatzbereiche, Leistungen und Kosten. <https://www.ktbl.de/inhalte/themen/erhaltung/themen/ablufreinigung/>, abgerufen 06.10.2016

Martinec, M., E. Hartung und T. Jungbluth (1998): Daten zur Geruchsemission aus der Tierhaltung. *KTBL-Arbeitspapier* Nr. 260, Darmstadt, 60 S.

Sauer, N. und P. Spandau (2016): Ökonomische Bewertung von Abluftreinigungsanlagen. In: *Aktuelle rechtliche Rahmenbedingungen für die Tierhaltung*. KTBL-Tagung 01.06.2016 in Ulm und 15.06.2016 in Hannover, S. 26- 34

- UBA (2016): Aktuelle Entwicklung Kosten-Nutzenanalyse und Vollzugsempfehlungen für den Einsatz von Abluftreinigungsanlagen in der Tierhaltung. UBA Texte 61/2016. Hrsg.: Umweltbundesamt Dessau-Roßlau. 123 S.
- VDI 3783, Bl. 13 (2010): Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsprognose – Anlagenbezogener Immissionsschutz – Ausbreitungsrechnung gemäß TA Luft. Berlin, Beuth-Verlag
- VDI 3883, Bl. 1 (2015): Wirkung und Bewertung von Gerüchen – Erfassung der Geruchsbelästigung – Fragebogentechnik. Berlin, Beuth-Verlag
- VDI 3894, Blatt 1 und 2 (2011): Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen - Haltungsverfahren und Emissionen-Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Berlin, Beuth-Verlag
- VDI 3940 (2006): Bestimmung von Geruchsstoffimmissionen durch Begehungen. Berlin, Blatt 1: Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Rastermessung. Blatt 2: Bestimmung der Immissionshäufigkeit von erkennbaren Gerüchen – Fahnenmessung. Blatt 3: Ermittlung von Geruchsintensität und hedonischer Geruchswirkung im Feld. Berlin, Beuth-Verlag

Züchterische Anpassung landwirtschaftlicher Nutztiere für mehr Ökosystemleistungen

JÖRN BENNEWITZ UND FRANZISKA KESSLER

Institut für Nutztierwissenschaften, Universität Hohenheim

Einleitung: Ökosystemleistung und Tierzucht

Als **Ökosystemleistungen** (engl. **ecosystem services**, **ES**) werden die Dienstleistungen der Natur für den Menschen bezeichnet, welche er durch Lebensräume und Lebewesen wie Tiere und Pflanzen bezieht. Die Ökosystemleistungen schaffen die Basis zur Deckung grundlegende Bedürfnisse des Menschen, wie beispielsweise den Zugang zu Wasser und Nahrung. Es sind mehrere Ansätze der Klassifizierung und Systematisierung von ES beschrieben. Auf EU-Ebene wurde im Rahmen des CICES-Projekts (Common International Classification of Ecosystem Services) eine Klassifikation vorgeschlagen, die drei Kategorien enthält. Diese sind (1) **Versorgungsleistungen** (Bereitstellung von Gütern wie z.B. Lebensmittel, Rohstoffe, Energie, Wasser), (2) **Regulierungsleistungen** (Steuerung natürlicher Prozesse wie z.B. Schadstoffregulierung, Wasserhaushalt und -qualität, Luftreinigung) und (3) **Kulturelle Leistungen** (z.B. Natur- und Kulturerbe, Erlebnis und Erholung).

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung ist dabei an vielen Stellen ein entscheidender Akteur. Auf der einen Seite sind ES wie Grünfutter, Wasser und Luft essenziell für sie und

werden daher von ihr genutzt. Auf der anderen Seite produziert sie ES aus den drei oben genannten Kategorien für den Menschen. Weiterführende Übersichtsartikel, die unter anderem Beispiele für relevante ES-Merkmale nennen, sind Hall (2019), Martin-Collado et al. (2019) oder Leroy et al. (2018).

Unter dem Begriff **Tierzucht** werden alle Maßnahmen zusammengefasst, die eine gerichtete Veränderung eines oder mehrerer erblicher Merkmale in einer Population über Generationen hinweg verursachen (Bennewitz et al. 2019). Dies umfassen einerseits die Definition der Zuchtziele, welche die angestrebte Entwicklung der Population abbilden und somit die Richtung der züchterischen Arbeit vorgeben, und andererseits die Anwendung von Methoden, die die gewünschte Veränderung auf züchterischem Weg ermöglichen. Die Merkmale, mit denen sich die Tierzucht befasst, sind hauptsächlich quantitativer Natur. Ihre züchterische Bearbeitung stützt sich auf vier Säulen: Leistungsprüfungen, Genotypisierungen von genomweiten SNP-Markern, Zuchtwertschätzungen und die Selektion und Anpaarung von Elterntieren zur Erzeugung der nächsten Generation. Quantitative

Merkmale umfassen Leistungsmerkmale und funktionale Merkmale. Als funktionale Merkmale werden Merkmale bezeichnet, die grundlegend dafür sind, dass ein Tier seine primäre Leistung erbringen kann. Hierzu zählen beispielsweise Merkmale aus dem Bereich der Gesundheit und Fruchtbarkeit. Beide Merkmalskomplexe zeigen in der Regel eine leicht negative genetische Beziehung zueinander. Die Zuchtziele und die Gesamtzuchtwerte umfassen heutzutage sowohl funktionale Merkmale als auch Leistungsmerkmale, oftmals zu etwa gleichen Anteilen.

Zucht auf Ökosystemleistung: Neue ES-Merkmale?

Oftmals wird intuitiv argumentiert, dass für mehr ES noch weitere Merkmale wichtig sind. Eine Systematik möglicher ES-Merkmale ist bei Leroy et al. (2018) dazu zu finden. Die Einführung neuer ES-Merkmale in die Zuchtziele der Nutztiere muss jedoch kritisch gesehen werden. In der Vergangenheit wurden Zuchtziele fortwährend diversifiziert und neue Merkmale hauptsächlich aus dem funktionalen Merkmalsbereich aufgenommen. Ein gutes Beispiel dafür ist die Einführung der Gesundheitszuchtwerte in die Deutsche Holstein Milchrinderpopulation. Zudem adressieren viele Merkmale in den Zuchtzielen bereits wesentliche ES, die durch das Nutztier beeinflusst werden, insbesondere aus der Kategorie Versorgungsleistungen.

Zucht auf Ökosystemleistung: Verbesserte Resilienz

Anstatt neue ES-Merkmale im Zuchtziel zu verankern, wird vorgeschlagen, die Fähigkeit der Resilienz in der Nutztierpopulation zu stärken. Dabei beschreibt die Resilienz die Fähigkeit eines Tieres sich nach einer Störung (z.B. Hitzeperiode oder Erkrankung) schnell zu erholen und die gewohnte Leistung bei wiederhergestelltem Gleichgewicht zu erbringen (Colditz und Hine 2016). In Deutschland sind erhebliche Variationen im Leistungsniveau, in der Herdengesundheit und

der Fitness auf den Betrieben zu beobachten. Dies gilt für alle Nutztierkategorien. Im Wesentlichen lassen sich diese Unterschiede durch natürliche und geografische Gegebenheit, durch Produktionsbedingungen und durch betriebliche Managementmaßnahmen erklären. Zusätzliche Belastungen durch klimatische Veränderungen zeichnen sich in Deutschland vor allem durch anhaltende Hitzeperioden ab, wobei ein Anstieg der Jahresmitteltemperaturen deutschlandweit um 1,4 °C im Vergleich zu den ersten 30 Jahren der Aufzeichnungen (1981 bis 2010) vom Umweltbundesamt beobachtet wurde. Die negativen Auswirkungen von extremen Wetterverhältnissen, wie Hitzestress, auf die Leistung, die Gesundheit und das Tierwohl sind bekannt und gut dokumentiert. Sie beeinträchtigen naturgegeben auch die ES Leistungen, die durch das Tier erbracht werden.

Die Resilienz mit der oben genannten Definition rückt in Anbetracht dieser Entwicklung zunehmend in den Fokus. Sie könnte entweder durch die Erhebung weiterer Merkmale und Anwendung genombasierter Ansätze erfasst oder aus bestehenden Aufzeichnungen abgeleitet werden.

Genombasierte Ansätze für verbesserte Resilienz

Ein Meilenstein für mehr Resilienz ist die Einführung der genombasierten Zucht auf direkte Gesundheitsmerkmale in den Deutschen Holsteins in Form des Relativzuchtwertes Gesundheit (Reents et al. 2024). Wie eingangs erwähnt, sind Produktionsmerkmale und Gesundheitsmerkmale in der Regel jedoch leicht negativ genetisch korreliert. In neueren Untersuchungen konnten diese Korrelationen auf den Genomen der Tiere kartiert werden, mit recht überraschenden Mustern. So zeigt sich beim Holstein Rind, dass die Korrelation nicht gleichmäßig über das Genom verteilt war. Stattdessen gibt es einzelne chromosomale Bereiche mit größerer und andere mit kleinerer lokaler Korrelation zwischen den Merkmalskomplexen (Schneider et al. 2023). Eine tiefgehen-

de Analyse mit ca. 17 Mio. SNPs und 35000 Kühen zeigte zudem, dass es funktionale Gruppen von SNPs gibt, die einen deutlichen Einfluss auf die Korrelation haben. Einige von ihnen drehen dabei die global negative Korrelation in lokal positive Korrelation um (Schneider et al. 2024). Dies ermöglicht neue Perspektiven in der genombasierten Tierzucht. So können vornehmlich die SNPs auf einem SNP-Chip verankert werden, die beide Merkmalskomplexe simultan in die gewünschte Richtung beeinflussen und positive Korrelationen anzeigen. Auf diese Weise kann durch eine gezielte Ansprache dieser Genomabschnitte eine global negative Korrelation aufgebrochen werden, was die gemeinsame genetische Verbesserung der beiden Merkmalskomplexe fördern würde. Es besteht in diesem Bereich jedoch noch ein erheblicher Forschungsbedarf.

Auf dem Weg zum Resilienz-Index mit neuen Resilienzmerkmalen

Neben der vorangegangenen beschriebenen steigenden Bedeutung von Gesundheitsmerkmalen in Forschung und Praxis der Tierzucht, hat sich in den letzten Jahren ein Ansatz zur Erfassung einer allumfänglichen Resilienz herausgebildet. Sie soll die Reaktionsfähigkeit eines Nutztiers auf jegliche kurzfristige Störeinflüsse abbilden, unabhängig ob diese bekannt und messbar sind oder nicht. Hierfür wird eine erwartete mit der beobachteten Merkmalsausprägung verglichen, bspw. bei Legehennen die Anzahl gelegter Eier, bei Schweinen die aufgenommene Futtermenge oder bei Milchkühen die tägliche Milchleistung. Die Abweichungen können statistisch mittels Zeitreihenanalyse ausgewertet werden und ergeben so Aufschluss über die Widerstandsfähigkeit des Nutztiers. Für die drei bedeutendsten deutschen Milchkuhrassen - Deutsche Holsteins, Fleckvieh und Braunvieh - wurde die Methode von Kessler et al. (2024) angewendet und zeigte, dass die Varianz und die Autokorrelation der täglichen Milchleistung so-

wie der Abweichung zwischen beobachteter und erwarteter täglicher Milchleistung erblich sind. Während die Varianz die Schwankung der Leistung abbildet, indiziert die Autokorrelation die Dauer der Erholungsphase, sprich wie lange das Nutztier benötigt, um wie in der eingangs gegebener Definition der Resilienz sein Gleichgewicht wiederhergestellt zu haben. Diese Resilienzindikatoren können sowohl auf Basis von Leistungs- (bspw. tägliche Milchmenge) als auch anderen Merkmalen (bspw. Aktivitätsdaten) abgeleitet werden. Es empfiehlt sich die Kombination verschiedener Resilienzindikatoren, die aus Leistungsdaten berechnet werden, in einem Selektionsindex Resilienz zu kombinieren. Erste Auswertungen zeigen sehr schön, dass die Selektion nach einem neuen Selektionsindex Resilienz zu Nutztieren führt, die sowohl leistungsstabil als auch gesund sind. Ergänzend zum Gesamtzuchtwert kann damit der Nutztierbestand züchterisch optimal auf Herausforderungen wie Hitzeperioden, schwankende Futterqualitäten oder neue Krankheitserreger vorbereitet werden (Kessler et al., noch unveröffentlicht). Um die Erfassbarkeit und züchterische Bearbeitung eines doch recht abstrakten Merkmals wie Resilienz kontinuierlich weiterzuentwickeln, sind eine stetige Verbesserung der Datenerhebung, weitere Forschung sowie der enge Austausch mit den Züchterinnen und Züchtern notwendig.

Zucht auf Ökosystemleistung: Lokale Rassen und Sicherung genetischer Diversität

In Deutschland haben wir noch einen bunten Strauß an Rassen bei den einzelnen Nutztierkategorien. Jedoch dominieren jeweils nur wenige Hochleistungsrassen und diese verdrängen zunehmend kleinere Rassen, weil sie in den ES-Versorgungsleistungen oftmals überlegen sind. Dabei sind lokale Rassen oftmals gut an die örtlichen Gegebenheiten angepasst und tragen dort wesentlich zu Sicherstellung der ES aus allen Kategorien bei. Als Beispiel mag in Baden-Württemberg das

Wäldervieh dienen. Es ist in den Höhenlagen des Schwarzwalds beheimatet, welches eine Region ist, in der Hochleistungsrassen wie beispielsweise die Deutschen Holsteins die Anforderungen des Nutztierhalters nicht erfüllen können. Ein Ansatzpunkt wäre, die ES-Leistungen der lokalen Rassen in den Kategorien Regulierungsleistungen (z.B. Landschafts- und Bodenerhaltung durch Beweidung) und Kulturelle Leistungen (z.B. Natur- und Kulturerbe), die von den Hochleistungsrassen in den Regionen nur eingeschränkt geleistet werden können, stärker zu bewerten. Dadurch könnte der Wettbewerbsnachteil der kleinen Rassen in den ES Versorgungsleistungen mit Produkten Milch und Fleisch ausgeglichen werden. Dies bedarf einer Bestandsaufnahme und monetären Bewertung der ES-Leistungen lokaler Rassen insbesondere in den genannten Kategorien, worauf wiederum eine langfristige finanzielle Honorierung folgen müsste.

Die genetische Diversität landwirtschaftlich genutzter Spezies ist innerhalb und zwischen Rassen zu finden. Sie ist nicht konstant, sondern durch z. T. begrenzte effektive Populationsgrößen und das Aussterben von Rassen bedroht. Die Notwendigkeit der Erhaltung der genetischen Diversität ist aus unterschiedlichen Gründen weitgehend akzeptiert und dies gilt auch zur langfristigen Sicherstellung der entsprechenden ES, die vom oder durch das Nutztier erbracht werden. Die innerhalb-Rassen Diversität ist das Substrat jeder züchterischen Aktivität und das Monitoring ist dementsprechend in jedem guten Zuchtprogramm fest etabliert. Dabei wird eine effektive Populationsgröße von 100 angestrebt (Meuwissen 2009), um den Inzuchtzuwachs mit dem Zuchtfortschritt auszubalancieren.

Die zwischen-Rassen Diversität kann auch durch gezielte Konservierungsmaßnahmen von bedrohten Rassen erhalten werden. Dabei kommt der Auswahl der Rassen für ein Erhaltungszuchtprogramm eine zentrale Bedeutung zu. In der Vergangenheit wurden oftmals die am meisten gefährdeten Rassen ausgewählt. Dies ist jedoch ineffizient, da es dadurch

zu Doppelungen in der konservierten Diversität kommen kann. Stattdessen sollten die Rassen ausgewählt werden, die einen signifikanten Beitrag zur gesamten genetischen Diversität leisten. Dies kann mit genomischen Methoden plausibel quantifiziert werden.

Schlussfolgerungen

Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung ist von zentraler Bedeutung bei der Sicherstellung der Ökosystemleistungen in allen drei Kategorien Versorgungsleistungen, Regulierungsleistungen und Kulturelle Leistungen. Sie nutzen ihrerseits ES Leistungen und stellen ES Leistungen für den Menschen zur Verfügung. Es wird argumentiert, dass eine Zucht auf neue ES Merkmale nicht zielführend ist, da die Zuchtziel der Nutztierpopulationen in der Vergangenheit bereits deutlich diversifiziert wurden und auch relevante ES Merkmale mit beinhalten. Weitere ES Merkmale, insbesondere aus den Kategorien Regulierungsleistungen und Kulturelle Leistungen sind schwer zu definieren, zu erfassen und monetär zu bewerten. Stattdessen wird vorgeschlagen, die Populationen deutlich resilienter zu machen, damit sie mit exogenen Störungen im System besser zurechtkommen. Züchterische Ansätze zur Steigerung der Resilienz wurden beschrieben. Die Genomik ist dabei von zentraler Bedeutung. Die Erhaltung von lokalen und zahlenmäßig kleinen Rassen ist dann angebracht, wenn diese zu den ES beitragen. Insbesondere in den ES Kategorien Regulierungsleistungen und Kulturelle Leistungen sind sie den Hochleistungsrassen oftmals überlegen. Eine monetäre Bewertung dieser beiden Kategorien und dann die Entlohnung der ES Leistungen der lokalen Rassen ist von zentraler Bedeutung bei der Erhaltung dieser Rassen und Sicherstellung der entsprechenden ES Leistung. Hier besteht Handlungsbedarf. Eine langfristige Konservierung der genetischen Diversität, die sowohl innerhalb als auch zwischen den Rassen zu finden ist, ist notwendig, um langfristig züchterisch agieren zu können. ■

Literaturverzeichnis

- Bennewitz, J.; Simianer, H.; Meuwissen, T. H. E. (2008): Investigations on merging breeds in genetic conservation schemes. In: *J. Dairy Sci.* 91 (6), S. 2512–2519. DOI: 10.3168/jds.2007-0924.
- Bennewitz, J.; Tetens, J.; Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V. (GfT) (2019): Stellungnahme der Gesellschaft für Tierzuchtwissenschaften e.V. (GfT) Nutztierhaltung im Umbruch: Kernpunkte und Perspektiven der Tierzuchtwissenschaften. In: *Züchtungskunde* 91 (1), S. 5–8. ISSN 0044-5401
- Colditz, I. G.; Hine, B. C. (2016): Resilience in farm animals: biology, management, breeding and implications for animal welfare. In: *Anim. Prod. Sci.* 56 (12), S. 1961. DOI: 10.1071/an15297.
- Hall, S. J. G. (2019): Livestock biodiversity as interface between people, landscapes and nature. In: *People and Nature* 1 (3), S. 284–290. DOI: 10.1002/pan3.23.
- Keßler, F.; Wellmann, R.; Chagunda, M. G. G.; Bennewitz, J. (2024): Resilience Indicator Traits in three Dairy Cattle breeds in Baden-Württemberg. In: *J. Dairy Sci.* DOI: 10.3168/jds.2023-24305.
- Leroy, G.; Baumung, R.; Boettcher, P.; Besbes, B.; From, T.; Hoffmann, I. (2018): Animal genetic resources diversity and ecosystem services. In: *Global Food Security* 17, S. 84–91. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.04.003.
- Martin-Collado, D.; Boettcher, P.; Bernués, A. (2019): Opinion paper: livestock agroecosystems provide ecosystem services but not their components - the case of species and breeds. In: *animal* 13 (10), S. 2111–2113. DOI: 10.1017/S1751731119001277.
- Meuwissen, T. (2009): Genetic management of small populations: A review. In: *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science* 59 (2), S. 71–79. DOI: 10.1080/09064700903118148.
- Reents, R.; Hüneke, L.; Schmidtman, C.; Rensing, S.; Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V. (vit) (2024): Zucht verbessert Gesundheit und Funktionalität beim Milchrind. In: *Züchtungskunde* 94 (1), S. 27–33. DOI: ISSN.
- Schneider, H.; Krizanac, A.; Falker-Gieske, C.; Heise, J.; Tetens, J.; Thaller, G.; Bennewitz, J. (2024): Genomic dissection of the correlation between milk yield and various health traits using functional and evolutionary information about imputed sequence variants of 34,497 German Holstein cows. In: *BMC Genomics* 25 (1), S. 265. DOI: 10.1186/s12864-024-10115-6.
- Schneider, H.; Segelke, D.; Tetens, J.; Thaller, G.; Bennewitz, J. (2023): A genomic assessment of the correlation between milk production traits and claw and udder health traits in Holstein dairy cattle. In: *J. Dairy Sci.* 106 (2), S. 1190–1205. DOI: 10.3168/jds.2022-22312.

Landwirtschaftliche Nutztierhaltung aus Verbrauchersicht – welche Rolle spielen Ökosystemleistungen?

JUTTA ROOSEN

*Lehrstuhl für Marketing und Konsumforschung
Technische Universität München*

Einleitung

Die landwirtschaftlichen Proteste im Jahr 2024 deuten auf eine tiefe Unzufriedenheit der Personen in der Landwirtschaft hin. Gleichzeitig sieht sich die Landwirtschaft mit hohen Erwartungen aus der Bevölkerung konfrontiert. Der gesellschaftliche Beitrag der Landwirtschaft misst sich nicht nur an ihrem Wirtschaftsfaktor. Auch ihre Ökosystemleistungen, ihr Beitrag zum wirtschaftlichen und sozialen Zusammenhalt des ländlichen Raumes und zur Sicherung der Lebensmittelversorgung sind wichtige Ausgangspunkte für die Agrarpolitik.

Global betrachtet erfolgt die landwirtschaftliche Nutztierhaltung in sehr unterschiedlichen Systemen, die auf unterschiedlichste Weise mit verschiedenen Ökosystemen verbunden sind. Nach Robinson et al. (2011) und Ryschawy (2019) lassen sich diese durch systembeschreibende Eigenschaften charakterisieren. Zu diesen Eigenschaften gehört der Grad der Ortsgebundenheit und die Markt- oder Subsistenzorientierung, die Bodengebundenheit der Futtermittelherstellung und -beschaffung inkl. der Frage der Bewässerung sowie die kleinbäuerliche oder industrielle Struktur. So dominiert bei

der Schweine- und Hühnerhaltung in Europa die industrielle Nutztierhaltung, während in der Rinderhaltung und bei anderen Wiederkäuern gemischte und weidebasierte Systeme vorherrschen (Parlasca und Qaim, 2022).

Die Ausprägungen der Ökosystemleistungen sind stark abhängig von der Form der Nutztierhaltung. So zum Beispiel, ob diese flächengebunden und mit Zugang zu einem jeweiligen Ökosystem erfolgt, wie Nährstoffe in das System gelangen und welche kulturelle Einbindung die Nutztierhaltung in die lokale Gesellschaft erfährt. Leroy et al. (2018) unterscheidet bei den Ökosystemleistungen der Nutztierhaltung weltweit zwischen Versorgungsleistungen, Regulationsleistungen und kulturellen Leistungen. Zu den Versorgungsleistungen gehören die Schaffung und der Erhalt des natürlichen Habitats, die Nährstoffverwertung sowie die Unterstützung der Primärproduktion. Als regulierende Ökosystemleistungen werden die Regulierung von Pflanzenrückständen und Wild- und Unkräutern, von Klima und Luftqualität, der Schutz vor Erosion und Erdbeben/Lawinen, vor Verbuschung und Bränden, die Regulierung von Schädlingen und Krankheiten, des Wasserkreislaufs und die Samenausbrei-

tung genannt. Zuletzt gelten als kulturelle Ökosystemleistungen das kulturelle, historische und natürliche Erbe, die Rolle von Wissenssystemen und Bildung, Landschaftswerte, Erholungswerte sowie spirituelle und religiöse Werte, die mit Systemen der Nutztierhaltung verbunden sind.

Um die Rolle der Ökosystemleistungen in der öffentlichen Wahrnehmung der Landwirtschaft zu verstehen, wurden im Herbst 2020, im Sommer 2022 und im Herbst 2023 Befragungen mit jeweils ca. 1000 bayerischen Bürgerinnen und Bürgern durchgeführt. Das Befragungsformat wurde an die Studie von information.agrar.medien e.V. zur Messung des Images der deutschen Landwirtschaft angelehnt.

Ziel der Befragungen war es, das Image der bayerischen Landwirtschaft zu erfassen und somit Ansatzpunkte für die Kommunikation aufzudecken. Um eine zielgruppenorientierte Kommunikation insbesondere in den sozialen Medien zu ermöglichen, wurden die Befragungen in 2020 und 2022 in repräsentativen Stichproben der bayerischen Social Media Nutzer durchgeführt. Zeitgleich wurden in 2020 verschiedene Aspekte der Verbundenheit mit der Landwirtschaft und Informationsbedürfnisse erfasst.

Daten und Methode

Ein Image beschreibt „das mentale Bild, das eine Person von einem Bezugsobjekt hat. Dazu gehört alles, was eine Person über das Objekt weiß, dazu glaubt, sich darunter vorstellt und damit verbindet“ (Schenk und Döbler, 2006, S. 781, nach Simone Helmle, Images der Landwirtschaft, Margraf Publishers, 2011). Aufgrund geringer persönlicher Erfahrungen wird die Verbrauchersicht auf die Nutztierhaltung im Allgemeinen und auf die Ökosystemleistungen im Speziellen durch ein allgemeines Image und die verschiedenen Assoziationen aus dem Lebensumfeld und den Medien geprägt, und nicht durch detailliertes Wissen.

Um die Verbrauchersicht auf die Landwirtschaft und die Ökosystemleistungen der Nutztierhaltung zu erfassen, lehnt sich die vorliegende Studie an die Vorgehensweise der durch die information.agrar.medien e.V. wiederholt stattfindenden Studien zum Image der deutschen Landwirtschaft an. Diese Studie wurde wiederholt von Kantar Emnid durchgeführt, zuletzt durch pollytix (information.agrar.medien, 2022). Das Image wurde in Form der Wahrnehmung (Ist) und der Erwartungen (Soll) gemessen. Hierbei wird für unterschiedliche Aspekte wie z.B. die Beachtung des Gewässerschutzes gefragt, inwieweit die Befragten zustimmen, dass die bayerischen Landwirte den Gewässerschutz beachten (Ist), bzw. wie wichtig es ihnen ist, dass sie dies tun (Soll). Diese Ist- und Soll-Werte wurden in den verschiedenen Jahren für bis zu 18 Aspekte gemessen, von denen 14 in allen drei Wellen erhoben wurden. Diese Aspekte lassen sich den folgenden Bereichen zuordnen: (a) Sozio-Ökonomie mit den Bereichen der Ernährungssicherung (Sicherung der Lebensmittelversorgung auch in Krisenzeiten, Produktion preiswerter Lebensmittel, Produktion von qualitativ hochwertigen Lebensmitteln, Versorgung von Verbraucherinnen und Verbrauchern mit landwirtschaftlichen Produkten aus der Region), der wirtschaftlichen und politischen Situation der Landwirtschaft (fairer Anteil am Erlös des verkauften Endproduktes, ausreichende Unterstützung durch die bayerische Regierung) sowie der sozialen Situation im ländlichen Raum (Beitrag zum sozialem Leben auf dem Land, Sicherung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum); (b) Produktionsfaktoren (Verzicht auf Pestizide, Verzicht auf Gentechnik, verantwortungsvoller Umgang mit Tieren); (c) Ökosystemleistungen (Beitrag zur Kreislaufwirtschaft durch die Verbindung von Tierhaltung und Ackerbau, Produktion ohne Raubbau an Boden, Wasser und Luft, Pflege und Erhalt der Landschaft, Beachtung der Biodiversität, Schutz der Oberflächengewässer durch die Pflege von Weideland, Beachtung des Grundwasserschutzes, klimafreundliches Arbeiten).

Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den drei Befragungswellen sind in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wird zu jeder Ist- und Soll-Aussage der Anteil der Befragten, die der jeweiligen Aussage auf einer 5er-Skala (voll und ganz) zustimmen, in Prozent angegeben.

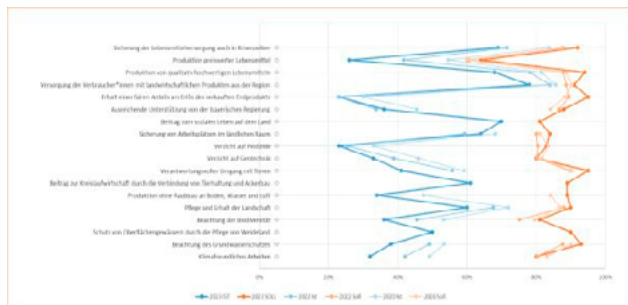


Abbildung 1: Wahrnehmung (Ist – Blau) und Erwartung (Soll – Orange) an die bayerische Landwirtschaft. Angegeben ist der Anteil der Befragten in Prozent die einer Aussage (voll und ganz) zustimmen.

Im Bereich der Ernährungssicherung ergibt sich für das Image der Landwirtschaft ein positives Bild. Etwa 90% der Befragten stimmen (voll und ganz) zu, dass die Landwirtschaft hier einen Beitrag leisten soll. Diesen Anspruch sehen etwa 80% der Befragten erfüllt. Die Erwartung, dass die bayerische Landwirtschaft zur Sicherung der Lebensmittelversorgung auch in Krisenzeiten beiträgt, hat sich von 2022 auf 2023 um vier Prozentpunkte auf 92% erhöht. Dabei ist den Befragten die Produktion qualitativ hochwertiger Lebensmittel (sehr) wichtig (88%–94%).

Daneben zeigt sich, dass nach Einschätzung der Befragten die wirtschaftliche Situation der Landwirte schwierig ist. Nur etwa 25% stimmen zu, dass die Landwirte einen fairen Anteil am Erlös des verkauften Endprodukts erhalten. Auch finden nur ca. 35%, dass die Landwirte von der bayerischen

Regierung eine ausreichende Unterstützung erhalten. Dabei stimmen etwa 90% der Befragten den Aussagen zu, dass faire Preise und eine ausreichende politische Unterstützung wünschenswert sind.

Mehr als 80% der Befragten finden den Beitrag der Landwirtschaft zu den Ökosystemleistungen wichtig oder sehr wichtig (Soll). Jedoch sehen nur etwa 40% diesen Anspruch erfüllt (Ist). Etwas positiver fällt das Bild in Bezug auf die Pflege und den Erhalt der Landschaft aus. Ca. 90% der Befragten erwarten, dass die Landwirtschaft hier einen Beitrag leistet und je nach Befragungsjahr sehen 60–70% diesen Anspruch erfüllt.

In der Befragungswelle 2020 wurden unterschiedliche Faktoren untersucht, die einen Einfluss auf das Image der Landwirtschaft nehmen können. Aus dieser Befragungswelle geht heraus, dass die Wahrnehmung der Ökosystemleistungen sich danach unterscheidet, ob die befragte Person in den letzten zwei Jahren einen landwirtschaftlichen Betrieb besucht hat. Diese Form der Verbindung zur Landwirtschaft ist wichtig, wohingegen die Wohnlage in der Stadt oder auf dem Land zu keinem Unterschied führt. Ebenfalls wurde in 2020 die saliente Wertgleichheit zu Landwirten in der Bio- und der konventionellen Landwirtschaft gemessen. Diese gilt nach Ergebnissen von Siegrist et al. (2002) als wichtige Determinante von sozialem Vertrauen. Soziales Vertrauen wird vor allem in Situationen hoher Komplexität relevant.

Die in 2020 befragten Personen empfinden eine höhere saliente Wertgleichheit zu Landwirten in der Biolandwirtschaft (4,2 auf einer Skala von 1–7) im Vergleich zu Landwirten in der konventionellen Landwirtschaft (3,6). Jedoch zeigen die Ergebnisse nur geringe Unterschiede im Image der Landwirtschaft in Abhängigkeit der salienten Wertgleichheit zu Landwirten in der Bio- oder der konventionellen Landwirtschaft. In Bezug auf das Informationsbedürfnis zu den Themen Tierhaltung in der Landwirtschaft, dem Einfluss der

Landwirtschaft auf die Umwelt und dem Einfluss der Landwirtschaft auf das Klima wünschen sich mit 56%, 40% und 35% der Personen, die eine saliente Wertgleichheit mit Landwirten aus der Bio-Landwirtschaft haben, mehr Information. Dies deutet auf ein hohes Involvement dieser Befragten mit landwirtschaftlichen Themen hin. Jedoch sind auch bei einem signifikanten Anteil von 41%, 27% und 28% der Personen, die eine saliente Wertgleichheit mit Landwirten aus der konventionellen Landwirtschaft haben, diese Informationsbedürfnisse ausgeprägt.

Fazit

Die Nutztierhaltung ist mit unterschiedlichen Ökosystemleistungen verbunden, die eine versorgungsorientierte, regulierende oder kulturelle Ausprägung annehmen können. Jedoch haben Verbraucherinnen und Verbraucher nur eine eingeschränkte Sicht auf die Interdependenzen zwischen den vorliegenden Tierhaltungssystemen und den mit ihnen verbundenen Ökosystemen. Aufgrund des fehlenden Detailwissens kommt es häufig zu einer pauschalisierenden Beurteilung von Zielkonflikten in landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Häufig ist das Gesamtbild von allgemeinen Eindrücken von „gut“ und „schlecht“ geprägt, sodass verschiedene Ökosystemleistungen nur eingeschränkt differenziert beurteilt werden können.

Im vorliegenden Beitrag wurde das Image in den Dimensionen der Wahrnehmung der Landwirtschaft durch die Bevölkerung und deren Erwartungshaltung an diese gemessen. Es ergibt sich ein positives Image im Bereich der Ernährungssicherung. Mehr als 80% der Befragten finden den Beitrag der Landwirtschaft zu den Ökosystemleistungen wichtig oder sehr wichtig, jedoch sehen etwa nur 40% diesen Anspruch in Bezug auf Ressourcenschutz (Boden, Wasser, Luft), Beachtung der Biodiversität und klimafreundliches Arbeiten erfüllt. Das Bild zeigt sich etwas positiver in Bezug auf die

Pflege und den Erhalt der Landschaft, die Kreislaufwirtschaft durch Verbindung von Tierhaltung und Ackerbau und den Schutz der Oberflächengewässer durch die Pflege von Weideland. Somit zeigen die Ergebnisse, dass die Verbraucherwahrnehmung des Ist-Zustands bzgl. der Ökosystemleistungen im Vergleich zum Sollzustand ein Defizit aufweist.

Eine Analyse der Bestimmungsgründe zeigt, dass die Entfremdung der Allgemeinbevölkerung von der landwirtschaftlichen Produktion ein Hemmnis zur Vermittlung der Ökosystemleistungen der Landwirtschaft darstellt. Eine Nähe zur Landwirtschaft, gemessen in Besuchen von landwirtschaftlichen Betrieben in der jüngeren Vergangenheit, wirkt sich auf eine positivere Ist-Wahrnehmung der Ökosystemleistungen aus. Dieser Unterschied in der Wahrnehmung der Landwirtschaft lässt sich durch eine Differenzierung von Stadt- und Landbevölkerung nicht ausmachen. Auch die Wertgleichheit mit Landwirten in der Bio- und in der konventionellen Landwirtschaft hat nur einen leichten Einfluss auf das Image. Jedoch zeigen sich Unterschiede in den Informationsbedürfnissen, an denen sich mögliche Kommunikationsmaßnahmen ausrichten lassen. ■

Literaturverzeichnis

- Helmle, S. (2011). *Images der Landwirtschaft*. Weikersheim: Malgraf Publishers.
- Information.Medien.Agrar e.V. (2022). *Das Image der Deutschen Landwirtschaft. Eine Studie im Auftrag der information medien agrar e.V.* Verfügbar unter <https://www.ima-agrar.de/wissen/image-der-landwirtschaft>
- Leroy, G., Hoffmann, I., From, T., Hiemstra, S. J., and Gandini, G. (2018). Perception of livestock ecosystem services in grazing areas. *Animal* 12: 2627–2638.
- Parlasca, M. C., and Qaim, M. (2022). Meat Consumption and Sustainability. *Annual Reviews of Resource Economics* 14: 17–41.

- Robinson, T.P., Thornton P.K., Franceschini, G., Kruska, R.L., Chiozza, F., Notenbaert, A., Cecchi, G., Herrero, M., Epprecht, M., Fritz, S., You, L., Conchedda, G. and See, L. 2011. Global livestock production systems. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Livestock Research Institute (ILRI), 152 pp.
- Ryschawy, J., Dumont, B., Therond, O., Donnars, C., Hendrickson, J., Benoit, M., and Duru, M. (2019). Review: An integrated graphical tool for analysing impacts and services provided by livestock farming. *Animal* 13: 1760–1772.
- Schenk, M. und T. Döbler (2006). Marktforschung – Reichweite, Zielgruppe und Image. In: Scholz, C. (Hrsg.): *Handbuch Medienmanagement*. Berlin: Springer. S. 761–787.
- Siegrist, M., Cvetkovich, G. T., and Roth, C. (2000). Salient Value Similarity, Social Trust, and Risk/Benefit Perception. *Risk Analysis* 20: 353–362.

Die ethische Dimension der Nutztierhaltung zwischen kultureller Bedeutung, Tierwohl und weiterentwickelter Verantwortung für die Ökosysteme

PETER KUNZMANN

Was soll hier „Ethik“ heißen?

Auf diese Frage sind viele, viele verschiedene Antworten denkbar. Einen Überblick über die grundsätzlichen Ansätze und Begründungsmuster und über das mögliche Selbstverständnis von Ethik, das ja auch seine eigene Geschichte mit sich bringt, bieten beispielsweise Düwell et al. (Düwell et al. 2011). Ich würde für den Kontext vorschlagen, in der Ethik eine Art praktische Werttheorie zu sehen: Praktisch, weil es hier um Werte geht, die von Menschen realisiert werden - oder auch nicht. „Werttheorie“ insofern, als Handlungen Werte erzeugen oder bewahren oder auch mindern und zerstören können: Werte wie Gerechtigkeit und Freiheit, aber auch materielle Werte wie Eigentum oder Nahrung, ökologische Werte wie Vielfalt und Stabilität usw. Ökosystemleistungen lassen sich philosophisch sehr schön als Erfassung von Werten unterschiedlicher Qualität verstehen. Ein Überblick über das Programm der Tagung zeigt deutlich, wie oft es auch darum geht, „Werte“ unterschiedlicher Qualität (ökonomische, soziale, ökologische etc.) auszubalancieren und gegebenenfalls begründete Vorzugsentscheidungen zwischen verschiedenen Werten zu treffen. Ziel ist es dabei, mög-

lichst viele Werte zu realisieren oder zu bewahren, und im Konfliktfall die wichtigen bzw. wichtigeren herauszufinden und ihnen auch im Handeln Priorität einzuräumen.

Die Frage, welche Rolle die Nutzung von Tieren zur Lebensmittelerzeugung in diesem Kontext spielt, betrifft ersichtlich mehrere, sehr verschiedene Dimensionen, wie aus dem Titel dieses Beitrags hervorgeht: Nahrung und Essen haben einen elementaren, vitalen Rang unter unseren Gütern, sie haben aber auch eine kulturelle Bedeutung (Trummer 2016). Wie hoch wir „Tierwohl“ (hier und im Weiteren verstanden als deutsche Version von animal welfare) veranschlagen, hängt wesentlich davon ab, wie wir den Rang von Tieren veranschlagen (vgl. Bode 2018, bes. 17–27) und woran wir ihn festmachen. Moralisch stehen solche „Werte“ hierin in vielen wechselvollen Beziehungen zueinander, manche kohärent und sich gegenseitig befördernd, andere antagonistisch, manche widersprüchlich.

Die Dimension von Nachhaltigkeit und die Tiere

In der Diskussion um den Beitrag von Tierhaltung zu verschiedenen Werten und Werthorizonten haben sich in den

letzten zwei Jahrzehnten außerordentlich viele Positionen herausgestellt. Hier will ich an einem Punkt ansetzen, der für die fachphilosophische Diskussion, aber auch für den Kurs der politischen Debatte leitend war und ist: Kann es noch darum gehen, eine tierhaltende Landwirtschaft so emissionsarm und ressourcenschonend umzugestalten, dass sie überhaupt weiterwirtschaften kann? Das Erfordernis von Nachhaltigkeit hat sich in den letzten Jahren scharf und auch gesellschaftlich sichtbar fokussiert auf das Thema Klimaschutz. Es wird von mehreren Seiten angezweifelt, dass eine Fortführung der Nutzung von Tieren zu Nahrungsmittelgewinnung überhaupt verträglich ist mit den Erfordernissen einer ökologischen Stabilisierung im Nachhaltigkeitskontext. Die Alternative wäre eine Landwirtschaft, die ganz auf die Nutzung von Tieren verzichten will. Entsprechend hat eine Konferenz in Kassel 2022 das Motto gewählt: Verzehrswende jetzt – weg mit dir, du KlimaTier? (vgl. Projektgruppe „Verzehrswende Jetzt“ 2023).

Dafür wiederum kommen ganz andere Begründungsmuster ins Spiel, solche, die zentral auf das Mensch-Tier-Verhältnis abzielen, also ihren Ausgangspunkt nehmen an ganz anderen moralischen Fragen. Schlüsselkategorien hier sind in diesem neueren Diskurs Gerechtigkeit und die Rechte von Tieren.

Es ist von großer Wichtigkeit zu sehen, dass im politischen, aber auch im politikwissenschaftlichen und im sozialwissenschaftlichen Diskurs und in der medialen Erfassung mit dem Thema an dieser Stelle zwei wichtige gedankliche Strömungen zusammenfließen, die vor allem für jüngere Menschen in den entsprechenden Milieus hervorragend zusammengehen, obwohl sie in sich zunächst einmal nicht viel miteinander zu tun haben.

Sie werden aber miteinander verbunden, auch in den fachwissenschaftlichen Beiträgen in der Ethik. Als Musterbeispiel dafür sei verwiesen auf die mehrfach preisgekrönte Dis-

sertation von Leonie Bossert unter dem programmatischen Titel: „Gemeinsame Zukunft für Mensch und Tier. Tiere in der Nachhaltigen Entwicklung“ (Bossert 2022). Sie verknüpft, beinahe möchte man sagen mustergültig, einschlägige Argumentationsmuster aus der Tierethik mit bestimmten Vorstellungen von Nachhaltigkeit, von starker Nachhaltigkeit, wie sie besonders bei Konrad Ott vertreten werden. Im Ergebnis erscheint für Bossert eine Tierhaltung, die auch eine Nutzung von Tieren bedeutet, nicht mehr denkbar.

Das ist nicht für alle Positionen moderner Tierethik ein zwingendes Ergebnis. Allerdings hat Johann Ach schon vor zehn Jahren zu Recht festgehalten: „Eine Reihe von tierethischen Positionen, darunter u.a. auch die prominentesten Positionen der ‚modernen‘ Tierethik, bestreiten allerdings, dass sich ein Vorrang menschlicher Interessen, der eine Nutzung und den Verbrauch von Tieren rechtfertigen könnte, begründen lässt, oder stellen grundsätzlich in Frage, dass eine Güterabwägung zwischen tierlichen und menschlichen Interessen möglich bzw. zulässig ist. Auch wenn solche Ansätze von vielen als ‚extrem‘ wahrgenommen werden dürften, stellen sie den nicht ausblendbaren Horizont der tierethischen Diskussion dar und sollten als Herausforderung begriffen werden“ (Ach 2013, 3).

Beide Teilaussagen sind zutreffend: Die meisten der heute im Fachdiskurs verhandelten die ethischen Positionen dulden keine Heraushebung und Bevorzugung menschlicher Interessen, nur weil es die Interessen von Menschen sind. Dies wird als „Speziesismus“ abgelehnt. Tiere einzusperrern oder gar sie zu töten, damit wir zu essen haben (oder etwas besonders Gutes zu essen haben), ist unter diesen Prämissen nicht zu rechtfertigen; darüber hinaus bekräftigen andere Positionen noch deutlicher die prinzipielle Gleichheit von Menschen und „nichtmenschlichen Tieren“, wie es dann heißt.

Solche Positionen sind derzeit sicher nicht Commonsense; gewiss nicht überall. Aber in Teilen der Gesellschaft. Für

manche Teile der Gesellschaft nämlich scheint derzeit ein Ende der Tierhaltung zwei Probleme zugleich lösen zu können: Das Tierschutzproblem und das Nachhaltigkeitsproblem, das auch sozialethisch neue Weite gewonnen hat. „Weg mit Dir, Du Klimatier!“ befreite uns von allen Fragen, ob wir den Tieren gerecht werden, denn es befreit uns von unserer Verantwortung gegenüber Tieren, weil wir keine Verantwortung mehr übernehmen müssten. Und es würde den Kampf gegen die Erderwärmung in einem zentralen Punkt erleichtern. So die Vorstellung.

Diskrepanzen zwischen Tierethik und Ökoethik

So leicht wird es nicht gehen. Die beiden Themen entstammen verschiedenen Perspektiven und sie gehen bei näherer Betrachtung sehr verschiedene Verbindungen ein. Manche sind durchaus kohärent, manche sind aber auch indifferent oder antagonistisch.

Dies sei unter folgenden Gesichtspunkten ausgeführt:

1) Die öko-sozialen Folgelasten der Tierhaltung korrelieren unlösbar mit der Zahl der gehaltenen Tiere, dagegen ist der Kernpunkt einer ‚tiergerechten‘ Haltung nicht und nicht direkt damit verbunden. Auch wenn es so aussieht und gerne damit verbunden wird (vgl. Kunzmann 2012, 216). Das Schlüsselwort hier ist die „Massentierhaltung“. Die „Massentierhaltung“ folgt dieser Gesellschaft wie ein Schatten. Einen, wie es aussieht, weitgehend ungehemmten Konsum tierlicher Produkte begleitet eine tiefe Skepsis gegen die Formen, in denen diese Produkte erzeugt werden. Dass Tiere, die in großen Beständen gehalten werden, unter Welfare-Gesichtspunkten tatsächlich einen Nachteil haben, ist Credo gegen die Massentierhaltung, aber eben nicht eindeutig und schon gar nicht notwendig der Fall. Unbestreitbar ist dagegen, dass große Zahlen von Tieren

große Mengen von Stoff erfordern und wieder abgeben. Die ökologische Dimension hängt damit wesentlich von der Quantität der Tiere ab.

2) Höheres Tierwohl wäre prinzipiell mit mehr (auch finanziellem) Aufwand erreichbar. Der ökonomische Druck in der Produktion begrenzt die Möglichkeiten, etwas für das Einzeltier in der Haltung und sein Wohlbefinden zu tun. Mehr finanzielle Ressourcen böten die Möglichkeit, den Tieren mehr Raum, bessere Lüftung, mehr Beschäftigungsmaterial, intensivere tiermedizinische Betreuung etc. zu geben. Dahin gehen auch die immer neuen Anläufe, eine tiergerechtere Tierhaltung mit staatlichen Mitteln oder Label-Programm oder ähnlichen Maßnahmen zu verbessern. Die ökologischen Folgekosten dagegen sind nicht oder nicht ohne weiteres mit mehr Geld zu heilen. Der Flächenbedarf zur Nahrungserzeugung oder der Wasserverbrauch sind nur indirekt auch eine Kostenfrage.

3) Unter ethischer Perspektive im engen Sinn ergibt sich eine erhebliche Diskrepanz, nämlich hinsichtlich der Begründung bzw. der Motivation. Höheres Tierwohl zu realisieren bedeutet ethisch gesehen, eine prinzipiell altruistische, nicht eine egoistische Leistung zugunsten eines anderen Wesens zu erbringen. Sicher geht höheres Tierwohl auch oft gut zusammen mit höherer Leistung. Aber da, wo das Wohlbefinden des Tieres als Wert in sich gefördert werden soll, auch unter Minderung eigener Interessen (Einkommen, Effizienz, Marktchancen), stellt es ein im Kern altruistisches Motiv dar. Die ökologischen Folgekosten der Tierhaltung betreffen zentral dagegen uns selbst und unsere Nachkommen; und viele wissen das. Die ökologische Schlüsselfrage bewegt in Gestalt der Klimakrise alle oder zumindest sehr viel

mehr Menschen. Höheres Tierwohl ist im Vergleich dazu das Thema einer Minderheit von Bürgern und Verbrauchern (Kunzmann 2013) geblieben (wenn auch einer mächtigen).

Wichtig scheint mir an dieser Stelle der Hinweis, dass je nach der zu Grunde liegenden tierethischen Position verschiedene Koalitionen denkbar oder auch nicht denkbar sind, „dass es eine Rolle spielt welche Lebewesen zur moralischen Gemeinschaft gezählt werden und in welcher Hinsicht wir ihr körperliches Wohlergehen berücksichtigen sollen“ (Meisch 2014,129). Ob „Nachhaltige Entwicklung, Gesundheit und nachhaltiger Fleischkonsum“ (Meisch 2014) zusammengehen, hängt wesentlich davon ab, in welchem Maß eine künftige Gesellschaft die Nutzung von Tieren überhaupt, und insbesondere die zur Nahrungsmittelgewinnung, duldet oder zulässt. Auch wenn das ausdrücklich nicht meine Erwartung ist (s.u.). Ich will nur darauf hinweisen, dass auch hier die ethischen Positionen unterschiedliche Konsequenzen haben: die Forderung nach einer Reduktion der Tierhaltung zur Lebensmittelproduktion ist sehr gut und widerspruchsfrei skalierbar, sofern sie sich auf die Menge bezieht. Hier ist ein mehr oder weniger gut denkbar und begründbar. Haben wir es mit Blick auf das Tier selbst mit einer Ethik des Tierschutzes, der Tierrechte oder der Tierbefreiung zu tun (Bossert 2012)? Je nachdem werden ihre Ansprüche erfüllt durch eine bessere Erhaltung der Tiere (Tierschutz) oder auch nicht, weil sie die Tierrechte verletzt, was letztlich zu einer Position der Tierbefreiung führt: der Forderung der Tierhaltung generell ein Ende zu setzen, unter Umständen gegen den Widerstand der Bevölkerung oder erheblicher Teile von ihr.

Blick auf die Zukunft

Welche kulturelle Bedeutung nimmt dementsprechend die landwirtschaftliche Tierhaltung in der Zukunft ein? Ich halte

eine Prognose an dieser Stelle für außerordentlich schwierig und mehrere Szenarien für denkbar und plausibel.

Die Tierrechts-Positionen, die auf eine Abschaffung drängen (Abolitionismus) sind noch Randphänomene der Gesellschaft, aber dieser Rand hat sich in einer halben Generation enorm verbreitert. Zumindest in manchen Milieus wurden die Traditionen, die sich mit Tierhaltung und Tiernutzung verbinden, erstaunlich schnell getilgt. Noch 2011 konnte Jakob Hein mit „Wurst und Wahn“ eine dystopische Burleske auf die Abschaffung der Nutztierhaltung schreiben. In ihr sind die Fleischverzehrer eine kleine, verschämte Minderheit; Fleischkonsum wird so anrühlich behandelt wie in der Vergangenheit der Handel mit zweifelhaften Videos. Hein lässt seinen Fleischverkäufer sagen: „Der Anblick von toten Tieren darf Minderjährigen und Vegetariern nicht mehr zugemutet werden. Aber es traut sich doch ohnehin keiner mehr, so was zu kaufen ... Fleisch verkaufen wir praktisch nur noch als Tierfutter. Eigentlich schade drum.“ (Hein 2011, 10f.). Vielleicht bleibt es bei aber einer Spaltung in unserer Gesellschaft, die sich eher noch vertieft und radikalisiert: Zunehmend klar entschiedene Veganer (die wiederum aus sehr verschiedenen Motiven handeln können) stehen unbeirrten Konsumenten tierlicher Produkte gegenüber und kommen mehr oder weniger gut miteinander aus? Vielleicht bleibt es mehr oder weniger beim Alten: der Konsum tierlicher Produkte wird individuell und sozial ad libitum geregelt, und nur einige wenige pochen darauf, dass er unmoralisch sei aus Erwägungen gegenüber den Tieren gegenüber der Umwelt oder gegenüber beidem.

Die Praxis der Nutztierhaltung wird darauf Einfluss haben: Je größer und offensichtlicher, auch unter und gerade unter Tierschutzgesichtspunkten, die Defizite sind, desto leichter können sich die Tierrechtsorganisationen ihre „targets“ wählen. Je weniger und langsamer sich das Tierwohl in den Ställen verbessert, desto plausibler wird die grundsätz-

liche Ablehnung moderner oder „industrieller“ Tierhaltung auch für andere plausibel.

Selbst wenn es gelingt, Tierwohl und passablen ökologischen Fußabdruck zu verbinden und dabei noch realistisch zu wirtschaften, ist damit die soziale Akzeptanz noch nicht garantiert; umgekehrt wird Tierhaltung ohne moralische „license to operate“ in unserer Gesellschaft keinen dauerhaften Bestand haben. ■

Literatur:

Ach, J.: Tiere in der Lebensmittelproduktion. Münster 2013.

Bode, Ph.: Einführung in die Tierethik, Wien 2018

Bossert, L.: Gemeinsame Zukunft für Mensch und Tier. Tiere in der Nachhaltigen Entwicklung. Stuttgart 2022.

Bossert, L.: Tierethik. Die verschiedenen Positionen und ihre Auswirkungen auf die Mensch- nichtmenschliches Tier-Beziehung. In: Voget-Kleschin et al: nachhaltige Lebensstile. Marburg 2014, 112-130, 32-55.

Düwell, M. et al.: Ethik: Begriffe – Geschichte – Theorie – Applikation. In: Düwell, M. et al.: Handbuch Ethik. Stuttgart, 3. Aufl. 2011.

Hein, J. (2011): Wurst und Wahn, Berlin 2011.

Kunzmann, P. (2012): Tiere in Massen. Unsere Verantwortung für eine Tierhaltung der Zukunft. In: U. Meier (Hrsg.): Agrarethik – Landwirtschaft mit Zukunft. Braunschweig 2012, 211-228.

Kunzmann, P. (2019): Moderne Tierhaltung in einer modernen Gesellschaft? In: Locomer Pelikan 4/2019, 13-17.

Meisch, S.: Nachhaltige Entwicklung, Gesundheit und nachhaltiger Fleischkonsum. In: Voget-Kleschin et al: nachhaltige Lebensstile. Marburg 2014, 112-130.

Projektgruppe „Verzehrswende Jetzt!“ (Hrsg.): Verzehrswende jetzt - weg mit dir, du KlimaTier? Dokumentationsband der 29. Witzenhäuser Konferenz, Kassel 2023.

Trummer, M.: Die kulturelle Bedeutung des Fleischkonsums in Mitteleuropa – warum ist es so schwer, etwas zu ändern. In: Voget-Kleschin et al: nachhaltige Lebensstile. Marburg 2014, 316-328.

Landwirtschaftliche Nutztierhaltung heute und morgen – grundsätzliche Entwicklungen

WILHELM WINDISCH

Technische Universität München (TUM)

Einleitung

Der Klimawandel ist einer der wichtigsten Treiber für künftige Veränderungen in der Nutztierhaltung. So verursacht das globale Ernährungssystem von der landwirtschaftlichen Urproduktion bis zum Konsum etwa 30% der anthropogenen CO₂-Äquivalente (FAO 2023). Allein 12–16% der Gesamtemissionen stammen von der Nutztierhaltung, wobei etwa die Hälfte dem Methan (CH₄) aus dem Verdauungstrakt der Wiederkäuer und teilweise auch der Lagerung von Wirtschaftsdüngern zuzuschreiben ist. In Deutschland liegen die prozentualen Anteile der Nutztiere bzw. der Wiederkäuer an den nationalen CO₂-Äquivalenten etwa auf der Hälfte des globalen Niveaus (UBA 2024). Es besteht somit kein Zweifel, dass die Nutztierhaltung einen signifikanten Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen leisten muss. Gleichzeitig wächst der globale Bedarf an hochwertigem Nahrungsprotein in den kommenden Jahrzehnten um mindestens 20% und es ist fraglich, ob er über alternative Proteinquellen gedeckt werden kann (FAO 2023). Die Nutztierhaltung gerät somit in den Zielkonflikt zwischen Reduktion von Emissionen und Steigerung der Produktion.

Eine weitere Herausforderung erwächst aus der Verknappung der landwirtschaftlichen Nutzfläche aufgrund des globalen Bevölkerungswachstums bei gleichzeitigem Verlust an wertvollen Flächen durch Urbanisierung, Erosion und Desertifikation, was wiederum durch den Klimawandel beschleunigt wird. Gleichzeitig werden derzeit etwa 40% des weltweit verfügbaren Ackerlands zum gezielten Anbau von Futtermitteln genutzt (Mo et al. 2017). Diese Nahrungskonkurrenz zwischen Nutztieren und Menschen hat jedoch ihre Wurzeln in den großen Erfolgen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion ab der Mitte des letzten Jahrhunderts. Mechanisierung, Düngung, Pflanzenschutz, Pflanzenzüchtung usw. hatten damals die Produktivität derart gesteigert, dass beispielsweise Getreide in praktisch unbegrenzter Menge der Nutztierfütterung zur Verfügung stand. Daraus entwickelte sich die „Veredelungswirtschaft“, bei der qualitativ hochwertige, pflanzliche Ernteprodukte in noch hochwertigere Lebensmittel tierischer Herkunft transformiert werden. Dieses lineare Wirtschaftssystem wird bis heute betrieben. Es beruht hauptsächlich auf einer mengenmäßig unlimitierten Verfügbarkeit von Getreide, Mais, Soja, etc. und fördert Pro-

duktionssysteme mit hoher Effizienz bzw. Futtermittelverwertung, wie etwa die Schweinehaltung und insbesondere die Geflügelmast.

Das lineare System der Veredelungswirtschaft kommt jedoch von mehreren Seiten unter Druck. So beansprucht die wachsende Weltbevölkerung die auf der inzwischen knappen Ackerfläche erzeugten Ernteprodukte zunehmend für den eigenen Konsum. Darüber hinaus scheint der Fortschritt in der Produktivität der globalen pflanzlichen Erzeugung zum Stillstand gekommen zu sein, nicht zuletzt auch wegen des Klimawandels. Und schließlich muss die Nutztierhaltung einen Beitrag zur Reduzierung der Emissionen leisten. Insgesamt wird die zunehmende Limitierung an Ressourcen zur Erzeugung ausreichender Mengen an Nahrung für die Mensch en die Nutztierhaltung von der linearen Veredelungswirtschaft zunehmend in Richtung Kreislaufwirtschaft bewegen. Der nachfolgende Beitrag skizziert die grundlegenden Konzepte und Konsequenzen dieser künftigen Veränderungen.

Pflanzliche Biomasse ist eine limitierte Ressource für die Nahrungsproduktion

Nutzbare Biomasse stammt fast ausschließlich von Pflanzen, die Photosynthese betreiben. Diese Biomasse ernährt alle heterotrophen Organismen einschließlich des Menschen. Zwar könnte man Biomasse bzw. ihre Bausteine wie etwa Glukose und Aminosäuren auch chemisch synthetisieren, aber der Energieaufwand ist hoch und lohnt nur für spezielle Anwendungen wie etwa synthetisches Methionin, das als limitierende, essenzielle Aminosäure an Nutztiere verfüttert wird. Solche chemischen Produktionswege werden auch in Zukunft allenfalls Nischen bedienen, während der überwiegende Anteil der als Nahrung genutzten Biomasse weiterhin von Pflanzen stammen wird, die hauptsächlich in der Landwirtschaft angebaut werden.

Die Abhängigkeit der Menschheit von Pflanzen als Quelle von Biomasse hat Auswirkungen auf das Nutzungsmuster. So müssen Pflanzen(teile) stets in ihrer natürlichen Form geerntet werden, obwohl nur diejenigen Teile von Interesse sind, die hochspezifische, materielle Funktionalitäten liefern wie etwa menschliche Nahrung. Diese Teile müssen aus der insgesamt zugänglichen Biomasse erst mühevoll extrahiert werden, wobei unweigerlich große Mengen an ungenutzten Rückständen entstehen (siehe nächstes Kapitel). Die für den primären Zweck ungeeignete Biomasse könnte nun in ein sekundäres Transformationssystem eingeschleust werden (z.B. Nutztiere), um sie wieder in nutzbare Biomasse zu überführen (z.B. Lebensmittel tierischer Herkunft). Entscheidend bei der sekundären Transformation ist der Umstand, dass die Natur der Biomasse im Sinne einer hochspezifischen, materiellen Funktionalität erhalten bleibt, auch wenn der Transformationsprozess unvollständig ist und wiederum Reststoffe hinterlässt (z.B. Wirtschaftsdünger). Der Nutzungsgrad der ursprünglichen Biomasse wird dadurch jedoch signifikant verbessert (z.B. mehr Nahrung aus derselben primären Ressource).

Die energetische Nutzung von Biomasse löst deren materielle Funktionalität irreversibel auf. Die dabei freigesetzte Energie ist sehr gering, denn der allergrößte Anteil der über die Photosynthese eingefangenen Lichtenergie wird bereits im Vorfeld für Wachstum und Bestandserhaltung der Pflanzen verbraucht. So verbleibt in der geernteten Biomasse einen Brennwert von allenfalls 1–3% der Energie des über den gesamten Vegetationszyklus eingestrahltten Sonnenlichts. Andererseits hinterlässt jede Nutzung von Biomasse als Nahrung, Futtermittel, etc. beträchtliche Mengen an Rückständen, die für weitere Transformationen ungeeignet sind. Diese Rückstände enthalten immer noch einen Brennwert, der als finaler Schritt der Biomassenutzung verwertet werden kann.

Insgesamt limitiert die Verknappung der landwirtschaftlichen Nutzfläche zunehmend die Verfügbarkeit an pflanzlicher Biomasse und erhöht dadurch ihre Bedeutung als Nahrungsquelle für den Menschen, und zwar sowohl direkt als auch indirekt über sekundäre Transformationsprozesse.

Aus diesem Grunde wird es künftig immer wichtiger, die begrenzt verfügbare Biomasse entlang einer Kaskade zu nutzen, die den Gesamtertrag an Nahrung für den Menschen maximiert. Diese Kaskade kann wie folgt zusammengefasst werden:

Teller → Trog → Tank

Das primäre Ziel der künftigen Landwirtschaft und der nachgelagerten Verarbeitung geernteter Pflanzenmaterialien ist die direkte Erzeugung von pflanzenbasierter Nahrung für den Menschen (Teller). Die dabei unvermeidlich anfallende, nicht -essbare Biomasse sollte an Nutztiere als sekundäre Transformatoren zur Gewinnung weiterer Lebensmittel verfüttert werden (Trog). Den Abschluss der Nutzung von Biomasse stellt die Energiegewinnung (Tank) dar. Sie ist auf solche Biomassen begrenzt, die zur Gewinnung von Nahrung nicht mehr geeignet sind.

Der überwiegende Anteil der pflanzlichen Biomasse ist nicht essbar

Landwirtschaftliche Biomasse muss stets aufbereitet werden. Dieser Prozess beginnt bereits auf dem Acker und trennt die gehandhabte Biomasse in Ernteprodukte und Koppelprodukte. Wie in Tabelle 1 dargestellt, machen diese Koppelprodukte bei fast allen Pflanzenkulturen mindestens die Hälfte der insgesamt gehandhabten Trockenmasse aus. Bei der Weiterverarbeitung der Ernteprodukte in der Lebensmittelindustrie fallen nochmals erhebliche Mengen an Nebenprodukten an (Tabelle 1, rechte Seite). In der Summe entsteht

bei der Extraktion pflanzlicher Lebensmittel aus der primär gehandhabten Biomasse weit mehr nicht-essbare als essbare Biomasse.

Landwirtschaftliche Pflanzenproduktion			Nebenprodukte der Verarbeitung landwirtschaftlicher Erntegüter in der Lebensmittelindustrie		
Pflanzenkultur	Koppelprodukt	% der gehandhabten Biomasse	Technologie	Nebenprodukt	% des Inputs an Biomasse
Getreide	Stroh	45	Mehlmüllerei	Kleie	20-25
Körnermais	Stroh	50	Nassmüllerei (Stärkefabrikation)	Pülpe	25-30
Raps	Stroh	65	Zuckerfabrikation (aus Zuckerrüben)	Trockenschrot, Melasse	40-45
Soja	Stroh	50	Ölmühle (Raps)	Kuchen, Expeller, Extraktionsschrot	55-60
Zuckerrübe	Blätter	40	Ölmühle (Sojabohne)	Kuchen, Expeller, Extraktionsschrot	65-80
Kartoffel	Stroh	20	Brauerei, Brennerei, Bioethanol-Fabrikation	Treber, Trockenschlempe	25-30

Tabelle 1: Aufkommen an Koppelprodukten lebensmittel-liefernder Pflanzenkulturen im landwirtschaftlichen Pflanzenbau sowie an Nebenprodukten aus der Verarbeitung von Erntegütern in der Lebensmittelindustrie (bezogen auf Trockenmasse) (Daten aus Vorndran et al. 2024).

Eine weitere Quelle an nicht-essbarer Biomasse aus Ackerflächen ist die Gründüngung (z.B. Klee gras), die insbesondere in der biologischen Landwirtschaft praktiziert wird und im Rahmen der Fruchtfolge bis zu einem Drittel der Ackerfläche belegen kann.

Grasland ist eine Quelle an nicht-essbarer Biomasse von überragender Bedeutung. Etwa ein Drittel der Eis-freien Landoberfläche der Erde ist landwirtschaftlich nutzbar und davon bestehen nahezu 70% aus Grasland (FAO 2021). Über 80% dieses Graslands sind aus klimatischen und topographischen Gründen nicht ackerfähig (Mo et et al. 2017) und stehen somit in keiner Konkurrenz zur Gewinnung von pflanzlicher Nahrung auf dem Acker. Im Alpenraum bestehen etwa 60% der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus solchem absoluten Grasland, in Deutschland sind es etwa 30%.

Abbildung 1 zeigt die Verteilung der in Deutschland insgesamt gehandhabten landwirtschaftlichen Biomasse (Daten aus Vorndran et al 2024). Von den insgesamt 120 Mio. T Trockenmasse, die die deutsche Landwirtschaft derzeit pro Jahr umtreibt, entfallen allen zwei Drittel auf nicht-essbare Biomasse, allem voran aus Grasland und Koppelprodukten. Die für die Bereitstellung pflanzlicher Lebensmittel geeigneten Ernteprodukte (Körner und Samen jeder Art, Zuckerrüben, Kartoffeln, usw.) machen dagegen nur ein Drittel der gesamten Biomasse aus. Unter der Annahme, dass die Ernteprodukte ausnahmslos zu pflanzlichen Lebensmitteln verarbeitet werden, fällt ein Drittel des Inputs in die Lebensmittelindustrie bzw. 12% der gesamten agrarischen Biomasse als Nebenprodukte an. Somit beträgt die maximale Ausbeute an pflanzlichen Lebensmitteln nur 20% der insgesamt gehandhabten agrarischen Biomasse. Mit anderen Worten, im landwirtschaftlichen Produktionssystem Deutschlands hinterlässt 1 kg pflanzliches Lebensmittel mindestens 4 kg nicht-essbare Biomasse.

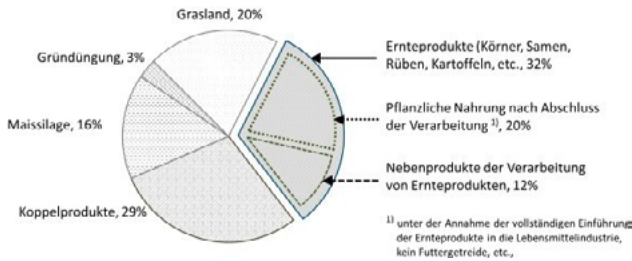


Abbildung 1: Verteilung der in Deutschland insgesamt gehandhabten landwirtschaftlichen Biomasse auf pflanzliche Produktgruppen einschließlich der nachgelagerten Lebensmittelverarbeitung (bezogen auf Trockenmasse) (Daten aus Vorndran et al. 2024)

Die größte Herausforderung bei der Schätzung des Aufkommens an essbarer bzw. nicht-essbarer Biomasse ist die Beur-

teilung der Essbarkeit selbst. Das Konzept der sogenannten human edible fraction (hef) versucht, die Grauzone zwischen essbar und nicht-essbaren Komponenten in den Futtermitteln bewertbar zu machen und nutzt dazu die Gehalte an Roh Nährstoffen und die jeweils verfügbaren Technologien bei der Entstehung der Nebenprodukte (Ertl et al. 2015) (Tabelle 2). In der Tat können viele Futtermittel immer noch gewisse Anteile an Essbarem enthalten, aber bei hef-Werten unterhalb von 20% kann man davon ausgehen, dass diese Biomassen grundsätzlich nicht mehr als Lebensmittel geeignet sind. Biomassen mit mittleren hef-Werten werden üblicherweise in der Lebensmittelindustrie in eine hochwertige Fraktion und Nebenprodukte mit geringen hef-Werten getrennt (Rapsöl und Rapsextraktionsschrot aus Rapssamen).

Futtermittel	hef (%)	Minimum – Maximum
Weizen	80	60 – 100
Körnermais	80	70 – 90
Gerste	65	40 – 80
Sojabohne	92	50 – 93
Rapssamen	59	30 – 87
Weizenkleie	10	0 – 20
Maissilage	29	19 – 45
Gras und dessen Produkte, Stroh, Pülpe, Schlempe, ...	0	0

Tabelle 2: Human edible fraction (hef) von Futtermitteln (% bezogen auf Trockenmasse) (Daten aus Windisch und Flachowsky 2022)

Hohe hef-Werte kennzeichnen Futtermittel, die grundsätzlich als Lebensmittel geeignet sind, wie etwa Weizen, Maiskörner und Sojabohne. Die Verwendung solcher Materialien als Futtermittel verursacht somit Nahrungskonkurrenz und widerspricht dem Kaskadenprinzip Teller → Trog → Tank. Hier muss allerdings beachtet werden, dass die hef-Werte nur

eine vorläufige Klassifizierung der Essbarkeit zulassen und allenfalls zur Entscheidung beitragen können, welche Pflanzenkulturen im Rahmen der Fruchtfolge für welchen Zweck (Futtermittel vs. Lebensmittel) angebaut werden soll. Die eigentliche Essbarkeit entsteht jedoch immer erst am Ende des gesamten Produktions- und Verarbeitungsprozesses und hängt maßgeblich von ökonomischen und technischen Faktoren sowie von Qualitätseigenschaften ab. Demnach sind alle Biomassen, die den Weg zum pflanzlichen Lebensmittel (Teller) verfehlen, trotz möglicherweise hoher hef-Werte de facto als nicht-essbare Biomasse einzustufen und sollten verfüttert werden (Trog). So kann beispielsweise eine ungünstige Witterung bei der Ernte ein ursprünglich zu Lebensmittelzwecken angebautes Getreide zum Futtergetreide degradieren. Ein anderes Beispiel ist der Anbau von Futtergetreide auf ertragsschwachen Böden, insbesondere wenn es sich um Getreidearten handelt, die in der Humanernährung kaum unmittelbare Verwendung finden (z.B. Gerste). Insgesamt wird es in der Landwirtschaft immer einen gewissen Anteil an Futtergetreide geben, so dass die oben genannte Mindestmenge von 4 kg nicht-essbare Biomasse je kg pflanzlicher Nahrung eher unterschätzt ist.

Die Verfütterung der nicht-essbaren Biomasse an Nutztiere erzeugt einen doppelten Gewinn

Die nicht-essbare Biomasse enthält enorme Mengen an Pflanzennährstoffen, die wieder auf die Nutzflächen zurückgeführt werden müssen. Hierzu stehen grundsätzlich drei Pfade zur Verfügung: (1) auf dem Feld verrotten lassen, (2) in einer Biogasanlage vergären und die Gärreste als Dünger nutzen, oder (3) an Nutztiere verfüttern und die Wirtschaftsdünger zurückführen. In diesem Zusammenhang wird den Nutztieren oftmals der Vorwurf der Umweltverschmutzung gemacht (z.B. überhöhte Frachten an Stickstoff, Phosphor, usw. über die Wirtschaftsdünger). Dies ist jedoch nicht der

Fall, solange die Wirtschaftsdünger aus der ohnehin anfallenden, nicht-essbaren Biomasse entstanden sind. Der Rückfluss an Pflanzennährstoffen liegt bei allen drei Pfaden innerhalb des Rahmens der ohnehin zirkulierenden Biomasse, setzt dieselben Pflanzennährstoffe frei und auch der Kohlenstoff endet in denselben Humuspartikeln des Bodens. Entscheidend ist letztendlich nur die Frage, wie gut die Rückführung der Pflanzennährstoffe aus der nicht-essbaren Biomasse mit dem Zeitverlauf des Bedarfs der Pflanzen im nächsten Vegetationszyklus synchronisiert ist. Pflanzenbauliche Untersuchungen über die gesamte Fruchtfolge hinweg (Bryzinski 2020) haben gezeigt, dass die bloße Verrottung aufgrund der unkontrollierten Freisetzung von Pflanzennährstoffen hohe Emissionen verursacht, in der Düngerwirkung ineffizient ist und die Ernte an lebensmittelliefernden Kulturen dementsprechend gering ausfällt. Gärreste und Wirtschaftsdünger sind dagegen lagerbar und gezielt ausbringbar. Ihre potenzielle Düngerwirkung und damit auch die erzielbare Ernte an pflanzlicher Nahrung sind etwa doppelt so hoch wie bei der Strategie der bloßen Verrottung. Demnach sind Gärreste und Wirtschaftsdünger aus der Sicht des Pflanzenbaus und der Erzeugung von pflanzenbasierter Nahrung in etwa gleich gut zu beurteilen. In der Gesamtschau der Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank erhält die Verfütterung der nicht-essbaren Biomasse an Nutztiere jedoch klar die Priorität vor der Energiegewinnung.

Nutztiere können aus der nicht-essbaren Biomasse beträchtliche Mengen an zusätzlicher Nahrung erzeugen. Mit 4 kg nicht essbarer Biomasse pro 1 kg pflanzenbasierter Nahrung liegt der Zugewinn an Nahrungsprotein tierischer Herkunft etwa gleich hoch wie die Basisproduktion von pflanzenbasiertem Nahrungsprotein, in Bezug auf Kilokalorien beträgt der Mehrertrag etwa die Hälfte des pflanzlichen Basisniveaus. Somit steigert die Einbindung der Nutztiere in die Nutzungskaskade der pflanzlichen Biomasse die An-

zahl der Menschen, die von derselben landwirtschaftlichen Fläche ernährt werden können, um mindestens die Hälfte im Vergleich zu einem System ohne Nutztiere. Dieser Effekt verursacht keine Nahrungskonkurrenz und deshalb besteht auch kein grundsätzlicher Zielkonflikt zwischen der Erzeugung von Nahrung pflanzlicher und tierischer Herkunft. Im Gegenteil, beide Produktionslinien sind synergistisch miteinander gekoppelt, vorausgesetzt, die Nutzung der pflanzlichen Biomasse folgt der Kaskade Teller → Trog → Tank. Die Einbeziehung der Nutztiere in die Landwirtschaft fördert nicht nur die Pflanzenproduktion durch Bereitstellung eines hochwertigen Düngers, sondern steigert auch noch die Ernährungssicherheit durch die zusätzliche Bereitstellung hochwertiger Lebensmittel (siehe auch Windisch und Flachowsky 2022).

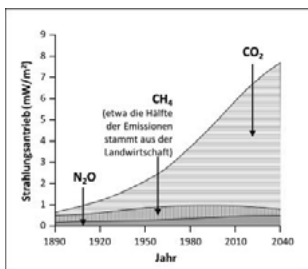
Das Narrativ von der „Klima-Killer-Kuh“ ist irreführend

Wiederkäuer sind hocheffiziente Verwerter der nicht-essbaren Biomasse. Den von ihnen erzeugten Produkten werden jedoch unter den Lebensmitteln tierischer Herkunft die höchsten CO₂-Fußabdrücke zugewiesen. Dies liegt hauptsächlich am Methan (CH₄), das bei der mikrobiellen Fermentation des Futters in den Vormägen freigesetzt wird. In der Tat ist CH₄ ein starkes Treibhausgas, aber es wird in der Atmosphäre rasch zu CO₂ abgebaut (Halbwertszeit ca. 12 Jahre). Das Methan der Wiederkäuer ist somit eine vorübergehende Erscheinungsform des Kohlenstoffs, der zwischen Vegetation und Atmosphäre auf natürliche Weise zirkuliert und nur so lange als Treibhausgas wirksam ist, wie er als CH₄ existiert. Im Gegensatz dazu ist CO₂ ein langlebiges Treibhausgas, das sich in der Atmosphäre dauerhaft anreichert, sobald es z.B. über Verbrennung fossiler Energiequellen oder Humusabbau infolge einer Landnutzungsänderung freigesetzt wurde. Demnach hat jede zusätzliche CO₂-Emission aus solchen Quellen eine dauer-

hafte Erwärmung der Atmosphäre zur Folge, während der Klimaeffekt des kurzlebigen CH₄ primär von der Veränderung der Emissionsrate und nicht von der Emission selbst abhängt (Allen et al. 2018). Dies führt je nach lokaler Bestandsdichte bzw. Produktionsintensität und ihrer zeitlichen Veränderung zu unterschiedlichen Klimawirkungen der Haltung von Wiederkäuern (Manzano et al. 2023).

Bei konstanter Bestandsdichte und Produktionsintensität (konstante Emissionsrate) kommt es zu einem Gleichgewicht zwischen dem CH₄-Abbau und dem Neueintrag in die Atmosphäre. In dieser Situation verhält sich die CH₄-Emission praktisch klimaneutral, denn sie hat keine weitere Erwärmung der Atmosphäre zur Folge (Neu et al. 2022). Der Klimaeffekt der CH₄-Emission ist nur noch indirekter Natur und lässt sich durch die Abkühlung beschreiben, die vom Rückgang der Gleichgewichtskonzentration an CH₄ in der Atmosphäre ausgelöst wird, wenn man die Wiederkäuer aus dem System eliminiert. Umgekehrt tragen steigende Bestandsdichten an Wiederkäuern und/oder zunehmende Produktionsintensitäten zusätzliches Methan in die Atmosphäre ein, das noch nicht im Gleichgewicht mit dem Abbau steht und deshalb sein Treibhausgaspotenzial en alten kann. Folglich kommt es vorübergehend zu weit stärkeren Erwärmungen der Atmosphäre, als eine entsprechende Reduktion aus einem Gleichgewichtszustand heraus abkühlend wirken würde. Die Standardmetrik der CO₂-Äquivalente (GWP 100) rechnet jedoch die absolute Emission von CH₄ linear in CO₂ um (Faktor 28) und lässt dabei die Dynamik der Emissionsraten unberücksichtigt. Dies hat je nach lokaler Situation erhebliche Über- oder Unterschätzungen der Klimawirkungen der Wiederkäuerhaltung zur Folge (Manzano et al. 2023). Sie verursacht beispielsweise für die Situation in Österreich eine Überschätzung der CO₂-Äquivalente von Milch und Rindfleisch um den Faktor 2 (Hörtenhuber et al. 2022).

Auf globaler Ebene konzentriert sich die CH_4 -Emission aus der Haltung von Wiederkäuern hauptsächlich auf Lateinamerika und Südasien. Dort nimmt sowohl die Bestandsdichte als auch die Produktionsintensität zu. Im Gegensatz dazu liegen die Zahlen aus Europa auf einem niedrigen Niveau. So ist beispielsweise in Deutschland der Bestand an Wiederkäuern und die dadurch verursachte CH_4 -Emission in den letzten Jahrzehnten massiv zurückgegangen und liegt inzwischen unter dem vorindustriellen Niveau (Schulze 2014; Kuhlmann und Viereck 2022). Die geringen Effekte der CH_4 -Emissionen werden auch aus Abbildung 2 deutlich, die schematisch die kumulative Klimawirkung (Strahlungsantrieb) der nationalen Emissionen von CO_2 , CH_4 und N_2O aus Österreich zeigt (modifiziert aus Guggenberger et al. 2022). Der allergrößte Anteil der Klimawirkung der vergangenen Jahrzehnte ist der atmosphärischen Akkumulation des langlebigen CO_2 zuzuschreiben. Demgegenüber zeigt das kurzlebige CH_4 ein weitgehend stabiles Wirkungsband auf den Strahlungsantrieb. Da etwa nur die Hälfte der österreichischen CH_4 -Emissionen aus der Landwirtschaft stammt, würde selbst eine vollständige Eliminierung der Wiederkäu-



er aus der Nutztierhaltung die Atmosphäre kaum abkühlen. **Abbildung 2:** Kumulative Treibhausgaswirkung (Strahlungsantrieb, mW/m^2) der nationalen Emissionen an Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und Stickoxid (N_2O) aus Österreich

(modifiziert aus Guggenberger et al. 2022).

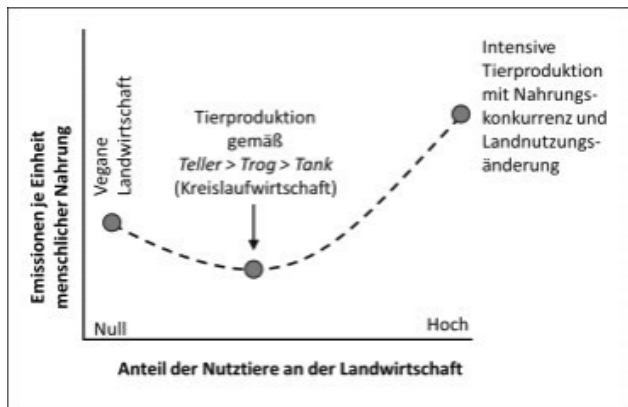
Zu viele als auch zu wenige Nutztiere sind ein Schaden für Umwelt und Klima

Die Kreislaufwirtschaft der nicht-essbaren Biomasse setzt die darin gebundenen Pflanzennährstoffe (Stickstoff, Phosphor, etc.) so gut wie unabhängig von Pfad des Kreislaufs wieder frei (Verrottung, Biogas, Futtermittel). Darüber hinaus sind alle mit der Bereitstellung von essbarer wie auch von nichtessbarer Biomasse verursachten Emissionen unweigerlich miteinander gekoppelt, denn sie wurden durch die landwirtschaftliche Erzeugung der pflanzlichen Biomasse in ihrer Gesamtheit verursacht. Ein Verzicht auf die Verwertung der nicht-essbaren Biomasse als Futtermittel oder als Substrat für die Energiegewinnung könnte ihren Anteil an den Gesamtemissionen nicht eliminieren. Diese Emissionen müssten dann der essbaren Biomasse zusätzlich angelastet werden, was den Fußabdruck pflanzlicher Nahrungsmittel gegenüber der derzeitigen Situation erheblich steigern würde. Für die Gesamtbewertung der Fußabdrücke der Nutztierhaltung sollten deshalb nur die spezifischen Emissionen für Stallhaltung, technische Ausrüstung, Grünlandmanagement, usw. veranschlagt werden, wobei die CH_4 -Emissionen der Wiederkäuer unter den Bedingungen der Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank weitgehend als klimaneutral zu betrachten sind (siehe oben).

Der stärkste Effekt auf den Fußabdruck des Ernährungssystems resultiert jedoch aus der Tatsache, dass der Verzicht auf Nutztiere den Zugewinn an hochwertigen Lebensmitteln aus der Transformation der nicht-essbaren Biomasse eliminieren würde. Landwirtschaftliche Systeme ohne Nutztiere müssten diese Verluste durch massive Intensivierung der Pflanzenproduktion und/oder Ausweitung der Ackerflächen kompensieren (Van Zanten et al. 2018). Wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt, würde dieser Effekt die Emissionen pro Nahrungseinheit (Kilokalorien, Protein usw.) im Ver-

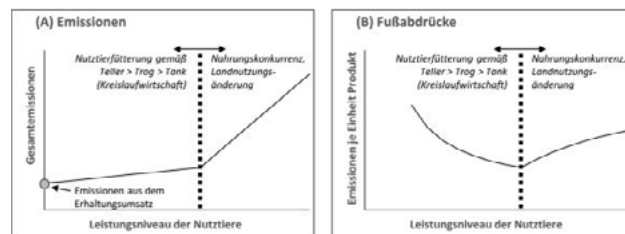
gleich zur Kreislaufwirtschaft erhöhen. Andererseits hat die Intensivierung der Nutztierhaltung über die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank hinaus zur Folge, dass zusätzliches Futter auf Kosten von menschlicher Nahrung produziert werden muss (Nahrungskonkurrenz). Dies erhöht die Fußabdrücke der insgesamt produzierten Nahrung (pflanzlich und tierisch). Das Minimum des Fußabdrucks des Ernährungssystems wird somit dann erreicht, wenn der Anteil der Nutzerhaltung an der Landwirtschaft auf die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank eingestellt ist. Die zukünftige Herausforderung wird darin bestehen, dieses Minimum für die jeweiligen lokalen Bedingungen der Landwirtschaft und der

Seite). Ausgehend von den „unproduktiven“ Emissionen aus dem Erhaltungsumsatz steigen die absoluten Emissionen nur schwach an, solange die Fütterung der Tiere innerhalb der Kreislaufwirtschaft der nicht-essbaren Biomasse bleibt. Gleichzeitig nehmen die jeweiligen Fußabdrücke der tierischen Produkte asymptotisch ab, da die Emissionen aus dem Erhaltungsumsatz mit steigender Leistung fortschreitend verdünnt werden. Sobald jedoch die tierische Leistung das Produktionspotenzial der nicht-essbaren Biomasse übersteigt, setzt in der Nutzerfütterung die Nahrungskonkurrenz ein, die absoluten Emissionen nehmen deutlich stärker zu, und auch die Fußabdrücke können wieder ansteigen.



nachgelagerten Lebensmittelverarbeitung zu identifizieren. **Abbildung 3:** Schematische Wirkung des Anteils der Nutztierhaltung an der gesamten Landwirtschaft auf die Emissionen je Einheit menschlicher Nahrung (Protein, Kilokalorien, etc.)

Abbildung 4 veranschaulicht den Effekt steigender tierischer Leistungen auf die absoluten Emissionen ((A), linke Seite) und die entsprechenden Fußabdrücke der tierischen Produkte (berechnet als Emissionen je Einheit Produkt) ((B), rechte



und auch die Fußabdrücke können wieder ansteigen. **Abbildung 4:** Schematische Wirkung steigender Leistungen von Nutztieren (A) auf die Gesamtemissionen und (B) auf die Fußabdrücke der tierischen Produkte (Emissionen je Einheit Produkt)

In der Tat führt die derzeitige, intensive Nutztierhaltung aufgrund von Nahrungskonkurrenz und teilweise auch Landnutzungsänderung zu hohen Fußabdrücken tierischer Produkte. Diese werden oft als konstante Werte angesehen und als Ausdruck einer inhärenten Belastung von Umwelt und Klima durch Nutztiere interpretiert. Viele Empfehlungen für nachhaltige Ernährungssysteme gehen deshalb davon aus, dass jeder Verzicht auf Lebensmittel tierischer Herkunft eine lineare Entlastung von Umwelt und Klima zur Folge hätte. Es ist zwar unbestritten, dass solche Strategien die Umwelt-

und Klimafolgen des Ernährungssystems im Vergleich zur aktuellen Situation in gewissem Maße verringern können. Sie übersehen jedoch das synergetische Potenzial der Vermeidung von Nahrungskonkurrenz auf die Reduktion der Fußabdrücke tierischer Lebensmittel. Darüber hinaus ignorieren sie das Risiko, dass die Fußabdrücke pro Einheit menschlicher Nahrung wieder ansteigen, sobald die Tierhaltung durch übermäßige Drosselung der Produktionsintensität zu schwach wird, um die unvermeidlich anfallende, nicht essbare Biomasse vollständig in zusätzliche menschliche Nahrung umzuwandeln. Daher besteht das zukünftige Ziel darin, den Gesamtfußabdruck der Erzeugung menschlicher Nahrung (pflanzlich und tierisch) zu minimieren, indem sowohl der Anteil der Tierhaltung an der Landwirtschaft auf die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank ausgerichtet wird (Abbildung 3) und darüber hinaus das Leistungsniveau innerhalb der Tierhaltung mit dem Produktionspotenzial der nicht-essbaren Biomasse in Einklang gebracht wird (Abbildung 4, rechte Seite). Leider fehlen bisher Szenarien, die die dynamische, nichtlineare Natur von Emissionen und Fußabdrücken der Gesamterzeugung von Lebensmitteln (pflanzlich und tierisch) darstellen (Manzano et al. 2022).

Die Futtereffizienz ist für die Aufrechterhaltung der Produktivität entscheidend

Die Begrenzung der Nutztierfütterung auf die unvermeidlich anfallende, nicht-essbare Biomasse hat im Vergleich zur derzeitigen Situation eine gravierende Einschränkung von Menge und Qualität der verfügbaren Futtermittel zur Folge. Diese Einschränkung trifft insbesondere das Geflügel und in geringerem Maße auch die Schweinehaltung, da diese monogastrischen Nutztierspezies auf Futterqualitäten angewiesen sind, die der menschlichen Nahrung entsprechen bzw. nahe heranreichen. Im Gegensatz dazu bleibt den Wiederkäuern der größte Teil des ohnehin überwiegend nicht-essbaren Fut-

ters erhalten. Modellkalkulationen zu den Folgen eines völligen Verzichts auf Nahrungskonkurrenz in der Nutztierfütterung komme für die Schweiz auf massive Reduzierungen bei Geflügelprodukten (Fleisch, Eier) um mehr als 90% und beim Schweinefleisch um mehr als 50% des aktuellen Niveaus, während die Milch- und Rindfleischproduktion etwa zwei Drittel beibehalten könnte (Baur und Flückiger 2018). Auch in Deutschland könnte rund die Hälfte der aktuellen Milch- und Rindfleischproduktion allein auf der Basis von nationalem Grünland aufrechterhalten werden, und fast zwei Drittel bei zusätzlichem Einsatz nicht-essbarer Nebenprodukte aus der Lebensmittelverarbeitung (De Luca und Müller 2024). Insgesamt zeigen diese Zahlen, dass Wiederkäuer die wichtigsten Nutztiere Produktionssystemen sind, in denen die pflanzliche Biomasse der Landwirtschaft gemäß der Kaskade Teller → Trog → Tank verwertet wird.

Bei limitierter Verfügbarkeit von Futter sowohl mengenmäßig als auch in Bezug auf den Futterwert – erlangt die Futtereffizienz eine entscheidende Bedeutung (siehe auch Windisch und Flachowsky 2022). Der erste Schritt zur Verbesserung der Futtereffizienz ist die Vermeidung von Biomasseverlusten entlang der gesamten Strecke vom Pflanzenbau bzw. Weidemanagement, Ernte, Konservierung bis hin zur Fütterungstechnik und dem finalen Verzehr durch die Tiere. Die Präzise, an die individuellen Bedürfnisse der Tiere angepasste Fütterung in Kombination mit Futtermittelzusatzstoffen zur Eliminierung von Nährstofflimitierungen bzw. Blockierungen (z.B. essenzielle Aminosäuren, Phytasen) tragen ebenfalls wirkungsvoll zur Verlustminimierung der verfügbaren Futterbiomasse bei. Ein weiteres Ziel ist die Verbesserung der Futterqualität der nichtessbaren Biomasse, etwa durch Optimierung des Erntezeitpunkts, technische Aufbereitung, und insbesondere durch Pflanzenzüchtung. Hier geht es nicht mehr nur darum, die lebensmittelbezogenen Merkmale zu verbessern, sondern die Verwertbarkeit

der gesamten Pflanzenbiomasse auf die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank auszurichten. Besonders wirkungsvoll ist darüber hinaus die Vermeidung von „unproduktivem Futtermittelverzehr“ im Gesamtsystem der Nutztierhaltung. Darunter fällt hauptsächlich der Futtermittelverzehr der nicht-produktiven Tiere einschließlich der Nachzucht. Alle Maßnahmen, die eine robuste Jungtieraufzucht, störungsfreie Produktionszyklen, Langlebigkeit der produktiven Tiere, sowie insgesamt eine bessere Tiergesundheit und ein höheres Tierwohl zur Folge haben, minimieren sehr effizient den „unproduktiven Futtermittelverzehr“ und fördern dadurch maßgeblich die Futtereffizienz des Gesamtsystems.

Die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank gilt auch für die Alternativen zu tierischen Lebensmitteln

Vegane Lebensmittel werden vielfach als nachhaltige und klimafreundliche Alternativen zu tierischen Lebensmitteln beworben. Ihre Herstellung erzeugt jedoch unvermeidlich große Mengen an nichtessbarer Biomasse entlang der gesamten Strecke vom landwirtschaftlichen Pflanzenbau über die Ernte bis zur Verarbeitung in der Lebensmittelindustrie. So gelangt beispielsweise beim Haferdrink nur ein Drittel der als Haferkörner in den lebensmitteltechnologischen Prozess eingesetzten Biomasse in das finale Lebensmittel, während die verbleibenden zwei Drittel als Nebenprodukt (Haferpülpe) überwiegend in die Nutztierfütterung gelangen. Bildlich gesprochen erzeugt jedes Glas Haferdrink ein weiteres Glas Kuhmilch. Dieses Beispiel zeigt, dass vegane Produkte und Lebensmittel tierischer Herkunft miteinander synergistisch gekoppelt sind und erst in der Kombination gemäß dem Prinzip Teller → Trog → Tank nachhaltig und klimafreundlich werden können.

Auch das *in vitro*-Fleisch aus kultivierten Muskelzellen wird als nachhaltige Proteinquelle beworben. In der Tat gibt es abgesehen vom Erfordernis der Verwendung von An-

biotika zur Stabilisierung der Zellkultur viele weitere (bio) technologische Einschränkungen, die eine Skalierung vom Labormaßstab auf industrielle Produktionsmengen bislang behindern (z.B. Wood et al. 2023). Der auffälligste Aspekt ist jedoch der Umstand, dass die Muskelzellen mit einem Kulturmedium gefüttert werden müssen, welches ausschließlich reine Nährstoffmoleküle enthält (Glukose, Aminosäuren, Fettsäuren usw.). Solche Kulturmedien stellen die höchstmögliche Qualität dar, die menschliche Nahrung jemals erreichen kann. Sie ist vergleichbar mit parenteraler Ernährung und genau darin besteht der entscheidende Nachteil von *in vitro* Fleisch im Hinblick auf die Nutzung der limitierten pflanzlichen Biomasse. Da die kultivierten Muskelzellen und das biotechnologische System selbst keinen Verdauungstrakt besitzen, müssen die reinen Nährstoffmoleküle aus essbarer Biomasse mittels energieintensiver, technischer Aufbereitungs- und Extraktionsverfahren bereitgestellt werden. Darüber fehlt dem biotechnologischen System die Funktionalität von Leber und Niere, so dass die Eliminierung von Stoffwechsellrückständen der Zellkultur stets mit einem Verlust an ungenutzten Nährstoffen aus dem Nährmedium gekoppelt ist. Darüber hinaus verbrauchen die Muskelzellen wie im intakten Nutztier erhebliche Mengen an Nährstoffen für ihre Bestandserhaltung. Insgesamt stellt *in vitro* Fleisch eine starke Nahrungskonkurrenz für den Menschen dar und ist in der Effizienz der Umwandlung der eingesetzten Nährstoffe genauso begrenzt wie Nutztiere.

Präzisionsfermentation mit z.B. gentechnisch veränderten Mikroorganismen bietet in der Tat eine alternative Methode zur Erzeugung von Nahrungseiweiß, denn die verwendeten Mikroorganismen sind Stickstoff (N)-autotroph und können Protein quasi *de novo* aus löslichem Stickstoff erzeugen. Daher scheint die Präzisionsfermentation eine gewisse Ähnlichkeit mit dem System der Wiederkäuer aufzuweisen, denn auch diese decken ihren Proteinbedarf hauptsächlich über

die Verdauung von N-autotrophen Mikroorganismen, die in ihren Vormägen wachsen. Der entscheidende Unterschied besteht jedoch darin, dass die Mikroorganismen der Präzisionsfermentation eine Energiequelle benötigen, die grundsätzlich essbar ist (Glukose, Saccharose). Außerdem liefern die Mikroorganismen lediglich das erwünschte Protein, während der energetische Input an „Futterbiomasse“ größtenteils über CO₂-Emissionen aus dem mikrobiellen Stoffwechsel wieder verloren geht. Wiederkäuer hingegen füttern ihre Mikroben hauptsächlich mit nicht-essbarer Biomasse. Darüber hinaus können diese Mikroben aufgrund der anaeroben Verhältnisse in den Vormägen nur etwa ein Viertel der fermentierten Energie nutzen, während sie die restlichen drei Viertel als flüchtige Fettsäuren (hauptsächlich Essig-, Propion- und Buttersäure) wieder abgeben. Letztere werden vom Wirtstier absorbiert und zur Synthese einer Vielzahl weiterer Produkte genutzt. So entsteht beim Wiederkäuer im Gegensatz zur Präzisionsfermentation nicht nur Milcheiweiß, sondern Kuhmilch, die in ihrer Gesamtheit viermal so viel essbare Trockenmasse und Nahrungsenergie enthält. Aus diesem Grund wird die Präzisionsfermentation mit Wiederkäuern wahrscheinlich kaum um die Massenproduktion von Nahrungsprotein konkurrieren können.

Neben Nutztieren sind auch Pilze in der Lage, nicht-essbare Biomasse in Nahrungsprotein zu überführen. Sie sind N-autotroph und gedeihen auf Material, das aufgrund sehr hoher Gehalte an Lignozellulose kategorisch nicht-essbar ist. Auch beim Wiederkäuer sind solche Materialien unter den anaeroben Verhältnissen der Vormägen kaum abbaubar, so dass Pilze für die Verwertung derartiger Biomassen ein gewisses Alleinstellungsmerkmal aufweisen. Pilze sind jedoch strikt aerob und veratmen daher die Energie der abgebauten Biomasse bis zum CO₂, so dass am Ende des gesamten Transformationsprozesses ähnlich wie bei der Präzisionsfermentation wiederum nur eine relative geringe Menge an

geerntetem Produkt verbleibt. Pilze werden deshalb allenfalls die Nische von extrem lignozellulosereicher Biomasse besetzen können, während die Vorrangstellung der Wiederkäuer bei der Verwertung des Großteils der nicht-essbaren Biomasse auch in Zukunft erhalten bleiben wird.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Nutztiere spielen eine entscheidende Rolle bei der Verwertung von nicht-ackerfähigem Grasland, der Aufrechterhaltung des Kreislaufs von nicht-essbarer Biomasse, der Bereitstellung effektiver organischer Düngemittel und der Erzeugung zusätzlicher, hochwertiger Lebensmittel ohne Nahrungsmittelkonkurrenz. Diese Vorteile erreichen ihr Maximum, wenn die Intensität der Tierproduktion in der Balance der Kreislaufwirtschaft der nicht-essbaren Biomasse steht und auf die Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank ausgerichtet wird. Die hierzu erforderlichen Anpassungen zukünftiger Tierproduktionssysteme sind vergleichbar mit der aktuell laufenden Energiewende, also dem Übergang von fossilen zu erneuerbaren Energiequellen. In diesem Sinne muss man die nicht-essbare Biomasse als eine erneuerbare Futterressource begreifen, die ohne negative Wirkung auf Umwelt und Klima genutzt werden kann. In der Tat erfordern die Erschließung, Lagerung und Nutzbarmachung dieser Ressource einen zusätzlichen Aufwand. Darüber hinaus limitieren die begrenzte Menge und Qualität der nicht-essbaren Biomasse das Produktionsvolumen von tierischen Lebensmitteln und erhöhen deren Preis. Umso wichtiger ist in dieser Situation die Maximierung der Futtereffizienz des gesamten Tierhaltungssystems.

Die Orientierung künftiger Ernährungssysteme an der Nutzungskaskade Teller → Trog → Tank wird ackerbauliche Fruchtfolgesysteme, Pflanzenzüchtung und Technologien für Ernte und Weiterverarbeitung vorantreiben und die Effizienz der direkten Extraktion an pflanzlichen Lebensmitteln aus

der gesamten Biomasse weiter steigern. Dies hat unweigerlich zur Folge, dass die Menge an nicht-essbarer Biomasse abnehmen und deren Fasergehalte als Leitkriterium für eine sinkende Futterqualität ansteigen wird. Dieser weitere Schwund an Futterressourcen wird insbesondere das Geflügel und in geringerem Maße auch die Schweine betreffen, während die Bedeutung von Wiederkäuern zur effektiven Nutzung der nicht-essbaren Biomasse weiter zunehmen wird. ■

Literaturverzeichnis

Allen, M.R., Shine, K.P., Fuglestedt, J.S. Millar R.J, Cain M.,

Frame D.J., Macey A.H. (2018): A solution to the misrepresentations of CO₂ -equivalent emissions of short-lived climate pollutants under ambitious mitigation. *npj Clim Atmos Sci* 1, 16 (2018).

<https://doi.org/10.1038/s41612-018-0026-8>

Baur, P., Flückiger, S. (2018). Nahrungsmittel aus ökologischer und tiergerechter Produktion. Eine Studie im Auftrag von Greenpeace Schweiz. Wädenswil: ZHAW Ins tut für Umwelt und natürliche Ressourcen. <https://doi.org/10.21256/zhaw-1411>

Bryzinski T (2020): Erträge, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Pflanzenbausysteme: Methodische Einflüsse und feldexperimentelle Ergebnisse. Dissertation an der Technischen Universität München, Germany. ISBN: 979-8574395912/

De Luca K. and Müller A. (2024): Das Potenzial einer Grünland-basierten Milchproduktion in Deutschland. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL und Greenpeace Deutschland e.V.

Ertl, P.; Zebeli, Q.; Zollitsch, W.; Knaus, W. (2015): Feeding of by-products completely replaced cereals and pulses in dairy cow and enhanced edible feed conversion rate. *Journal of Dairy Science* 98(2), pp. 1225–1233. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8810>

FAO (2021). Land use statistics and indicators statistics. Global, regional and country trends 1990 –2019. Vol. FAOSTAT Analytical Brief Series No 28. Rome.

FAO (2023). Pathways towards lower emissions – A global assessment of the greenhouse gas emissions and mitigation options from livestock agrifood systems. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9029en>

GfE (2023): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 12. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. DLG-Verlag, Frankfurt am Main. ISBN 978-3-7690-0865-4

Guggenberger, T.; Terler, G.; Herndl, M.; Fritz, C.; Grassauer, F. (2022): Langzeitbewertung von Treibhausgasemissionen in Österreich. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg- Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal

Hörtenhuber, S.J.; Seiringer, M.; Theurl, M.C.; Größbacher, V.; Piringer, G.; Kral, I.; Zollitsch, W.J. (2022): Implementing an appropriate metric for the assessment of greenhouse gas emissions from livestock production: A national case study. *Animal* 16(10). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2022.100638>

Kuhla, B.; Viereck, G. (2022): Enteric methane emission factors, total emissions and intensities from Germany's livestock in the late 19th century: A comparison with the today's emission rates and intensities. *Science of The Total Environment* 848. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157754>

Manzano, P.; Rowntree, J.; Thompson, L.; del Prado, A.; Ederer, P.; Windisch, W.; Lee, M.R.F. (2023): Challenges for the balanced attribution of livestock 's environmental impacts: the art of conveying simple messages around complex realities. *Animal Frontiers* 13(2), pp. 35–44. <https://doi.org/10.1093/af/vfac096>

Brugger, D., Nadler, C., Windisch, W.M., Bolduan, C. (2016): Feed protein value of acidic precipitates obtained from press juices of three types of green forage leaves. *Anim Feed Sci Tech* 222: 236-241. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.10.017>

Neu, U. (2022): Climate effect and CO₂ equivalent emissions of short-lived substances. *Swiss Academies Communications* 17(5). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6343974>

- Mottet, A., C. de Haan, A. Falcucci, G. Tempio, C. Opio and P. Gerber (2017): Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security* 14, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2017.01.001>
- Schulze E. (2014): *Deutsche Agrargeschichte; 7500 Jahre Landwirtschaft in Deutschland; ein kurzer Abriss*. Shaker Verlag. Aachen. ISBN 978-3-8440-2636-8
- UBA (Umweltbundesamt) (2024): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen. (Stand 28.05.2024) <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/landwirtschaft>
- Vorndran A.M., Steinhoff-Wagner J., Windisch W.M. (2024): Ermittlung des Aufkommens an nicht-essbarer Biomasse aus dem Agrar- und Verarbeitungssektor Deutschlands. *Züchtungskunde* 69: 56–76.
- Windisch W and Flachowsky G (2022): Livestock-based Bioeconomy. In: Thrän D and Moesenchtel U (eds). *The Bioeconomy System*. Springer Berlin, Heidelberg. pp68-83. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-64415-7>
- Wood, P., Thorrez, L., Hocque e, J.-F., Troy, D., Gagaoua, M. (2023): “Cellular agriculture”: current gaps between facts and claims regarding “cell-based meat”. *Animal Frontiers*, 13 (2), 68-74. <https://doi.org/10.1093/af/vfac092>

Zusammenfassung

GERHARD BREVES

Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung waren das Thema der diesjährigen Hülseberger Gespräche. Diese Thematik ist durch hohe Komplexität gekennzeichnet und wurde daher in 4 einzelnen Themenblöcken differenziert behandelt.

Im ersten Themenblock wurden die **allgemeinen Rahmenbedingungen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung und von Ökosystemleistungen** erläutert. Einleitend hat **Herr Bahrs (Hohenheim)** in einer einfachen Definition Ökosystemleistungen als Dienstleistungen der Natur für den Menschen bezeichnet und die Versorgungsleistungen, die Regulierungsleistungen und die kulturellen Leistungen als tragende Elemente herausgestellt. **Herr Beckmann (Greifswald)** hat im ersten Vortrag die notwendigen Erläuterungen gegeben, die zur Vermittlung der Begrifflichkeiten und für einen ausgewogenen Wissensstand notwendig waren. Diese noch junge Disziplin hat sich erst seit etwa 40 Jahren entwickelt und war in ihrer Herkunft vor allem aus der Naturschutzbiologie geprägt. Dies zeigt sich auch darin, dass von den in den letzten Jahren erheblich zugenommenen Publi-

kationen der überwiegende Teil aus den Bereichen der Ökologie und der Umweltwissenschaften stammt. Der Anteil der Beiträge mit direktem Bezug zu den Agrarwissenschaften liegt dagegen bei nur etwa 15%. Die Herausforderungen an agrarwissenschaftliche Forschung wurde beispielhaft für die Wiedervernässung von Moorlandwirtschaften dargestellt und die Sinnhaftigkeit der aktuell in der Diskussion befindlichen Paludikulturen in betriebs- und volkswirtschaftlicher Hinsicht kritisch diskutiert.

In der **Diskussion** wurden Fragen zur Haltung geeigneter Tierarten an Moorstandorten, zur Bedeutung extensiver Haltungssysteme gegenüber intensiver Tierhaltung, zum gesellschaftlichen Bezug der Diskussion über Ökosystemleistungen und zur Ökologiepflichtigkeit von Eigentum besprochen.

Im zweiten Vortrag hat sich **Herr Banse (Braunschweig)** dann mit der ökonomischen Bedeutung der Tierhaltung beschäftigt. Insgesamt ist die internationale Fleischwirtschaft für die Bereiche Rind, Schwein und Geflügel durch eine ausgeprägte Dynamik gekennzeichnet. Dabei ist in der

Verteilung der Länder der Produktionszuwachs vor allem in Schwellenländern lokalisiert, wogegen der Produktionszuwachs in den industrialisierten Ländern nur in einer Größenordnung von etwa 10 % liegt. Trotz gegebener Wettbewerbsfähigkeit deutscher Agrarprodukte sind Klimawandel, Emission von Treibhausgasen und gesellschaftliche Forderungen nach Tierwohl wichtige Herausforderungen an die Nutztierhaltung, die zugleich entsprechende Anpassungen an Produktionssysteme erforderlich machen.

Die **Diskussion** beinhaltet Beiträge zur Entwicklung der Milchviehhaltung an Moorstandorten, zur Nahrungskonkurrenz der Geflügelhaltung, zur Quantifizierung von Verlagerungseffekten der Tierhaltung, zur Bedeutung von erneuerbaren Energien für die Futterverfügbarkeit zur Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere und zu gesellschaftlichen Forderungen nach Änderungen der Ziele der Tierzucht.

Im dritten Vortrag dieses Blocks hat sich **Herr Isselstein (Göttingen)** mit wichtigen Fragen der Grünlandwirtschaft befasst. Die biologische Vielfalt des Grünlands ist geographisch sehr unterschiedlich. In Niedersachsen ist es im Mittel durch etwa 120 – 160 unterschiedliche Pflanzenarten geprägt, dabei sind Weiden artenreicher als Wiesen. Das Erscheinungsbild von Landschaft kann maßgeblich durch Tierhaltung geprägt werden. Dank moderner digitaler Techniken stehen heute zahlreiche methodische Ansätze zur Verfügung, um die Nutzung des Grünlands durch Herbivoren qualitativ und quantitativ zu untersuchen. Die methodischen Ansätze des Smart Farming werden künftig durch viele weitere Innovationen gekennzeichnet sein und vielfältige Möglichkeiten bieten, um die Nutzung vom Grünland durch Herbivoren unter freien Weidebedingungen quantitativ zu erfassen.

Fragen zur Wiederherstellung von Flächennutzungen, zum möglichen Erhalt der Landschaftsstruktur durch Wildtiere, zu den Möglichkeiten des Gesundheitsmonitoring bei

Weidetieren und zur Tierschutzrelevanz virtueller Zäune waren die Schwerpunkte der **Diskussion**.

Im zweiten Themenblock standen die **Versorgungsleistungen durch landwirtschaftliche Nutztiere** im Mittelpunkt. Im ersten Vortrag hat **Herr Eder (Gießen)** diätetische Leistungen landwirtschaftlicher Nutztiere im Detail erläutert. Ausgehend von der zunehmenden gesellschaftlichen Kritik an der Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere hat er konsequenterweise eine vergleichende Darstellung der omnivoren und der veganen Ernährung vorgenommen. Aus zahlreichen wissenschaftlich fundierten Publikationen ist abzuleiten, dass bei veganer Ernährung die Gehalte an zahlreichen Nährstoffen, Vitaminen, Mengen- und Spurenelementen im Vergleich mit omnivorer Ernährung geringer sind. Dies kann teilweise durch geringere Verdaulichkeit und niedrigere Bioverfügbarkeit zusätzlich verstärkt werden. Auf der Grundlage dieser Daten ist die gesellschaftlich zum Teil präferierte vegane Ernährung einer kritischen Bewertung zu unterziehen.

Die häufig ablehnende Haltung gegenüber naturwissenschaftlich fundierten Befunden durch Personen mit veganer Ernährung, die mögliche Bedeutung von Nahrungsergänzungsmitteln, eine möglicherweise jahreszeitlich bedingte defizitäre Vit. D Versorgung und mögliche Risikofaktoren bei veganer Ernährung standen im Mittelpunkt der **Diskussion**.

Frau Daniel (München) hat dann im folgenden Vortrag über alternative Proteinquellen gesprochen, und sie hat ihren Vortrag mit einer Frage eingeleitet, die sich dann sehr konsequent durch ihren ganzen Vortrag gezogen hat. Die Frage lautete: Wie alternativlos sind eigentlich alternative Proteine? Dabei hat sie sehr überzeugend dargestellt, mit welcher Vorsicht vermeintliche Vorteile von fleischfreien Ansätzen

im Vergleich mit Ansätzen aus In-vitro-Verfahren diskutiert werden müssen. Sie hat wichtige Aspekte wie Klima-relevante Faktoren oder Emissionen bei der Herstellung von In-vitro-Fleisch herausgestellt. Auf dieser Grundlage kann eine einseitige Priorisierung vermeintlich innovativer Prozessverfahren nicht vorgenommen werden.

Schwerpunkte der **Diskussion** waren Technologien zur Isolierung von Aminosäuren aus bislang nicht zugänglichen Quellen, Kriterien der Wachstumseffizienz bei In-vitro-Fleisch, mögliche Gründe für Unterschiede in der N-Bilanz bei In-vitro-Fleisch sowie Gründe für Opportunitätsverhalten in Wissenschaften.

Den dritten Vortrag in diese m Block hat **Herr Parlasca (Bonn)** gehalten. Er hat den Nutzen, den Sinn der Nutztierhaltung gegen den globalen Hunger nähererläutert. In einer Differenzierung zwischen dem globalen Hunger und dem versteckten Hunger konnte er zeigen, dass die Prävalenz des globalen Hungers sich in den vergangenen 50 Jahren zwar deutlich reduziert hat, aber seit einigen Jahren zumindest Tendenzen erkennbar sind, dass der globale Hunger wieder ansteigt. Und er hat sehr eindringlich darauf verwiesen und durch Beispiele illustriert, dass der versteckte Hunger vermutlich ein relevanteres Problem ist und bedingt durch die Natur dieser Situation erst sehr viel später erkannt wird und daher auch problematischer werden kann, insbesondere im Hinblick auf die Versorgung mit Mikronährstoffen.

Die **Diskussion** beinhaltete Fragen und Kommentare zu wesentlichen Merkmalen der Entwicklungspotenziale der Tierhaltung im globalen Süden, zur Nutzung regionaler Ressourcen und zur Bedeutung der Ausbildung und Qualifizierung der beteiligten Menschen.

Im dritten Vortragsblock **Regulierungsleistungen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung** hat **Herr Dänicke**

(**Braunschweig**) einleitend die Klimawirksamkeit von Nutztieren anhand der Emissionscharakteristika erläutert. Die Methanemissionen durch Wiederkäuer stehen dabei zwar im Vordergrund, die N-Ausscheidungen vor allem bei monogastriischen Tieren dürfen jedoch nicht vernachlässigt werden. In kritischer Abwägung zwischen experimentellen und praxisrelevanten Ansätzen wurde ein Minderungspotenzial der Emissionen von bis zu etwa 50% dargestellt.

Unsicherheiten in der Berechnung der Reduzierungspotenziale, globale Aspekte der Reduzierung von Emissionen, Möglichkeiten des Futterbaues, die Persistenz Emissions-reduzierender Maßnahmen und die Grenzen tierzüchterischer Maßnahmen wurden in der **Diskussion** thematisiert.

Im folgenden Vortrag von **Frau Freibauer (Freising)** standen die Zusammenhänge zwischen Nutztierhaltung und Wasserschutz insbesondere unter dem Aspekt des Eintrags von Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor im Mittelpunkt.

Grundwasserqualität und Erosionsschutz unter quantitativen Gesichtspunkten sind dabei von besonderer Bedeutung. Sie hat Ansätze zum Verbesserungspotenzial, beispielsweise über Optimierung von Nährstoffkreisläufen, Steigerung der Nährstoffeffizienz, Verbesserung der Verteilung der Nutztierhaltung erläutert. Dazu gehören ebenso Ansätze zur Verbesserung von Bildung und Beratung.

Die Bedeutung regionaler Aspekte der Gülleausbringung, die Problematik der Verteilung im Hinblick auf Produktverarbeitung und die CO₂ Speicherung je nach Grünlandnutzungsart waren Themen der **Diskussion**.

Biodiversitätsleistungen landwirtschaftlicher Nutztiere waren dann das Vortragsthema von **Frau Klein (Neustadt)**. Merkmale der Biodiversität wurden auf zwei Ebenen erläutert, und zwar unter dem Blickwinkel der Rassenvielfalt landwirtschaftlicher Nutztiere und ihren vielfältigen Funk-

tionen im Hinblick auf Landschaftserhalt und -pflege sowie für die Ausbreitung von Pflanzensamen. Als zweite Ebene hat sie die Bedeutung des Kuhfladens als Lebensraum und Brutstätte für zahlreiche Insektenarten sowie für die Vielfalt des Bodenmikrobioms dargestellt. Dessen Biodiversität kann durch Arzneimittelrückstände in den tierischen Ausscheidungen erheblich beeinflusst werden, wobei vor allem Rückstände von Antiparasitika von Bedeutung sein können, solange diese Rückstände pharmakologisch noch aktiv sind.

In der **Diskussion** standen Fragen und Kommentare zu Landschaftspflegeleistungen im Rassenvergleich, Biodiversität im Vergleich zwischen Gülle und Kuhfladen, Verschleppungen von Giftpflanzensamen und Qualitätskriterien der Biodiversität im Mittelpunkt.

Im vierten Vortrag dieses Blocks ist **Herr Büscher (Bonn)** auf die wesentlichen Zusammenhänge zwischen Nutztierhaltung und Luftqualität eingegangen. Die Unterschiede zwischen Emissionen, Transmission und Emissionen wurden verdeutlicht und für verschiedenen Standorte beispielhaft erläutert. Eine besondere Herausforderung besteht in der Entwicklung neuer Technologien zur Minderung von Emissionen sowie in der Wirksamkeitsbestimmung von Minderungsmaßnahmen. Trotz vieler neuartiger Methoden in diesem Bereich stellt der Mensch für die Analytik und Quantifizierung von Gerüchen immer noch die Methode der Wahl dar, da keine anderen Methoden verfügbar sind.

Schwerpunkte der **Diskussion** waren die Bedeutung von Minderungsmaßnahmen für ein Biotop, Zielkonflikte im Hinblick auf Arbeitsplatzqualität, die Eindimensionalität im Rechtsbereich sowie der Seuchenschutz bei Aussenklmaställen.

Im letzten Block der Hülsenberger Gespräche wurden die **kulturellen Leistungen der landwirtschaftlichen Nutztier-**

haltung und Anpassungsmöglichkeiten der Nutztierhaltung für mehr Ökosystemleistungen behandelt.

Eingeleitet wurde dieser Block durch den Vortrag von **Herrn Bennewitz (Hohenheim)**, der die Einzelbereiche der Ökosystemleistungen aufgegriffen hat und am Beispiel der

Tierzüchtung deutlich gemacht hat, wie sich in den letzten Jahrzehnten die Ausrichtung der Tierzüchtung verändert hat. Während in den Zuchtstrategien ursprünglich Produktionssteigerungen priorisiert wurden, sind heute neben den Leistungsmerkmalen auch eine Reihe von Gesundheits- und Langlebigkeitskriterien im Vordergrund. Die großen Vorteile der genomischen Zuchtwertschätzung wurden dargestellt. Dazu könnte künftig auch das Merkmal Resilienz als Fähigkeit zur Erholung nach einer Störung als Zuchtziel einbezogen werden.

Die Anpassung alter Rassen und ihre Produktivität, Vorteile alter Rassen im Hinblick auf Futterkonkurrenz, Rassebedingte Unterschiede in der Futtereffizienz und Entlohnung kultureller Leistungen bei Haltung alter Rassen waren Themen der **Diskussion**.

Frau Rosen (München) hat dann im zweiten Vortrag dargestellt, wie sich die landwirtschaftliche Nutztierhaltung aus Verbrauchersicht darstellt. Die sehr unterschiedlichen Ansätze zur belastbaren Einschätzung durch die Öffentlichkeit sowie ihre Quantifizierbarkeit wurden dargestellt. Imagekonzepte, die Befragungen zur Wahrnehmung und Erwartung beinhalten, sind ein sehr aktuelles Arbeitsgebiet dieser Disziplin. Dabei ist auch deutlich geworden, dass die Beurteilung der Ergebnisse aus derartigen Umfragen immer noch mit einer gewissen Vorsicht zu beurteilen sind.

Die Rechtfertigung höherer Preise durch Ökosystemleistungen, die Korrelation zwischen Verbrauchererwartung und -verhalten sowie der Umfang der Verifikationskohorte zur Absicherung von Verbraucherstudien wurden in der **Diskussion** thematisiert.

Herr Kunzmann (Hannover) hat dann beispielhaft auf der Basis der Mensch-Tier- Beziehung erläutert, wie sich Ethik als Wertlehre im Hinblick auf Tierhaltung in den vergangenen Jahrzehnten weiterentwickelt hat. Dabei ist der Grad der Unvereinbarkeit zwischen den verschiedenen Interessensgruppen stetig gewachsen. Als thematische Schwerpunkte sind öko-soziale Folgekosten der Tierhaltung, höheres Tierwohl sowie die Kopplung zwischen Tierhaltung und Klimaänderungen zu nennen. Die mögliche künftige kulturelle Bedeutung der Tierhaltung ist nur schwer zu prognostizieren.

Schwerpunkte der **Diskussion** waren Konsequenzen ethischer Aspekte für die Rechtsprechung, die Priorisierung menschlicher Interessen, die Verantwortung für die Festlegung ethischer Werte und die Sinnhaftigkeit des Begriffes „Nutztiere“.

Im letzten Vortrag hat **Herr Windisch (München)** das Entwicklungspotenzial und die Perspektive der künftigen Tierhaltung erläutert. Die Komplexität quantitativer Stoffflüsse unter der Priorisierung Teller, Trog und Tank stand im Mittelpunkt der Ausführungen.

Die Einzigartigkeit der stofflichen Veredelung durch Nutztiere durch Fütterung unterschiedlicher Quellen an nicht-essbarer Biomasse stellt einen Weg dar, der nur durch land-

wirtschaftliche Nutztiere geleistet werden kann. Damit sind Nutztiere auch für eine umwelt- und klimaschonende Landwirtschaft unverzichtbar.

Fragen zur Umsetzbarkeit zukünftiger Tierhaltungssysteme, zur gesellschaftlichen Akzeptanz der Konzepte der stofflichen Veredelung und die Ressourcen-schonende Nutzung von Biomasse waren Themen der **Diskussion**.

Als Résumé der 29. Hülseberger Gespräche ist festzuhalten, dass es gelungen ist, den hoch komplexen Bereich der Haltung landwirtschaftlicher Nutztiere in die Einzelbereiche der Ökosystemleistungen einzuordnen. Zu diesen Einzelbereichen zählen ökonomische und ökologische Dimensionen, die aus der Nutztierhaltung erbrachten Leistungen für menschliche Ernährung und ihre möglichen stofflichen Alternativen ebenso wie die ethische Dimension und auch die Wahrnehmung und Beurteilung durch die kritische Öffentlichkeit. Diese globale und systemische Betrachtung wird für die Weiterentwicklung der Nutztierhaltung auch in ihrer kulturellen Bedeutung hilfreich und nützlich sein. ■

Schlusswort

JOACHIM KRIETER

Meine Damen und Herren,

wir sind nunmehr am Ende der 29. HÜLSENBERGER GESPRÄCHE angekommen, und ich darf im Namen des Vorstandes ein kurzes Schlusswort sagen – und dieses kann natürlich nur ein „Mehrfaches Danke“ sein.

Mein erster Dank gilt den Teilnehmern und Teilnehmerinnen an dieser Veranstaltung – wir wissen nur zu gut, dass ihre Terminkalender gut gefüllt sind und die Zeit immer knapp bemessen ist. Herzlichen Dank für ihre aktive Beteiligung, davon lebt die Veranstaltung; sie unterscheidet sich ja von den übrigen Fachtagungen durch die Betonung „Gespräche“ und ich hoffe, dass Sie hierzu nicht nur bei den Diskussionen, sondern auch in den Pausen und am Abend Gelegenheit fanden; die HÜLSENBERGER GESPRÄCHE sind eine interdisziplinäre Veranstaltung, bei der Wissenschaftler über den Bereich ihrer eigenen Forschungsarbeit hinausblicken.

Ein zweiter Dank richtet sich an die Referenten und Referentinnen, denn sie haben es verstanden, innerhalb dieses doch sehr multidisziplinären Themengebietes Punkte anzuspre-

chen, die zu einem Gespräch und einer Diskussion herausfordern konnten. Und wenn Sie mir jetzt noch die schriftliche Fassung ihres Vortrags zukommen lassen würden, wäre ich glücklich – ich werde Sie zu gegebener Zeit freundlichst daran erinnern. Über eine Neuerung möchte ich Sie noch informieren: das Kuratorium hat entschieden, den Tagungsband nicht mehr als Print-Version herauszugeben, sondern im digitalen Format – lassen Sie sich überraschen.

Mein Dank gilt auch den Mitgliedern des Kuratoriums – zum einen für Ihre Tätigkeit als Diskussionsleiter, zum anderen aber auch für die Vorbereitungsarbeiten zur Gestaltung des Tagungsprogramms (federführend diesmal Herr Bahrs) und bei der Auswahl der Preisträgerin. Für die gewohnt inhaltsreiche Zusammenfassung danke ich meinem Vorstandskollegen Gerd Breves.

Ein weiterer großer Dank geht an die Mitarbeiter von Schumann, insbesondere Frau Antosch-Hermann für die gesamte Organisation, das war schon eine zusätzliche Belastung zu ihrer üblichen täglichen Arbeit; Herrn Sprung und Frau Voll-

mer vom Marketing-Team für die Gestaltung der Tagungsunterlagen und Herrn Bunde für die technische Assistenz.

Der letzte, aber der wichtigste Dank, gilt den Gesellschaftern der Unternehmensgruppe – der Familie Seiller. Sie haben durch ihre Anwesenheit Ihr großes Interesse an dieser Veranstaltung bekundet. Wir wünschen Ihren Unternehmen weiterhin wirtschaftlichen Erfolg, denn ohne diesen wirtschaftlichen Erfolg und die damit verbundene großzügige Förderung der Stiftung könnten wir diese Veranstaltung nicht durchführen. In diesem Zusammenhang – nämlich wirtschaftlichen Erfolg – sei auch den anwesenden Vorständen Dr. Pricker, Dr. Mathies, Dr. Hammerer und Herrn Jan-drissovits sowie den Herren Pinter und Dr. Janiszewski von der Holding ganz herzlich gedankt.

Gestern Abend sprachen wir in kleiner Runde von der „Notwendigkeit, die modernen Agrarwissenschaften und Techniken“ besser zu erklären. Wenn die Hülsenberger Gespräche dazu beitragen, diese Notwendigkeit anzuerkennen und diesbezügliche Überlegungen in Ihre Arbeit einfließen, ist ein Ziel der Veranstaltung erreicht.

Damit schließe ich die Veranstaltung und wünsche Ihnen allen eine gute Heimreise. ■

Kontaktadressen der Referenten

PROF. DR. MARTIN BANSE
Institut für Marktanalyse
Bundesallee 63
38116 Braunschweig

PROF. DR. VOLKER BECKMANN
Universität Greifswald
Lehrstuhl für Allgemeine Volkswirtschaftslehre und Landschaftsökonomie
Soldmannstraße 15
01748 Greifswald

PROF. DR. JÖRN BENNEWITZ
Universität Hohenheim
Fachgebiet für Tiergenetik
und Züchtung
Garbenstraße 17
70599 Stuttgart

PROF. DR. WOLFGANG BÜSCHER
Universität Bonn
Institut für Landtechnik
Nußallee 5
53115 Bonn

PROF. DR. DR. SVEN DÄNICKE
Friedrich-Löffler-Institut
Institut für Tierernährung
Bundesallee 37
38116 Braunschweig

PROF. DR. HANNELORE DANIEL
TUM School of Life Science
Alte Akademie 8
85354 Freising

PROF. DR. KLAUS EDER
Justus-Liebig-Universität
Institut für Tierernährung
Heinrich-Bluff-Ring 26–32
35392 Gießen

DR. ANNETTE FREIBAUER
Institut für Agrarökologie
und Biologischen Landbau
Lange Point 12
85354 Freising

PROF. DR. JOHANNES ISSELSTEIN
Georg-August-Universität Göttingen
Abteilung Grünlandwirtschaft
Von-Siebold-Str. 8
37075 Göttingen

PROF. DR. CLAUDIA KLEIN
Friedrich-Loeffler-Institut
Institut für Nutztiergenetik
Höltystraße 10
31535 Neustadt

PROF. DR. PETER KUNZMANN
Stiftung Tierärztliche Hochschule
Hannover
Institut für Tierhygiene, Tierschutz
und Nutztierethologie
Bischofsholer Damm 15
30173 Hannover

DR. MARTIN PARLASCA
Universität Bonn
Center for Development Research
Genscherallee 3
53113 Bonn

PROF. DR. JUTTA ROOSEN
Technische Universität München
Lehrstuhl für Marketing und
Konsumforschung
Alte Akademie 16
85350 Freising

PROF. DR. WILHELM WINDISCH
Heßbrühlstraße 35
70565 Stuttgart

Hülsenberger Gespräche von 1965 bis 2024

- 1965** Themen aus der Fütterungsforschung
- 1967** Aktuelle Themen aus der Forschung
- 1969** Probleme bei Hochleistungskühen
- 1971** Aktuelle Aspekte der Schweineproduktion
- 1973** Ausgewählte Themen der Schweineproduktion
- 1976** Fruchtbarkeit beim Rind
- 1978** Probleme der Ferkelproduktion
- 1980** Probleme der Rindfleischproduktion
- 1982** Milch und Milcherzeugung
- 1984** Wirtschaftseigenes Futter
- 1986** Tierhaltung – Tiergesundheit – Umwelt
- 1988** Schweinefleischproduktion
- 1990** Tierische Erzeugung und Lebensmittelproduktion
- 1992** Biologisch-technische Entwicklungen in der Tierproduktion
- 1994** Forderungen der Tiergesundheit in der EU
- 1996** Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft in einer umweltverträglichen Landwirtschaft
- 1998** Lebensmittel für eine gesunde Ernährung
- 2000** Biotechnologie in den Nutztierwissenschaften
- 2002** Perspektiven für die Erzeugung von Lebensmitteln tierischer Herkunft in Europa
- 2004** Mikrobiologie und Tierernährung
- 2006** Fortschritte in Tierzucht und Tierhaltung
- 2008** Perspektiven der landwirtschaftlichen Energieerzeugung
- 2010** Wiederkäuerernährung – wesentliche Grundlage für Tiergesundheit, Ressourcenschonung sowie Umwelt- und Klimaschutz
- 2012** Zusatzstoffe in der Ernährung
- 2014** Innovative Erzeugung, Konversion und Nutzung agrarischer Biomasse – Zukunftsfeld der Bioökonomie
- 2016** Die postgenomische Ära: Die Renaissance des Phänotyps
- 2018** Landwirtschaft und Digitalisierung
- 2022** Tiergesundheit – Resistenzen und innovative Strategien
- 2024** Ökosystemleistungen der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung



H. WILHELM SCHAUMANN STIFTUNG