

Emissionen aus Milchviehherden – ein komplexer Ansatz für ein komplexes Thema

Emissions from dairy cow herds – a complex approach to a complex subject

Ulrich Dämmgen^{1*}, Wilfried Brade², Hans-Dieter Haenel¹, Claus Rösemann¹,
Jürgen Dämmgen³ und Ulrich Meyer⁴

Zusammenfassung

Emissionen von Gasen und Stäuben haben unerwünschte Veränderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre und der atmosphärischen Depositionen zur Folge. Nationale Regelungen und internationale Abkommen haben daher Emissionsminderungen zum Ziel. In der Landwirtschaft in Mitteleuropa trifft dies vor allem für Ammoniak zu, dessen Hauptquelle die Rinderhaltung ist.

Um schätzen zu können, welche Maßnahmen wie wirksam und mit welchen Nebenwirkungen sie gekoppelt sind, werden Stoffflussmodelle eingesetzt. Mit solchen Modellen werden die Einflüsse von Leistung, Nutzungsdauer, Krankheiten und Abgängen und Weidegang sowie die Wahl des Mineraldüngers im Pflanzenbau abgebildet. Die genannten Maßnahmen sind nicht mit zusätzlichen Kosten verbunden.

Leistungssteigerung ist nur dann eine emissionsmindernde Maßnahme, wenn die Menge des erzeugten Produkts nicht zunimmt, im Klartext: wenn als Folge die Herden verkleinert werden. Verbesserung des Tierwohls und Emissionsminderung gehen in die gleiche Richtung.

Schlagwörter: Ammoniak, Leistung, Nutzungsdauer, Gesundheit, Mineraldünger

Summary

The emissions of gasses and particulate matter result in adverse changes in the composition of the atmosphere and the atmospheric deposition. National legislation and international conventions aim at a reduction of the respective emissions. In Central Europe, agriculture is affected as the predominant source of ammonia which itself is coined by emissions from cattle.

In order to assess the effectiveness of measures taken and of the side effects linked to them, mass flow models are used. Such models depict the impact of performance, useful life, illnesses and deaths as well as grazing or the choice of mineral fertilizers in plant production. These measures do not lead to additional costs.

Improved performance leads to emission reductions if production is not expanded – in plain terms: if the number of animals is reduced accordingly. Improvements of animal health and emission reduction work along the same lines.

Keywords: ammonia, performance, useful life, animal health, mineral fertilizer

1. Einleitung

Emissionen aus der Milchviehhaltung – in der Tat ein komplexes Feld. Da ist zum einen die Vielzahl der zu betrachtenden Stoffe, zum anderen die Vielzahl der Quellen, die zu betrachten sind. Das Problem soll in dieser Arbeit dadurch vereinfacht werden, dass es an einem Stoff exemplarisch bearbeitet wird. Wir haben den Stoff ausgewählt, der in der Landwirtschaft derzeit die meisten Probleme bereitet: Ammoniak (NH₃).

1.1 Ammoniak als Luftinhaltsstoff

Dass Luft stofflich ist, weiß man erst seit wenigen hundert Jahren. Über die Zusammensetzung des Stoffgemischs „Luft“, insbesondere über die Spurenstoffe in ihr, weiß man seit wenigen Jahrzehnten Bescheid. Dies gilt insbesondere

für den Problemstoff NH₃. Dass man sich diesem Stoff erst recht spät zugewandt hat, liegt sowohl am gesellschaftlichen (Verhinderungs-)Druck als auch an den Schwierigkeiten der Analytik: NH₃-Konzentrationen in der Umgebungsluft werden in der Regel immer noch nasschemisch bestimmt. Hauptproblem ist die gleichzeitige Anwesenheit von Ammonium (NH₄) in Stäuben. Im Gegensatz zu den klassischen Luftschadstoffen Schwefeldioxid, Schwebstaub oder Ozon sind die NH₃-Konzentrationen kleinräumig äußerst variabel (z.B. LOHRENGEL et al. 2013, VAN ZANTEN et al. 2017). Messnetze, die üblicherweise nur an wenigen Punkten messen, können daher kaum räumlich repräsentative Konzentrationen erfassen.

Bedenkt man, dass die ökotoxikologisch relevante Größe nicht die Konzentration in der Außenluft ist, sondern der Fluss aus der Außenluft ins Rezeptorsystem (DÄMMGEN

¹ Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI), Institut für Agrarklimaschutz, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

² Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo) und Norddeutsches Tierzucht-Beratungsbüro, Zur Koppenheide 8, D-18181 Graal-Müritz

³ Mittelbacher Str. 1/2, D-88416 Ochsenhausen-Hattenburg

⁴ Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI), Institut für Tierernährung, Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

* Ansprechpartner: Ulrich Dämmgen, Dir. Prof. a.D. Dr., email: ulrich.daemmgen@daemmgen.de



et al. 1997), die sogenannte Deposition, so ergibt sich die Schwierigkeit, dass man zu deren Bestimmung entweder räumliche oder zeitliche Konzentrationsgradienten mit hoher Genauigkeit bestimmen muss. Derartige Messungen sind äußerst aufwändig. Man verwendet für die Bestimmung der Dosis oft Ersatzgrößen wie die sogenannte Bestandesdeposition. Alle direkten und indirekten Bestimmungen von Dosis-Wirkung-Beziehungen von NH_3 und Pflanzen deuten darauf hin, dass die N-Einträge über NH_3 ökotoxikologisch bedenklich sind (Eutrophierung).

Routinemäßige Messungen von NH_3 -Konzentrationen in amtlichen Messnetzen beginnen sich zu etablieren, Messungen von vertikalen NH_3 -Flüssen in der Umgebungsluft sind immer noch die Ausnahme.

1.2 Handlungsdruck

Wenn man die Zeitreihen der Konzentrationen der Spurenstoffe betrachtet, erkennt man beunruhigende Trends. Die unerwünschten Folgen der veränderten Konzentrationen sind die Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Atmosphäre (Treibhauseffekt), den Stoffhaushalt der Atmosphäre (z.B. Konzentrationen von stratosphärischem und bodennahem Ozon) und den Flüssen aus der Atmosphäre in empfindliche Ökosysteme (Versauerung, Eutrophierung).

Aus Sicht der Landwirtschaft sind dabei die erhöhten CO_2 -Konzentrationen nicht problematisch – die Landwirtschaft wird zumindest teilweise von steigenden CO_2 -Konzentrationen profitieren –, wohl aber die Beiträge der Landwirtschaft zum Anstieg der Konzentrationen von Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und NH_3 . Problematisch sind auch die Konzentrationen an Feinstäuben; diese bestehen (zumindest in Deutschland) zu einem erheblichen Teil aus Ammonium- (NH_4^-) Salzen. Die drei Gase CH_4 , N_2O und NH_3 werden bei der landwirtschaftlichen Produktion emittiert, wobei für NH_3 die Landwirtschaft praktisch die einzige Quelle ist, und zwar sowohl mit der Tier- als auch mit der Pflanzenproduktion.

Mit nationalen und internationalen Regelungen wird versucht, diese unerwünschten Folgen durch emissionsmindernde Maßnahmen zu verringern. Für die Landwirtschaft werden die künftig einzuhaltenden Emissionsobergrenzen mit einiger Sicherheit entweder Produktionsminderungen oder erhebliche Änderungen in den Produktionsverfahren mit sich bringen.

Österreich hat sich bereit erklärt, seine nationalen NH_3 -Emissionen um 12 % nach 2029 zu mindern. Diese Minderung ist erheblich (EU 2016). Es soll jedoch versucht werden, dieses Ziel möglichst ohne Einschränkungen der Produktion „mit effizienzsteigernden Maßnahmen wie stickstoffreduzierter Fütterung, verbesserter Ausbringung von flüssigen Wirtschaftsdüngern (z.B. vermehrte bodennahe Ausbringung), Abdeckung von Güllegruben etc.“ zu erreichen (LANGÄUER 2016).

1.3 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchungen von solchen NH_3 -Emissionen, die mit den oben genannten „effizienzsteigernden Maßnahmen“ nicht beeinflusst werden können. Im Vordergrund stehen die Auswirkungen des Herdenmanagements und der Mineraldüngerwahl auf die

NH_3 -Emissionen von Rinderherden bei der Betrachtung der gesamten Produktionskette. Der Beitrag der Landwirtschaft zu den Emissionen von Treibhausgasen (THG) ist von geringerer Bedeutung. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden sie nur kurz behandelt.

2. Material und Methoden (Kurzfassung)

In Deutschland entsteht die Hälfte aller unmittelbar der Landwirtschaft zugeordneten NH_3 -Emissionen in der Rinderhaltung. Die in den Emissionsinventaren eingesetzten Methoden erfassen dabei die Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement (Stall, Lager einschl. Vergärung, Ausbringung). Die Emissionen, die bei der Bereitstellung des Futters entstehen, werden dem Pflanzenbau zugeordnet. Wir haben eine andere Betrachtungsweise gewählt, indem wir versucht haben, die Emissionen und den Stickstoff-(N-)Haushalt für eine fiktive Milchkuhherde in Norddeutschland einschließlich der gesamten Vorkette (von der Erdgasgewinnung über die Mineraldüngerherstellung und Anwendung) zu modellieren.

Die Methoden sind im Detail in DÄMMGEN et al. (2016a) beschrieben. Hier werden lediglich diejenigen Einzelheiten genannt bzw. definiert, die zum Verständnis unbedingt notwendig erscheinen.

2.1 Die Herde

Die betrachtete Herde besteht aus 100 Milchkuhen (Holstein-Friesian) und ihren Nachkommen im Fließgleichgewicht: Jede aus dem Bestand ausscheidende Milchkuh wird unmittelbar durch eine Kuh unmittelbar nach der Geburt ihres ersten Kalbes ersetzt. Variiert werden Leistung, der Anteil der durch Krankheit ausgeschiedenen Tiere und die krankheitsbedingten Milchverluste, Nutzungsdauer und Weidegang.

Die Milchleistung ist eine Funktion der Laktationszahl. Die Kennzeichnung der Leistung erfolgt durch die Angabe einer Nennleistung der Herde. Die Nennleistung ist die mittlere Milchmenge der ersten drei Laktationen.

2.2 Mineraldüngung

Die N-Mengen werden auf die erwarteten Erträge bezogen nach den derzeit gültigen Richtlinien ermittelt (BMELV 2007). Variiert werden die Anteile an N-Düngern mit niedrigen Emissionen (Kalkammonsalpeter, KAS) und hohen Emissionen (Harnstoff, HS), außerdem die Anrechnung des Wirtschaftsdünger-N.

2.3 Wasser, Diesel, elektrische Energie

Die Verbräuche an Wasser (Tränk- und Brauchwasser) sowie an Primärenergieträgern (Diesel, Erdgas, elektrische) im Pflanzenbau bzw. im Stall sind Standard-Tabellenwerken entnommen (KTBL 2014).

2.4 Die Berechnung der Emissionen – komplexe Flüsse

International verbindliche Regelwerke erlauben die Erstellung vergleichbarer Emissionsinventare. Diese Arbeit nutzt EMEP (2013) für die luftverschmutzenden Stoffe

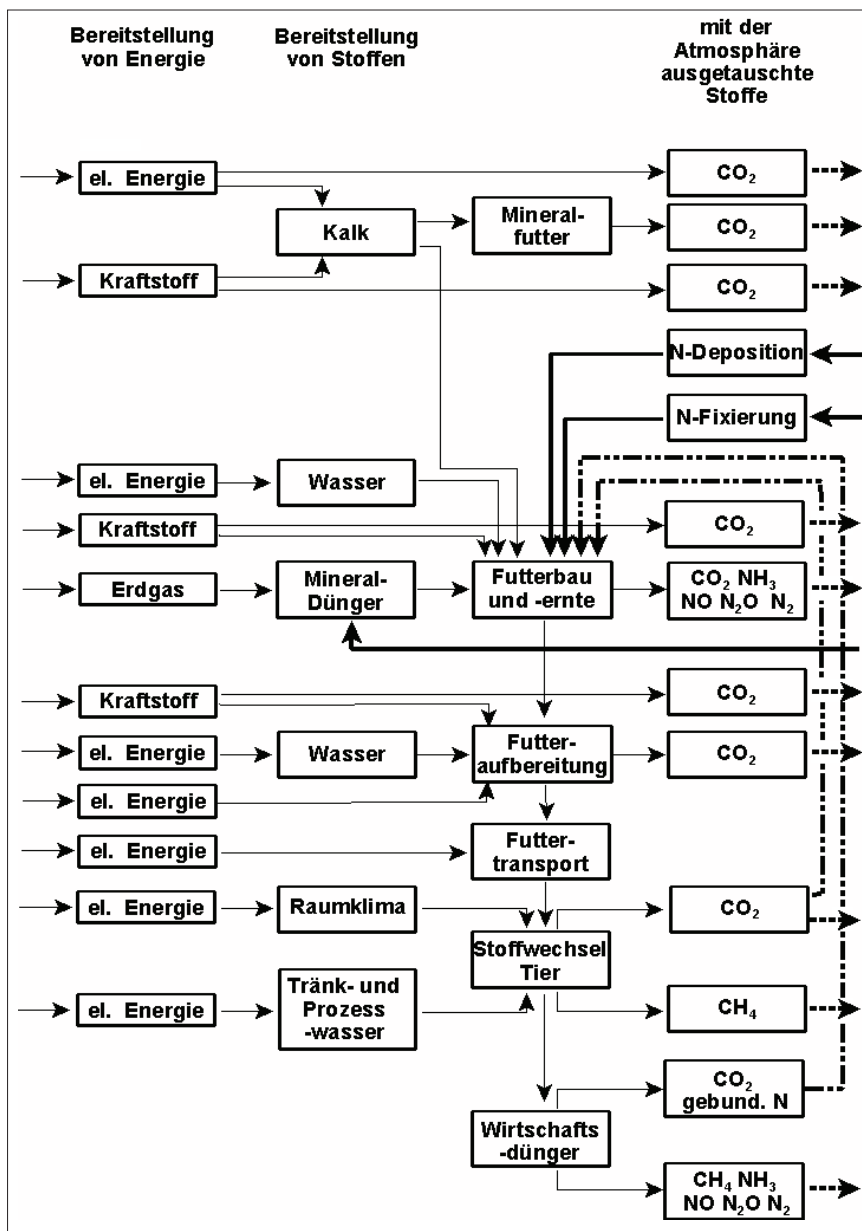


Abbildung 1: Übersicht über die in der Emissionsmodellierung erfassten Flüsse von Stoffen und Energien (aus DÄMMGEN et al. 2017).

Dicke Linien: mit der Atmosphäre ausgetauschte Stoffe; Emissionen gestrichelt, Einträge voll. Dicke strichpunktierte Linien: im Kreislauf geführte Stoffe (C- und N-Spezies). Bereits bei der Bereitstellung der Energieträger (Pfeile am linken Rand), die der Bereitstellung und dem Transport von Stoffen dienen, entstehen Emissionen (dünne Pfeile, CO₂-Emissionen). Am rechten Rand des Bildes wird der Austausch mit der Atmosphäre dargestellt. Gestrichelte Pfeile veranschaulichen Emissionen, dicke, nach innen weisende Pfeile Einträge aus der Atmosphäre (Umwandlung von N₂ zu NH₃ bei der Mineraldüngerherstellung; N-Deposition aus der Gasphase und mit Niederschlägen; N-Fixierung durch Leguminosen). Ein Teil der mit den Wirtschaftsdüngern ausgebrachten N- und C-Mengen dient der Düngung und wird im Kreis geführt (strichpunktierte Linien). Im landwirtschaftlichen Produktionssystem werden die CO₂-Emissionen aus der Atmung der Tiere und aus dem Wirtschaftsdüngermanagement als bilanzneutral angesehen: sie decken in guter Näherung den CO₂-Bedarf der Photosynthese (Grundannahme zur Berechnung der Emissionen von Kohlenstoff-Spezies in IPCC 2006, Vol. 4, Kap. 10). Die CO₂-Mengen aus der Umsetzung von Futterkalk im Tier werden dagegen als Emissionen betrachtet. Atmosphärische Einträge sind die N-Depositionen. Sie sind zwar prinzipiell Teil der N-Bilanz (OECD 2001), werden aber in der landwirtschaftlichen Praxis üblicherweise nicht in die Betrachtungen einbezogen.

(insbesondere NH₃), für die THG IPCC (2006). EMEP (2013) ist auch das Regelwerk für die Berichterstattung im Hinblick auf EU-Richtlinien zu Emissionsobergrenzen.

Die Zusammenhänge zwischen den einzelnen zu berechnenden Flüssen gehen aus *Abbildung 1* hervor. Dabei wird die Komplexität der Beziehungen deutlich; NH₃ ist nur ein Stoff unter vielen.

2.5 Zeit- und Masseneinheiten

Als Zeiteinheit dient eine Zwischenkalbezeit (ZKZ), deren Dauer von der Milchleistung abhängt. Als Masseneinheiten dienen für N-Spezies Megagramm (Mg; 1 Mg = 1.000 kg), für THG Gigagramm CO₂-Äquivalente (Gg CO₂-eq; 1 Gg = 10⁶ kg). Die CO₂-Äquivalente werden nach IPCC (2007) für CH₄ und N₂O unter Berücksichtigung der jeweiligen Treibhausgaspotenziale (global warming potentials, GWP) berechnet.

2.6 Bezugsgröße für produktbezogene Emissionen

Rinderherden liefern Milch und Fleisch für den menschlichen Verzehr. Beide Produkte enthalten als wesentlichen Bestandteil Protein. Unsere Rechnungen bewerten deshalb die Proteinproduktion der Herde pro Laktation aus der Summe von Milchprotein und Fleischprotein.

2.7 Vergleichbarkeit der deutschen und österreichischen Emissionsberechnungen

Die Verfahren zur Quantifizierung der Emissionen sind die in den Emissionsinventaren üblichen. Dabei sind die in Deutschland eingesetzten Verfahren mit den in Österreich angewandten Methoden (vgl. GUGGENBERGER et al. 2015) vergleichbar. Ihnen liegen die gleichen Regelwerke zugrunde. Teilweise sind nationale Daten in gemeinsamer Arbeit entstanden (z.B. DÄMMGEN et al. 2011).

Österreich und Deutschland unterscheiden sich hinsichtlich der Absolutbeträge der Emissionen, aber auch bei den Anteilen der jeweiligen Quellen (*Abbildung 2*): In Deutschland dominieren die der Rinderhaltung zugeschriebenen Emissionen, in Österreich die aus der Mineraldüngeranwendung.

3. Stickstoffbilanz – Emissionsinventare und Stoffflussbetrachtungen

Emissionsinventare beschreiben die nationalen Emissionen zutreffend, lassen aber kaum eine Analyse der Prozesse zu. So wird aus einer Stoffbilanz wie *Abbildung 3* nicht deutlich, dass ein großer Teil der NH_3 -Emissionen aus der Mineraldüngeranwendung bei der Futtererzeugung entsteht und dass die NH_3 -Emissionen der Industrie im Wesentlichen aus der Mineraldüngerproduktion stammen. Bei der Betrachtung von Minderungspotenzialen ist dies angemessen zu berücksichtigen. Ziel muss es sein, die gesamte Prozesskette im Blick zu haben. Hierzu dienen Stoffflussanalysen.

Eine vereinfachte N-Bilanz, wie sie ohne Nennung einzelner N-Spezies in *Abbildung 3* vorgestellt wird, lässt – bei

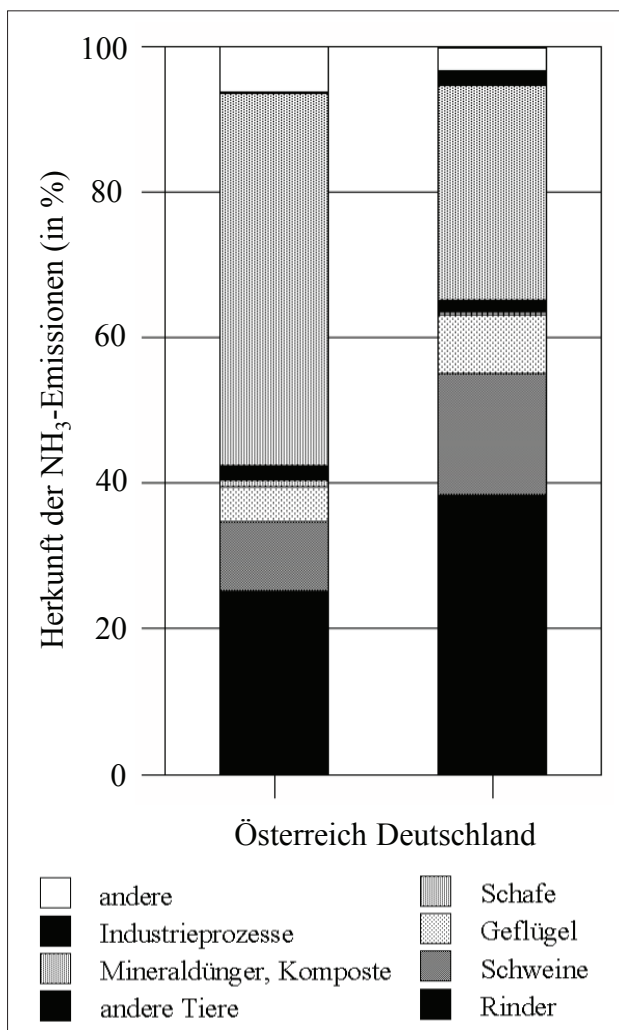


Abbildung 2: Prozentuale Herkunft der NH_3 -Emissionen in Österreich und Deutschland (Daten aus den Informativ Inventory Reports für Österreich (UMWELTBUNDESAMT (Wien) 2015) und Deutschland (UMWELTBUNDESAMT (Dessau) 2016)

aller gegebenen Unschärfe – wichtige Zusammenhänge erkennen:

- Viel N wird im Kreis geführt (Subsystem Boden/Pflanze → Subsystem Tier → Ausscheidungen → Subsystem Boden/Pflanze).
- Einer primären Bindung von atmosphärischem N von 29 Mg Herde⁻¹ ZKZ⁻¹ steht eine in Produkten (Milch und Fleisch) gebundene N-Menge von 4,6 Mg Herde⁻¹ ZKZ⁻¹ gegenüber. Die Verluste in Form von Emissionen in die Umwelt sind erheblich. Mehr als zwei Drittel des ursprünglich gebundenen N wurden umsonst fixiert.
- Die Bilanz für das Subsystem Tier ist geschlossen, ebenso die für die Mineraldüngerproduktion. Die Rechnungen für das Subsystem Boden/Pflanze dagegen sind „unscharf“. Die Differenz zwischen Einträgen und Austrägen suggeriert eine Zunahme von Boden-N von 3,5 Mg Herde⁻¹ ZKZ⁻¹. Dies ist durchaus denkbar, kann aber auch durch das Rechenverfahren (Verwendung von Schätzgrößen insbesondere für die Austräge ins Grundwasser) bedingt sein.

Die drei betrachteten Subsysteme Mineraldüngerproduktion, Boden/Pflanze und Tier werden hier jeweils als große Reaktoren in einer Prozesskette zur Synthese von Protein angesehen. Diese Synthese schafft ein hoch geordnetes Produkt: Aus N_2 werden hochwertige Protein-Verbindungen. Ein solcher Vorgang benötigt viel Energie. Er ist von zahlreichen Neben- und Folgereaktionen begleitet, die zu einer so genannten Ausbeute von etwa 16 % (bezogen auf N) führen. Im Vergleich mit komplexen technischen Synthesen ist das nicht schlecht. Ein Teil der Verluste in Neben- und Folgereaktionen ist unvermeidbar, ein anderer jedoch vermeidbar oder zumindest verringerbare. Auf der Suche nach einem im Hinblick auf Ausbeute und Verluste verbesserten Herden- und Düngermanagement (Wirtschaftsdünger und Mineraldünger) wird im Folgenden versucht, die einzelnen emittierenden Vorgänge zu identifizieren, zu bewerten und nach Minderungsmöglichkeiten (mit deren Nebenwirkungen) zu suchen.

4. Was wird wo emittiert?

Für eine Herde mit in Deutschland üblichen Leistungen (*Tabelle 1*) sind die Emissionen in den *Tabellen 2* und *3* aufgeschlüsselt. Man erkennt bei den NH_3 -Emissionen den großen Anteil der Mineraldünger-Anwendung und des Wirtschaftsdüngermanagements. Bei den THG ist die bei weitem wichtigste Quelle die Verdauung (enterische Fermentation im Pansen), gefolgt vom Wirtschaftsdüngermanagement.

Insgesamt belaufen sich die Unterschiede zwischen den Varianten „Stall“ und „Stall und Weide“ für NH_3 auf etwa 5 % und deuten das Potenzial an, das mit konsequenter Weidehaltung erreichbar ist. Die Unterschiede bei den THG betragen lediglich etwa 1 %.

Die geringen Unterschiede bei NH_3 und THG sind eine Folge der Tatsache, dass auch bei Weidegang aller Milchkühe deren Ausscheidungen nur etwa zu einem Siebtel auf die Weidefläche gelangen. Die Milchkühe machen auch nur etwa den dritten Teil der Gesamtherde aus. Zu weiteren Einzelheiten siehe Kapitel 5.3.

5. Sensitivitätsstudie – Untersuchungen von solchen Teilaspekten des komplexen Geschehens, die dem Management ohne oder mit geringen Kosten zugänglich sind

Die hier vorgestellten Untersuchungen benutzen zunächst Datensätze, wie sie aus Milchviehbetrieben in Norddeutschland (Holsteins) erhalten wurden. Die Ergebnisse werden jeweils als absolute (abs.) Emissionen der Herde und relative (rel.) Emissionen je Masseneinheit erzeugten Proteins dargestellt.

5.1 Emissionen und Milchleistung, Flächenbedarf der Futterpflanzen

Leistungssteigerung in der Milchviehhaltung bedeutet zunächst Steigerung der Milchleistung je Laktation. Der züchterische Fortschritt hat in Österreich zwischen 1995 und 2013 zu einer mittleren Leistungssteigerung von etwa 100 kg Kuh⁻¹ a⁻² geführt (UMWELTBUNDESAMT 2015).

Abbildung 4 veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen Milchleistung und Emissionen. Es wird deutlich, dass eine Emissionsminderung immer und nur dann erreicht werden kann, wenn die insgesamt erzeugte Milchmenge gleich bleibt, d.h. aber, dass die Zahl der Milchkühe abnehmen muss.

Zunehmende Leistung erfordert den erhöhten Einsatz von Kraftfutter. Abbildung 5 weist den erhöhten absoluten Flächenbedarf der Herde ebenso aus wie die Verringerung des proteinbezogenen Flächenbedarfs. Eine Emissionen verringernde Verkleinerung der Tierbestände hat eine Flächeneinsparung zur Folge. Angesichts des Flächenverbrauchs in Mitteleuropa und der Belastung von Flächen im

(außereuropäischen) Ausland (landgrabbing) ist dies eine willkommene Begleiterscheinung.

5.2. Veränderte Herdenzusammensetzung – Einfluss von Nutzungsdauer und Tierverlusten

Verändern sich die Nutzungsdauer der Milchkühe oder die Tierverluste in der Herde, so resultieren veränderte Herdenzusammensetzungen und damit auch veränderte Emissionen. Die unseren Rechnungen zugrunde liegenden Annahmen zu Tierverlusten, die das Spektrum in Norddeutschland abdecken, sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 5 zeigt, dass der Anteil der Folgelaktationen steigt, wenn die Verluste geringer werden. Dies ist gleichbedeutend mit einer gesteigerten Milchleistung der Herde. Dies hat einen erhöhten Futterbedarf zur Folge. Aus Tabelle 6 geht hervor, dass die Gesamtzahl der zu fütternden Kälber mit zunehmender Zahl der Laktationen und mit abnehmenden Verlusten abnimmt, da immer weniger Milchkühe durch hochtragende Färsen ersetzt werden müssen. Ebenso nimmt die Zahl der zur Remontierung benötigten Aufzuchtferns ab, die Zahl der Mastferns dagegen zu. Die Zahl der Mastbullen nimmt mit abnehmenden Verlusten zu, mit zunehmender Gesamtzahl der Laktationen aber geringfügig ab, da weniger Kälber geboren werden. Bei drei Laktationen und hohen Verlusten ist eine Remontierung zumindest sichergestellt. Derzeit liegt die Nutzungsdauer bei Holsteins in Österreich bei etwa 3,5 Laktationen, bei Fleckvieh 3,8 Laktationen (gleichzeitig Mittelwert für alle österreichischen Milchkühe) (ZAR 2015), in Deutschland bei 3,06 (LISTE 2016, alle deutschen Holstein-Herdbuchkühe).

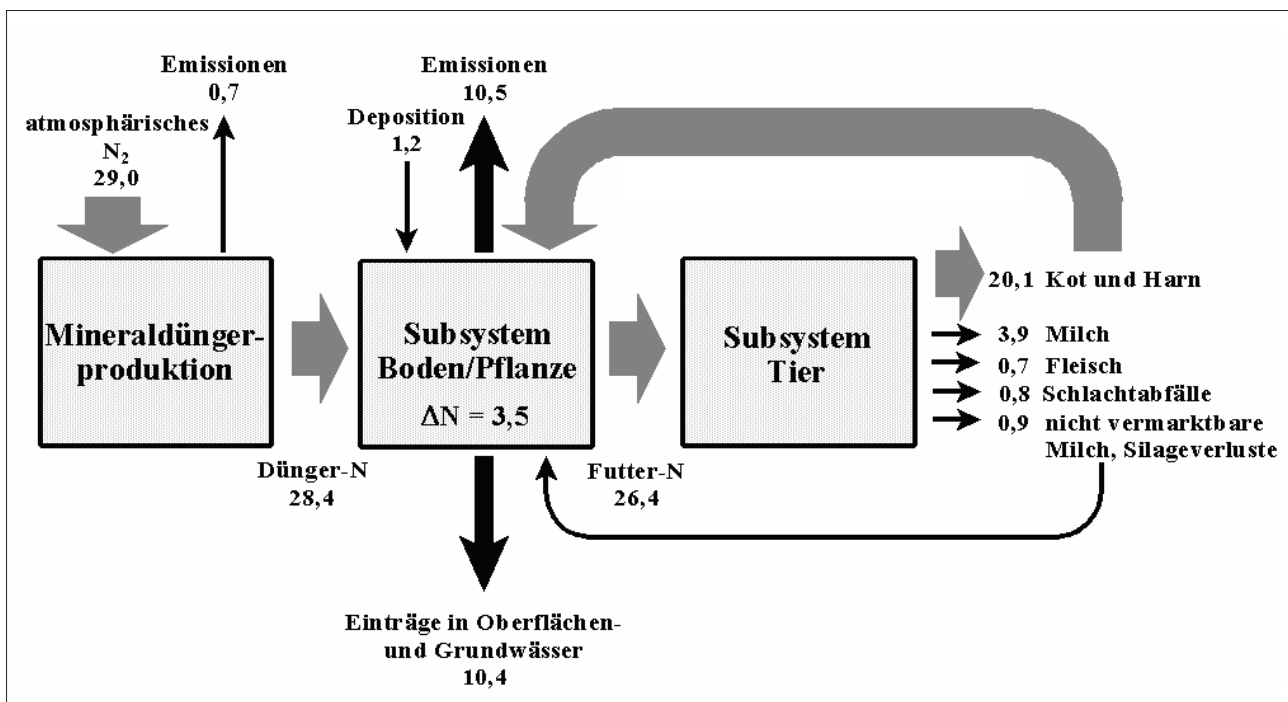


Abbildung 3: Stickstoffbilanz für die Erzeugung von Milch- und Fleischprotein in einer Holstein-Rinderherde unter praxisnahen Bedingungen in Norddeutschland (Angaben in Mg Herde⁻¹ ZKZ⁻¹ N (Standardherde, siehe Tabelle 1), geringe Verluste, Wirtschaftsdüngerausbringung überwiegend mit Schleppschläuchen, Mineraldüngermix mit 26 % Harnstoff und 7 % Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung, Rest Kalkammonsalpeter)

Die aus diesen komplexen Betrachtungen resultierenden NH_3 -Emissionen sind in den *Abbildungen 6* und *7* aufgeführt.

Absolute und relative Emissionen weisen in beiden Fällen den gleichen Trend auf. Vermehrte Laktationen und verbesserte Tiergesundheit lohnen sich bei gleichzeitig erhöhter Leistung der Herde.

5.3 Weidegang

Weidegang ist die artgerechte Haltungsform für Rinder. In Norddeutschland ist Weidegang für Milchkühe regional durchaus üblich. Alle Aufzuchtfernen werden im zweiten Sommer ganztags geweidet. Mastrinder werden praktisch ausnahmslos im Stall gehalten. *Abbildung 8* zeigt, dass Weidegang bei Milchkühen – hier 8 h d^{-1} bei einer Weidedauer von 150 d a^{-1} – sich günstig auf die NH_3 -Emissionen auswirkt. Zwar haben die Tiere einen erhöhten Energiebedarf (Bewegungsenergie), ihr Harn dringt jedoch unmittelbar in den Boden ein und verursacht so nur geringe

Tabelle 1: Annahmen zu Leistungsdaten der Tiere der Referenzherde (aus DÄMMGEN et al. 2017)

	Einheit	Betrag
Milchkühe		
Nennleistung	$\text{kg Tier}^{-1} \text{ ZKZ}^{-1}$	8.000
Milchfett		
1. Laktation	kg kg^{-1}	0,0395
Folgelaktationen	kg kg^{-1}	0,0405
Milchprotein		
1. Laktation	kg kg^{-1}	0,0333
Folgelaktationen	kg kg^{-1}	0,0330
Lebendmassen		
vor dem 1. Kalben	kg Tier^{-1}	625
vor dem 2. Kalben	kg Tier^{-1}	675
vor weiteren Kalbungen	kg Tier^{-1}	725
Verluste		gering
Kälber		
Lebendmasse	kg Tier^{-1}	125
Mastfärsen		
Lebendmasse	kg Tier^{-1}	535
tägliche Zunahme	$\text{g Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$	1.000
Mastbullen		
Lebendmasse	kg Tier^{-1}	675
tägliche Zunahme	$\text{g Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$	1.200

Tabelle 2: Aufgeschlüsselte NH_3 -Emissionen der Referenzherde, geordnet nach Bedeutung. Zu Einzelheiten siehe Text (DÄMMGEN et al. 2017)

Quelle	NH_3 -Emissionen in $\text{Mg Herde}^{-1} \text{ ZKZ}^{-1} *$	
	nur Stall	Stall und Weide
Mineraldünger, Ausbringung	5,03	4,64
Wirtschaftdüngermanagement, Ausbringung	3,78	3,55
Wirtschaftdüngermanagement, Stall	2,69	2,53
Mineraldünger, Produktion	0,72	0,71
Wirtschaftdüngermanagement, Güllelager	0,55	0,52
Weidegang, Ausscheidungen	0,04	0,16
Silageverluste (Wirtschaftdüngermanagement)	0,16	0,16
Nicht vermarktbare Milch (Wirtschaftdüngermanagement)	0,01	0,01
Summe	12,98	12,28

* $1 \text{ Mg} = 10^3 \text{ kg}$.

NH_3 -Emissionen. Bei der Beurteilung dieser Minderung muss allerdings bedacht werden, dass dieser Effekt nur für Milchkühe während deren Zeit auf der Weide, d.h. für nur etwa ein Siebtel eines Jahres, wirksam wird.

5.4 Verzicht auf Mineraldünger mit hohen Emissionsfaktoren, bessere Anrechnung des Wirtschaftsdünger-N

Die Anwendung von Mineraldüngern ist eine erhebliche NH_3 -Quelle (*Tabelle 2*). Bei den hier vorgestellten Rechnungen wird etwa ein Drittel der N-Menge mit Düngern mit

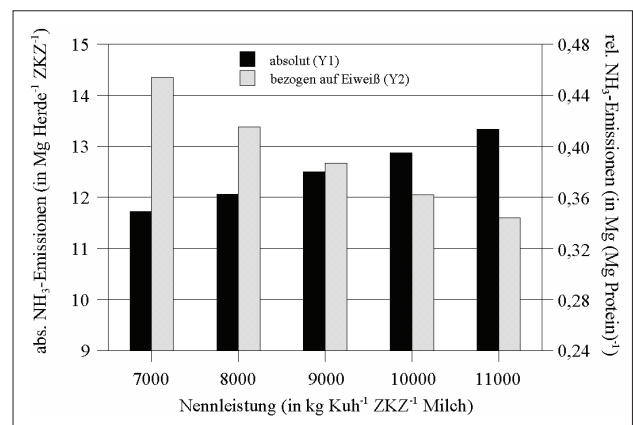


Abbildung 4: Absolute (auf die Herde bezogene) und relative (auf die Proteinmenge bezogene) NH_3 -Emissionen als Funktion der Milchleistung. Andere Daten Standarddaten wie in *Tabelle 1*

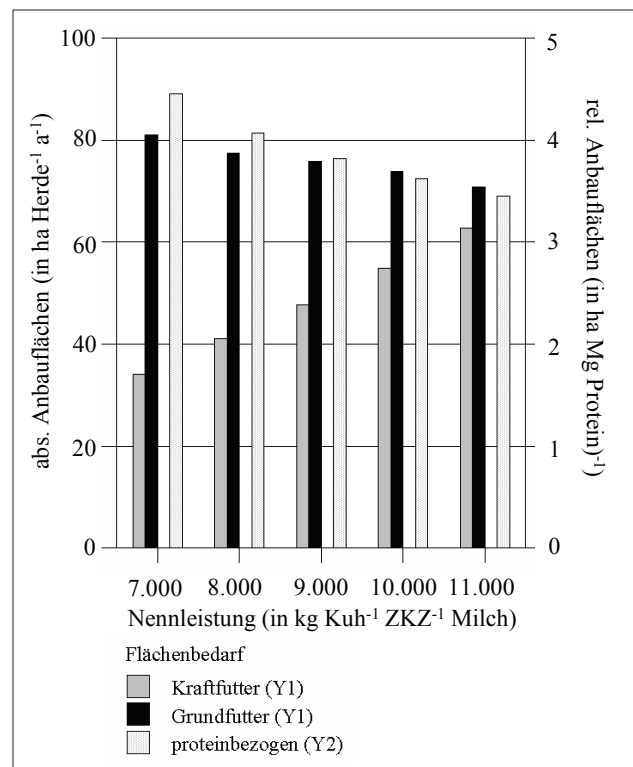


Abbildung 5: Absoluter (auf die Herde bezogener) und relativer (auf die Proteinmenge bezogener) Flächenbedarf als Funktion der Milchleistung

Tabelle 3: Aufgeschlüsselte Treibhausgas-Emissionen der Referenzherde, geordnet nach dem Beitrag zur Treibhausgasemission
(Zu Einzelheiten siehe Text. Für einige Quellen sind THG nur als Summe angegeben)

THG	Gas	GWP	Gase in Mg Herde ⁻¹ ZKZ ⁻¹		THG in Gg Herde ⁻¹ ZKZ ⁻¹ CO ₂ -eq *	
			nur Stall	Stall/ Weide	nur Stall	Stall/ Weide
enterische Fermentation	CH ₄	25	23,8	23,7	0,594	0,593
Wirtschaftsdünger-Management	CH ₄	25	5,49	5,12	0,137	0,128
Mineraldünger, nach Ausbringung	N ₂ O	298	0,35	0,35	0,106	0,105
indirekte Emissionen nach Deposition	N ₂ O	298	0,19	0,18	0,056	0,055
indirekte Emissionen nach Auswaschung	N ₂ O	298	0,16	0,17	0,049	0,050
Wirtschaftsdünger-Management	N ₂ O	298	0,16	0,15	0,047	0,044
Düngealk	CO ₂	1	30,78	30,89	0,031	0,031
Verbrennung von Diesel und Heizöl	CO ₂	1	23,32	23,42	0,023	0,023
Harnstoff-Anwendung	CO ₂	1	22,74	22,65	0,023	0,023
Bereitstellung elektrischer Energie	THG	1	15,66	15,77	0,016	0,016
Mineraldünger-Produktion, Kalkbruch	THG	1	12,32	12,27	0,012	0,012
Verbrennung von Erdgas (außer Mineraldünger-Produktion)	CO ₂	1	5,14	5,22	0,005	0,005
Silage-Verluste (Wirtschaftsdünger-Management)	CH ₄	25	0,16	0,15	0,004	0,004
Verbrennung von Diesel und Heizöl	N ₂ O	298	0,009	0,009	0,003	0,003
Silage-Verluste (Wirtschaftsdünger-Management)	N ₂ O	298	0,006	0,006	0,002	0,002
Futterkalk	CO ₂	1	1,37	1,39	0,0014	0,0014
Weidegang, Ausscheidungen	CH ₄	25	0,000	0,046	0,0000	0,0012
nicht vermarktbarer Milch (Wirtschaftsdünger-Management)	CH ₄	25	0,017	0,015	0,0004	0,0004
Verbrennung von Erdgas (außer Mineraldünger-Produktion)	N ₂ O	298	0,0009	0,0009	0,0003	0,0003
nicht vermarktbarer Milch (Wirtschaftsdünger-Management)	N ₂ O	298	0,0004	0,0004	0,0001	0,0001
Verbrennung von Erdgas (außer Mineraldünger-Produktion)	CH ₄	25	0,0009	0,0009	0,0000	0,0000
Summe					1,11	1,10

* 1 Gg = 10⁶ kg

Tabelle 4: Annahmen zu Tierverlusten durch Schlachtung und Verenden (gerundete Zahlen)

	Verluste durch Schlachtung und Verenden				nutzbarer Anteil (Schlachtung)			
	hoch		mäßig		gering		sehr gering	
	Tier	Tier ⁻¹	Tier	Tier ⁻¹	Tier	Tier ⁻¹	Tier	Tier ⁻¹
Milchkühe, 1. Laktation	0,20	0,15	0,10	0,05	0,92			
Milchkühe, Folgelaktationen	0,07	0,06	0,05	0,03	0,92			
Kälber insgesamt	0,15	0,125	0,10	0,08	0,0			
Färsenkälber	0,12	0,095	0,07	0,06	0,0			
Bullenkälber	0,18	0,155	0,13	0,10	0,0			
Aufzuchtfärsen	0,02	0,015	0,01	0,01	0,6			
Mastfärsen	0,03	0,025	0,02	0,02	0,6			
Mastbullen	0,06	0,055	0,05	0,04	0,6			

Tabelle 5: Anzahl der zu melkenden und zu fütternden Milchkühe als Funktion der Laktationsnummer, der Gesamtzahl der Laktationen und der Tierverluste (gerundete Zahlen)

Gesamtzahl der Laktationen	Verluste	Tiere Herde ⁻¹ Laktationsnummer					Summe
		1.	2.	3.	4.	5.	
3	hoch	39,3	31,4	29,2			100,0
	mäßig	37,8	32,1	30,2			100,0
	gering	36,3	32,7	31,0			100,0
	sehr gering	34,8	33,1	32,1			100,0
4	hoch	30,9	24,7	23,0	21,4		100,0
	mäßig	29,4	25,0	23,5	22,1		100,0
	gering	28,0	25,2	24,0	22,8		100,0
	sehr gering	26,6	25,2	24,5	23,7		100,0
5	hoch	25,8	20,6	19,2	17,8	16,6	100,0
	mäßig	24,4	20,7	19,5	18,3	17,2	100,0
	gering	23,0	20,7	19,7	18,7	17,8	100,0
	sehr gering	21,6	20,5	19,9	19,3	18,7	100,0

Tabelle 6: Anzahl der in der Herde zu fütternden Tiere außer Milchkühen als Funktion der Zahl der Laktationen und der Tierverluste (gerundete Zahlen)

Gesamtzahl der Laktationen	Verluste	Tiere Herde ⁻¹				
		Färsenkälber	Bullenkälber	Aufzuchtfärsen	Mastfärsen	Mastbullen
3	hoch	50,6	49,0	46,4	0,5	45,3
	mäßig	50,2	48,6	42,8	4,6	45,4
	gering	49,9	48,3	39,2	8,5	45,5
	sehr gering	49,3	47,8	36,2	11,5	45,5
4	hoch	50,2	48,6	36,8	10,1	44,8
	mäßig	49,8	48,3	33,3	14,0	45,0
	gering	49,7	48,1	30,3	17,4	45,3
	sehr gering	49,3	47,7	27,4	20,3	45,5
5	hoch	49,9	48,3	30,5	16,3	44,6
	mäßig	49,7	48,1	27,6	19,7	44,9
	gering	49,6	48,0	25,0	22,7	45,2
	sehr gering	49,2	47,7	22,5	25,2	45,4

hohen Emissionsfaktoren ausgebracht. (NH₃-Emissionen werden auf ausgebrachtes N bezogen.) Sie betragen nach EMEP (2013)⁵ für

Kalkammonsalpeter	0,022 kg (kg N) ⁻¹
Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung	0,125 kg (kg N) ⁻¹
Harnstoff (fest)	0,243 kg (kg N) ⁻¹

Die Düngermengen werden nach der deutschen Düngerverordnung (DüV) auf der Basis der mit den Früchten entzogenen N-Mengen berechnet. Dabei werden die sogenannten unvermeidbaren Verluste pauschal berücksichtigt; vom eingesetzten Wirtschaftsdünger-N wird allerdings nur die Hälfte als Eintrag berechnet, was wiederum mit den Verlusten an die Atmosphäre und Oberflächen- und Grundwässer begründet wird. Werden diese Verluste ausbringungsspezifisch berücksichtigt, wird im Laufe der Zeit fast der gesamte Wirtschaftsdünger-N pflanzenverfügbar. Für die norddeutsche Herde (siehe *Tabelle 1*) wird angenommen, dass Szenario A nach DüV mit dem Düngermix mit 26 % Harnstoff (HS) und 6 % Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) gedüngt wird. In Szenario B wird der feste HS je zur Hälfte durch Kalkammonsalpeter (KAS) und AHL ersetzt. In Szenario C wird nur noch KAS gedüngt. In Szenario D wird unter Berücksichtigung der gasförmigen Verluste eine Verfügbarkeit des Wirtschaftsdünger-N von 80 % angenommen.

2013 betrug der Anteil von HS an den ausgebrachten N-Düngern in Österreich etwa 12 % (UMWELTBUNDESAMT 2015). Die Ergebnisse dieser Szenarienrechnungen sind in *Abbildung 9* zusammengestellt.

6. Treibhausgasemissionen

Der Anteil der Landwirtschaft an den nationalen THG-Emissionen ist vergleichsweise gering. Verfolgt man das Ziel, NH₃-Emissionen zu verringern, so werden in der Regel auch die THG-Emissionen verringert. Die Zusammenhänge bei NH₃ und N₂O sind sicher nicht linear; jede Maßnahme, die zu weniger N im System führt, hat auch verringerte N₂O-Emissionen zur Folge.

Wichtigstes THG ist CH₄ aus der Verdauung. Hier sind die relativen Minderungen bei Leistungssteigerung ebenso ge-

geben wie bei den NH₃-Emissionen. Absolute Minderungen ergeben sich auch hier nur, wenn man die Leistungssteigerung zur Verringerung der Bestände nutzt.

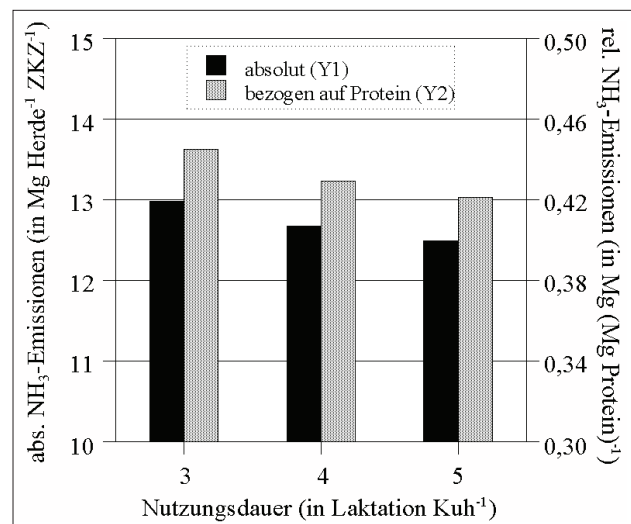


Abbildung 6: Absolute (auf die Herde bezogene) und relative (auf die Proteinmenge bezogene) NH₃-Emissionen der Herde als Funktion der Nutzungsdauer der Milchkühe

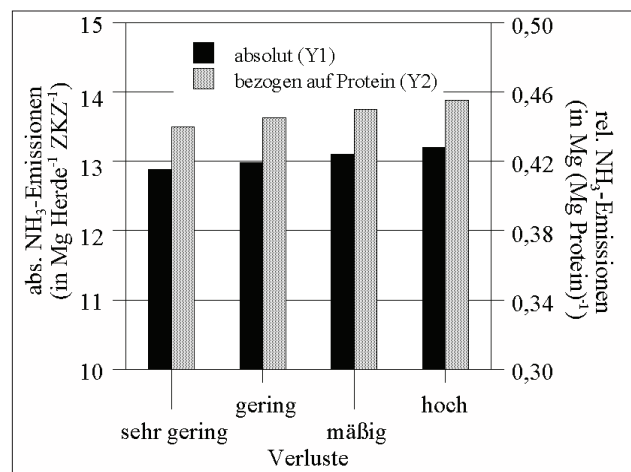


Abbildung 7: Absolute (auf die Herde bezogene) und relative (auf die Proteinmenge bezogene) NH₃-Emissionen als Funktion der Tierverluste der Herde

⁵ Auf die Unsicherheit dieser Emissionsfaktoren, insbesondere bei Harnstoff, sei ausdrücklich hingewiesen.

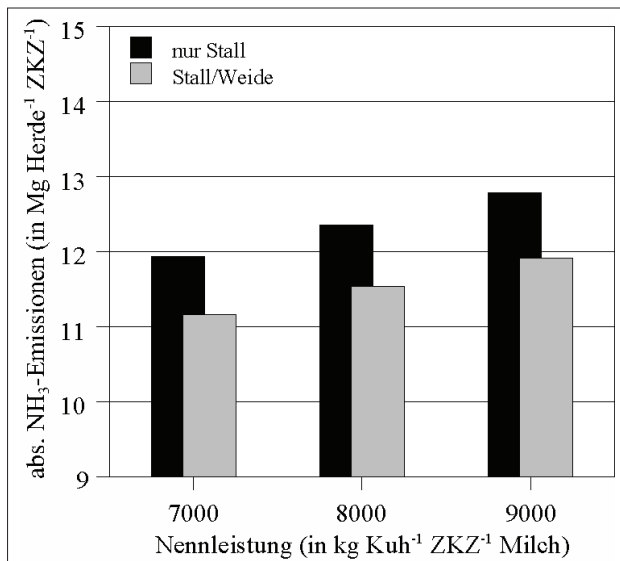


Abbildung 8: Einfluss des Weidegangs der Milchkühe auf die NH₃-Emissionen der Herde

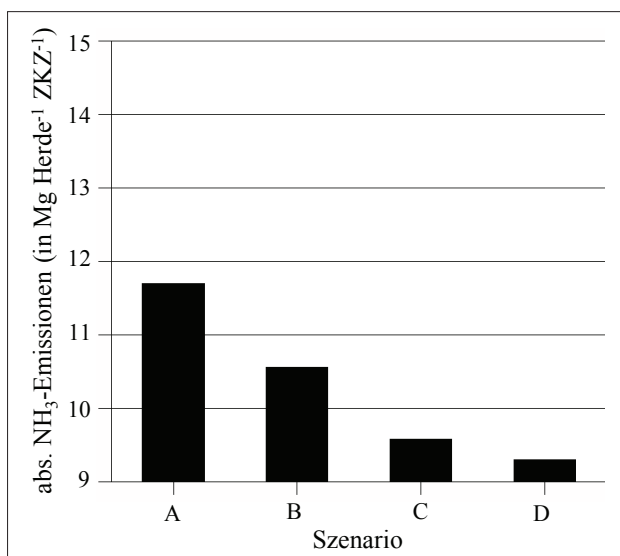


Abbildung 9: Wirkung unterschiedlicher Mineraldünger-Mixe (Szenarien A bis C) und zusätzlich einer verbesserten Anrechnung von Wirtschaftsdünger-N auf die NH₃-Emissionen (Szenario D). (Zu Einzelheiten siehe Text)

In DÄMMGEN et al. (2016b) werden die Möglichkeiten zur Minderung der THG-Emissionen stets parallel zu denen der NH₃-Emissionen beschrieben.

7. Diskussion

Übertragbarkeit norddeutscher Erkenntnisse auf die Verhältnisse in Österreich

Die österreichische Milcherzeugung ist deutlich Grünlandbasiert und findet notwendigerweise auch in schwer bewirtschaftbaren Bergregionen statt, vorzugsweise mit Fleckviehkühen. Damit kommt der Kombination der Milch- und Fleischerzeugung eine größere Bedeutung als in der (norddeutschen) Holsteinzucht zu. Das genutzte Modell ist in der Lage, mögliche Rassenunterschiede über

differenzierte Leistungsparameter als Eingangsgrößen zu erfassen.

Generelle Trends wie die vorzugsweise längere Nutzungsdauer der Kühe, weitere Reduzierung der Tierverluste und der punktgenaue Einsatz von Mineraldünger sollten jedoch für Österreich in gleicher Weise, wie hier für Norddeutschland dargestellt, erwartet werden. Das trifft sinngemäß auch für diejenigen Prozesse zu, die in der vorliegenden Arbeit nicht erfasst wurden (etwa Wirtschaftsdüngermanagement einschließlich Biogas-Gewinnung; Erzeugung von Biomilch).

Die derzeitige Nutzungsdauer der Milchkühe ist wirtschaftlich „unter dem Optimum“ (DGFZ-PROJEKT-GRUPPE „Ökonomie und Tiergesundheit“ 2013, MISSFELDT et al. 2015, LISTE 2016).

Neben solchen ökonomischen Betrachtungen dürfen die Perspektiven des Tierschutzes nicht vergessen werden. Wie in Deutschland werden auch in Österreich (und anderen Teilen der Welt) die rasanten Leistungssteigerungen in der Holsteinzucht ihre Schattenseiten gezeigt haben: lang andauernde negative Energiebilanzen in der Früh-laktation im Hochleistungsbereich, Fruchtbarkeits- und Gesundheitsprobleme in Verbindung mit einer sehr kurzen Nutzungsdauer; speziell in den sehr großen (norddeutschen) Herden mit Holsteinrindern (BRADE 2016).

Die durch die extremen metabolischen Höchstleistungen der Milchkuh bedingten Gesundheitsprobleme (z.B. FLEISCHER et al. 2001) sind zum Teil mit erheblichen Leiden der Tiere verbunden. Während Ovarialzysten in erster Linie über eine Verlängerung der ZKZ die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, handelt es sich bei den in der Häufigkeit mit der Milchleistung korrelierten Klauenproblemen um sehr schmerzhaft oder beim Milchfieber um eine schwerwiegende, z.T. lebensbedrohliche Erkrankung, die mit Lähmungen, gastrointestinalen Funktionsstörungen und mit Kreislaufkomplikationen einhergeht. Ursache ist eine negative Ca-Bilanz in der Frühphase der Laktation (CONSTABLE et al. 2016). Neben den von Vertretern des Tierschutzes häufig zu Recht kritisierten Haltungsbedingungen sind leistungsbedingte Leiden der Tiere auch aus Sicht des Tierschutzes sehr problematisch. Öffentliche Diskussionen zur Tiergerechtigkeit sind hier längst gegeben und zugehörige Produktionsbedingungen werden zunehmend kritisch hinterfragt.

Machbarkeit und Erfolge

Emissionsminderungen von 12 % erscheinen ohne Einschränkungen der landwirtschaftlichen Produktion nur dann erreichbar, wenn man die Vielzahl möglicher kleiner Schritte nutzt. Die in dieser Arbeit behandelten Maßnahmen verursachen keine zusätzlichen Kosten. Das unterscheidet sie von den meisten technischen Lösungen.

Emissionsmindernde Maßnahmen, wie sie hier für das Ende der Produktionskette (Pflanzenbau, Haltung, Wirtschaftsdüngermanagement) beschrieben wurden, wirken sich auf die Gesamtkette aus. Sie alle bringen eine Optimierung des Stickstoffhaushalts mit sich.

Emissionsminderungen setzen Machbarkeit voraus. Dann allerdings setzt das Machen ein. Im Gegensatz zur Emissionsminderung etwa bei Kraftwerken sind min-

dernde Maßnahmen in der Landwirtschaft oder auch im Individualverkehr dadurch erschwert, dass die Zahl der Entscheidungsträger etwa eine Million mal so groß ist wie bei den Kraftwerksbetreibern. Jeder einzelne muss von der Sinnhaftigkeit seines Tuns überzeugt werden; jeder hat andere Gründe, sich so und nicht anders zu verhalten. Das komplexe Argumentationsgefüge muss mit einfachen Regeln geordnet und überwunden werden. Die Erfahrung mit landwirtschaftlichen Betrieben spricht dafür, dass solche Regeln mit klaren Aufgabenverteilungen und Verantwortlichkeiten durchgesetzt und ihre Einhaltung überprüft werden muss. Einer Gesellschaft von Verbrauchern muss schließlich verdeutlicht werden, dass die Leistungen der Landwirtschaft über den Preis der Produkte (zu denen auch Landschaftsschutz, Artenschutz usw. gehören) angemessen honoriert werden muss.

Ein einfacher Denkansatz: „Wenn A, dann B“ ist offensichtlich fehl am Platze. Das Neuordnen eines komplexen Systems von Stoff- und Energieflüssen benötigt einen komplexen Politikansatz.

Unsicherheiten

Die hier eingesetzten Rechenverfahren für die Quantifizierung der Emissionen sind mit Unsicherheiten behaftet. Deren Größe muss bei der Emissionsberichterstattung zusammengefasst berechnet werden (siehe HAENEL et al. 2016). Für die landwirtschaftlichen NH_3 -Emissionen im Jahr 2014 wurde eine Unsicherheit (halbes 95%-Konfidenzintervall) von 17,4 % berechnet, für den Trend zwischen 1990 und 2014 eine von 3,9 %. Die THG von 2014 weisen eine Unsicherheit von 37,5 % auf, während die Unsicherheit des Trends zwischen 1990 und 2014 bei 12,8 % liegt. In unseren Rechnungen wurden letztlich Vergleichsrechnungen im Rahmen von *ceteris paribus* vorgenommen; die Unterschiede (Trends) werden dadurch zutreffender als die Gesamtbeträge abgebildet.

8. Literatur

- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), 2007: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Pflanzenschutzmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Fassung vom 27. Februar 2007. Bundesgesetzblatt Teil 1, 221-240.
- BRADE, W., 2016: Kritische Bewertung der aktuellen Zuchtzielsetzung bei Deutschen Holstein-Rindern. *Prakt. Tierarzt* 97, 810-815.
- CONSTABLE, P.D., K.W. HINCHCLIFF, S.H. DONE und W. GRUENBERG, 2016: *Veterinary Medicine: A Textbook of the Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs and Goats*. 11th ed. St Louis MO, Saunders Elsevier.
- DÄMMGEN, U., L. GRÜNHAGE und H.-J. JÄGER, 1997: The description, assessment and meaning of vertical fluxes of matter within ecotopes – a systematic consideration. *Environmental Pollution* 96, 249-260.
- DÄMMGEN, U., B. AMON, S. GYLDENKÆRNE, N.J. HUTCHINGS, H. KLEINE KLAUSING, H.-D. HAENEL und C. RÖSEMANN, 2011: Reassessment of the calculation procedure for the volatile solids excretion rates of cattle and pigs in the Austrian, Danish and German agricultural emission inventories. *Landbauforschung* 61, 115-126.
- DÄMMGEN, U., W. BRADE, U. MEYER, H.-D. HAENEL, C. RÖSEMANN, H. FLESSA, M. STROGIES und M. SCHWERIN, 2016a: Gaseous emissions from protein production with German Holsteins – a mass flow analysis of the entire production chain. 1. Goals, methods and input data. *Landbauforschung Appl. Agric. Forestry Res.* 66, 161-192.
- DÄMMGEN, U., W. BRADE, U. MEYER, H.-D. HAENEL, C. RÖSEMANN, H. FLESSA, M. STROGIES und M. SCHWERIN, 2016b: Gaseous emissions from protein production with German Holsteins – a mass flow analysis of the entire production chain. 2. Results. *Landbauforschung Appl. Agric. Forestry Res.* 66, 193-214.
- DÄMMGEN, U., W. BRADE, H.-D. HAENEL, C. RÖSEMANN, J. DÄMMGEN und U. MEYER, 2017: Emissionen aus der Milchrinderhaltung und ihre Beeinflussung durch das Herdenmanagement. *Tierärztliche Praxis (G)*, im Druck.
- DGFZ (Deutsche Gesellschaft für Züchtungsforschung) Projektgruppe „Ökonomie und Tiergesundheit“, 2013: Die Tierzucht im Spannungsfeld von Leistung und Tiergesundheit – interdisziplinäre Betrachtungen am Beispiel der Rinderzucht. https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=0ahUKewjr382X6tjRAhUqD5oKHdJbDGIQFghKMAc&url=http%3A%2F%2Fwww.dgfz-bonn.de%2Fservices%2Ffiles%2Fpdf%2FStellungnahme%2520zur%2520Nutzungsdauer%2520Rind%25202013_FINAL.pdf&usq=AFQjCNG3RFmqWffbLuODQ1OEqLAW1AbA
- EMEP, 2013. EMEP-EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2013. Technical Report 12/2013. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>, besucht am 14.11.2016.
- EU (Europäische Union), 2016 - Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=EN>
- FLEISCHER, P., M. METZNER, M. BEYERBACH, M. HOEDEMAKER und W. KLEE, 2001: The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 2025-2035.
- GUGGENBERGER, TH., M. HERNDL und M. BYSTRICKY, 2015: Datenverarbeitungskonzept für die Ökobilanzierung. In: Abschlussstagung des Projektes FarmLife, 22.-23.9.2015, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein 2015, S. 23-32. [online], <http://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/en/component/jdownloads/viewcategory/3126-farmlife-2015.html>
- HAENEL, H.-D., C. RÖSEMANN, U. DÄMMGEN, A. FREIBAUER, S. WULF, B. EURICH-MENDEN, H. DÖHLER, C. SCHREINER, B. BAUER und B. OSTERBURG, 2016: Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2014. Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig, Johann Heinrich von Thünen Institut, Thünen Rep 37, 409 S.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol 2 Energy. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>; Vol 3 Industrial Processes and Product Use. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>, Vol 4 Agriculture, forestry and other land use. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007: Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007. <https://www.ipcc>

- ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html, besucht am 22.11.2016.
- KTBL – Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, 2014: Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15. 24. Aufl., Darmstadt: KTBL, 827 S.
- LANGÄUER, M., 2016: Verpflichtende Reduktion von Ammoniak-Emissionen. <https://www.lko.at/verpflichtende-reduktion-von-ammoniak-emissionen+2500+2483307>
- LOHRENGEL, B., A. HAINSCH, U. DÄMMGEN, E. KLASMEIER und M. KÖSTER, 2013: Räumliche und zeitliche Variation von Ammoniak-Konzentrationen in der Außenluft. Immissionsschutz 18, 112-119.
- LISTE, P., 2016: Nutzungsdauer und Lebensleistung steigt. topagraronline, <https://www.topagrar.com/news/Rind-Rindernews-Nutzungsdauer-und-Lebensleistung-steigt-5152451.html>
- MISSFELDT, F., R. MISSFELDT und K. KUWAN, 2015: Ökonomisch optimale Nutzungsdauer von Milchkühen. Züchtungskde. 87, 120-143.
- UMWELTBUNDESAMT, 2015: Austria's Informative Inventory Report (IIR) 2015: Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.
- VAN ZANTEN, M.C., R.J. WICHINK KRUIT, R. HOOGERBRUGGE, E. VAN DER SWALUW und W.A.J. VAN PUL, 2017: Trends in ammonia measurements in the Netherlands over the period 1993-2014. Atmospheric Environment 148, 352-360.
- ZAR (Zentrale Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter), 2015: Zuchtwertschätzung Nutzungsdauer. <http://cgi.zar.at/download/ZWS/Nutzungsdauer.pdf>

