

Gasförmige Emissionen bei der Eiweißherzeugung mit Deutschen Holsteins – eine Stoffstromanalyse der gesamten Produktionskette 3. Bewertung der Milchkühhaltung in einer grünlandbasierten Milchherzeugung bei begrenztem Kraftfuttereinsatz

Ulrich Dämmgen*, Wilfried Brade**, Ulrich Meyer***, Heinz Flessa*, Hans-Dieter Haenel* und Claus Rösemann*

Zusammenfassung

Angesichts notwendiger Emissionsminderungen in der deutschen Landwirtschaft berechnet und bewertet die vorliegende Arbeit gasförmige Emissionen (Ammoniak, Treibhausgase) bei der Milchherzeugung auf Grünlandstandorten bei limitierter Kraftfutterzufütterung. Die Erfassung schließt die Vorkette (Futterherzeugung, Bereitstellung von Düngern, Wasser und elektrischer Energie) ein.

Unter vergleichbaren Bedingungen (Kraftfutterzufütterung, gleiche Grundfutterqualitäten, Leistungsniveau etc.) erweist sich eine saisonale Weidehaltung im Vergleich zu einer ganzjährigen Stallhaltung als vorteilhaft; vor allem bezüglich der Ammoniak-Emissionen. Dabei sollte die Dauer der Weideperiode so lange wie betrieblich möglich ausgedehnt werden.

Eine regelmäßige Kraftfuttersupplementierung ist vor allem dann zu empfehlen, wenn nur mäßige Erträge und Gras- bzw. Grassilagequalitäten auf dem Grünland erzeugt werden können. Die richtige Wahl des Kraftfutters – vor allem bezüglich seines Proteingehaltes – trägt bereits zur Emissionsminderung bei.

Schlüsselwörter: *Emission, Ammoniak, Treibhausgase, Milchkühe, Grünland, Weide*

Abstract

Gaseous emissions arising from protein production with German Holsteins – an analysis of the energy and mass flows of the entire production chain 3. Assessment of dairy cow husbandry in grassland-based milk production with limited supply of concentrates

Emission reduction in German agriculture has become a necessity. This paper deals with the calculation and assessment of gaseous emissions (ammonia, greenhouse gases) from grassland-based milk production with limited supply of concentrates. This includes the emissions from the entire production chain (feed and fertilizer production, provision of water and electrical energy).

Under comparable conditions (supplementing with concentrates, roughage quality, performance etc.) grazing proves to be favourable as compared to exclusive housing, in particular for ammonia emissions. The grazing period should be extended to the maximum duration operationally possible.

Regular supplementing with concentrates is recommended, in particular, if the yields of grassland or grass and silage qualities are moderate. The choice of a concentrate with adequate protein content helps reducing emissions.

Keywords: *emission, ammonia, greenhouse gases, dairy cows, grassland, grazing*

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

** Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo); zurzeit: Leibniz-Institut für Nutztierbiologie Dummerstorf (FBN), Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf

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

1 Einleitung

Die Produktion von Milch und Rindfleisch ist zwangsläufig mit Emissionen von Treibhausgasen (vor allem Methan, CH_4 , und Lachgas, N_2O) und luftverschmutzenden Gasen (vor allem Ammoniak, NH_3) verbunden. Hierbei kommt den CH_4 - und NH_3 -Emissionen aus der Milchkuhhaltung besondere Bedeutung zu. Es ist daher sinnvoll, dass emissionsmindernde Maßnahmen in der Landwirtschaft schwerpunktmäßig bei der Milchproduktion ansetzen und dabei die gesamte Produktionskette einschließlich des Koppelprodukts Rindfleisch in die Überlegungen einbeziehen.

Innerhalb der EU wurde jüngst eine Verschärfung von Emissionsobergrenzen, speziell auch für NH_3 -Emissionen und für zu einem erheblichen Teil aus NH_3 -Emissionen herrührenden Sekundärfeinstaub-Belastungen, empfohlen (EU, 2016). Deutschland ist allerdings jetzt schon nicht in der Lage, die nationale Emissionsobergrenze für NH_3 einzuhalten; die Emissionen sind in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen (Haenel et al., 2016). Im Bereich der Treibhausgase erfüllt Deutschland zurzeit seine Verpflichtungen. Erhebliche weitergehende Minderungen sind allerdings geplant (UBA, 2015). Dabei wird den CH_4 -Emissionen, die aus der enterischen Fermentation der Wiederkäuer resultieren, (vorerst) noch eine Sonderstellung zugebilligt werden.

Im Rahmen der bisherigen Aktivitäten wurden bereits komplette Mutterkuhherden (mit Nachzucht) zur Rindfleischerzeugung (Dämmgen et al., 2015) und die konventionelle Proteinerzeugung (Milch/Fleisch) mit Einnutzungsriedern (Deutsche Holsteins) bei hohen Laktationsleistungen und intensivem Kraftfuttereinsatz modelliert (Dämmgen et al., 2016 a, b). Es zeigte sich, dass Emissionsminderungen vor allem dadurch zustande kommen, dass an zahlreichen ‚Schaltstellen‘ (etwa Verringerung der Tierverluste, längere Lebensdauer der Milchkühe, Verringerung des Harnstoffeinsatzes in der Futterproduktion, usw.) jeweils geringe Erfolge erzielt werden können, deren Summe dann aber bedeutend und deren Zusatzkosten gering sind.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist ebenfalls zu bedenken, dass sich bei Verbrauchern ein Kaufverhalten einzustellen beginnt, das dazu führt, dass Molkereien zunehmend die Weidehaltung von Kühen als ein zusätzliches Verkaufsargument einsetzen. Gesichtspunkte sind dabei die Naturbelassenheit der Lebensmittel (z. B. FrieslandCampina: ‚Weidemilch‘) (Menzel et al., 2015; Milieudefensie, 2015). Aspekte der Tiergesundheit und des Wohlbefindens finden sich z. B. bei Olmos et al. (2009), Burow et al. (2011), Wagner et al. (2015). Eine gegenüber der Stallhaltung verringerte Verletzungsgefahr auf der Weide führen Armbrecht et al. (2015) an. Demgegenüber ist Weidegang bei hohen Proteingehalten des Weidefutters mit verringerter N-Effizienz verbunden. Weidehaltung bedeutet ebenfalls höhere Abhängigkeit vom Wettergeschehen, erhöhten Arbeitsaufwand etc. (zu einer ausführlichen Diskussion siehe Schären et al., 2016).

Bisher wurde bei unseren Arbeiten die Erzeugung von Milcheiweiß bei konsequenter Weidehaltung und sehr begrenztem Kraftfuttereinsatz in Grünlandregionen nicht berücksichtigt. Auch in der internationalen Literatur sind

kaum entsprechende Arbeiten zu dieser Thematik zu finden (O'Mara, 2004).

Mit der vorliegenden Arbeit sollen die gasförmigen Emissionen bei begrenztem Kraftfuttereinsatz und unterschiedlicher Dauer der saisonalen Weidehaltung am Beispiel von Holstein-Kühen untersucht werden. Eine konsequente Nutzung von Grünland ist vor allem in solchen Regionen zu suchen, in denen ackerbaufähige Böden und somit alternative Nutzungsmöglichkeiten mittels Wiederkäuern kaum vorhanden sind. Damit sind notwendige Kraftfuttermengen für Milchkühe vorrangig durch Zukauf bereit zu stellen. Aus volks- und betriebswirtschaftlicher Sicht interessiert dabei ein nur geringer Kraftfuttereinsatz in besonderer Weise.

Angesichts der Tatsache, dass die Proteinerzeugung einer Herde zu über 80 % aus der Milch resultiert (Dämmgen et al., 2016 b), soll allerdings nicht die gesamte Produktionskette betrachtet werden, sondern lediglich die aus der Haltung der Milchkühe und der zur Bereitstellung von Futter, Wasser und Energie resultierenden Emissionen.

2 Material und Methoden

2.1 Modelle

Genutzt wird das Milchkuhmodell von Dämmgen et al. (2009) in modifizierter Form (siehe Haenel et al., 2016), das Ausscheidungen als Funktion der Leistung (Milchmenge und -zusammensetzung, Lebendmasse, tägliche Zunahme) und der Futterqualität berechnet. Es wird hier invertiert: Eingangsgrößen sind nunmehr Futtermengen und Futtereigenschaften; die Milchleistung (bei gegebenen Fett- und Eiweißkonzentrationen) und gegebenem Einsatz an Kraftfutter wird für unterschiedliche Weidedauern und Grundfutterqualitäten berechnet.

Im zweiten Schritt werden die Emissionen aus der Vorkette quantifiziert. Hier werden die in Dämmgen et al. (2016a) beschriebenen Verfahren zur Ableitung des Bedarfs an Düngemitteln, Wasser und Energieträgern angewendet und die bei ihrer Bereitstellung und Anwendung entstehenden Emissionen berechnet.

2.2 Herde und Systemgrenzen

Betrachtet werden Kühe einer konstant großen Milchkuhherde (Deutsche Holsteins, mittlere Lebendmasse 650 kg Kuh^{-1} , mittlere Zunahme 20 kg $\text{Kuh}^{-1} \text{a}^{-1}$; Milchfett- und Milcheiweißgehalte von 4,0 bzw. 3,5 %) sowie zugehörige vorgelegte Prozesse (Futterbereitstellung) und nachgelagerte Prozesse (Wirtschaftsdüngermanagement). Aufzucht dagegen wird nicht berücksichtigt.

Eingeschlossen sind die direkten und indirekten Emissionen aus

- dem tierischen Stoffwechsel (CH_4) und aus Futterkalk (CO_2),
- dem Wirtschaftsdüngermanagement (Stall, Lager, Ausbringung; NH_3 , N_2O , NO , N_2 , CH_4),
- dem Verrotten von auf dem Feld verbliebenen Futterpflanzenresten (N_2O),

- der Lagerung der Silageabfälle aus Entnahmeverlusten (N₂O, CH₄),
- der Anwendung von Mineraldüngern und Düngekalk (NH₃, N₂O, NO, CO₂),
- der Bereitstellung von Mineraldünger und Kalk (THG ¹) sowie
- der Bereitstellung von Wasser und elektrischer Energie (THG).

Unabhängig davon, ob der Betrieb selbst Ackerflächen bewirtschaftet, werden die Emissionen für die Bereitstellung von Kraftfutter den Kühen zugerechnet. Es wird davon ausgegangen, dass der Ackerbetriebszweig dann Gülle vom Grünlandbetriebszweig erhält.

Die Remontierung der Herde wird unabhängig von der Milchkuhhaltung als gegeben vorausgesetzt; sie ist somit eine konstante Größe und für die hier bearbeitete Fragestellung letztlich bedeutungslos. ²

Nicht eingeschlossen sind Emissionen aus

- dem Stoffwechsel der Tiere (außer CH₄)
- der Bereitstellung von Mengen- und Spurenelementen sowie Vitaminzusätzen,

- der Bereitstellung von Tiermedizin, Futterzusätzen sowie Silierhilfen
- der Entsorgung von nicht marktfähiger Milch mit der Gülle oder
- dem Transport von Tieren und Futter.

Die Emissionen werden je Tier sowie produktbezogen auf die Menge verkaufsfähiger Milch angegeben.

2.3 Rationszusammensetzung und Futtermittel-eigenschaften

Die nachfolgend berücksichtigten Rationen sind – entsprechend der Zielsetzung der Arbeit – klar gras- bzw. grassilagebetont. Die weitere Kraftfuttersupplementierung variiert sowohl in der Menge als auch Qualität. Die Zusammensetzung der Milchleistungsfutter (MLF; Konzentratfutter) basiert auf Futtermitteln, die auf heimischen Märkten angeboten werden. (Zu den Futtereigenschaften siehe Tabellen 1 bis 3.)

Eine gras- bzw. grassilage-basierte Fütterung enthält im Gegensatz zu einem Grundfutter mit ausschließlichem Einsatz von Maissilage bereits relativ viel Rohprotein. Genutzt

Tabelle 1

Eigenschaften von Kraftfutter und Kraftfuttermitteln (Daten nach DLG, 1997 und Beyer et al., 2004)

	Gehalte bezogen auf T							scheinbare
	T*	NEL	XP	XL	XX	XF	XA	OS
	kg kg ⁻¹	MJ kg ⁻¹	kg kg ⁻¹					
Gerste	0,88	8,08	0,124	0,027	0,765	0,057	0,027	0,85
Weizen	0,87	9,00	0,145	0,020	0,785	0,030	0,020	0,88
Roggen	0,88	8,49	0,112	0,018	0,822	0,027	0,021	0,90
Rapsextraktionsschrot*	0,91	7,12	0,400	0,020	0,345	0,150	0,085	0,77
Mineralgemisch	0,97						1,000	
Kalk	0,97						1,000	
MLF 16/3	0,88	6,86	0,137	0,018	0,605	0,172	0,068	0,76
MLF 14/3	0,88	6,89	0,121	0,018	0,629	0,167	0,065	0,77

* Abkürzungen nach GfE: T Trockenmasse; NEL Nettoenergie-Laktation; XP Rohprotein; XL Rohfett; XX N-freie Extraktstoffe; XF Rohfaser; XA Rohasche; OS organische Substanz

Tabelle 2

Eigenschaften von Futterzusatzmitteln (Daten nach Beyer et al., 2004)

	Gehalte bezogen auf T							scheinbare
	T*	NEL	XP	XL	XX	XF	XA	OS
	kg kg ⁻¹	MJ kg ⁻¹	kg kg ⁻¹					
Stroh	0,850	3,80	0,040	0,017	0,425	0,450	0,070	0,47
Trockenschnitzel	0,900	7,40	0,095	0,005	0,645	0,200	0,055	0,80

¹ Wenn die beim jeweiligen Prozess freigesetzten THG nicht einzeln aufgeführt werden, erfolgt die Angabe pauschal als THG.

² Eine detaillierte Bewertung der Kälber- und Färsenaufzucht sowie des Koppelprodukts „Fleisch“ findet sich in vorangegangenen Arbeiten, insbesondere in Dämmgen et al., 2016 a, b).

Tabelle 3

Grundfuttoreigenschaften (nach DLG, 1997)

	Gehalte bezogen auf T								scheinbare
	Ertrag (T) Mg ha ⁻¹	T kg kg ⁻¹	NEL MJ kg ⁻¹	XP kg kg ⁻¹	XL kg kg ⁻¹	XX kg kg ⁻¹	XF kg kg ⁻¹	XA kg kg ⁻¹	Verdaulichkeit OS kg kg ⁻¹
Weidegras g *	10,0	0,170	6,90	0,180	0,037	0,496	0,195	0,092	0,80
Weidegras m	7,5	0,210	5,88	0,130	0,030	0,470	0,288	0,082	0,71
Grassilage g	10,0	0,350	6,51	0,171	0,046	0,456	0,212	0,115	0,81
Grassilage m	7,5	0,350	5,84	0,149	0,040	0,426	0,273	0,112	0,72

* g gute Grundfutterqualität; m mäßige Grundfutterqualität

werden daher im Gegensatz zur dort eher üblichen Praxis die beiden folgenden MLF-Qualitäten:

- MLF 16/3 (mit 16 % Rohprotein in der Energiestufe 3);
- MLF 14/3 (mit 14 % Rohprotein in der Energiestufe 3).

Da in der Praxis sehr unterschiedliche natürliche Weidebedingungen (Boden, Klima, Ertragsniveau, Weidemanagement etc.) anzutreffen sind, werden zusätzlich zwei unterschiedliche Gras-/Grassilage-Qualitäten nachfolgend berücksichtigt. Diese Grundfutterqualitäten unterscheiden sich sowohl im Energie- und Proteingehalt als auch im Ertragsniveau, wie beispielhaft der Arbeit von Albers und Backes (2012) zu entnehmen ist.

Die Berechnung der Emissionen berücksichtigt ausschließlich Futtermengen und die in der Weender Analyse bereitgestellten Eigenschaften.

2.4 Haltung und Wirtschaftsdünger-Management, Mineraldüngereinsatz

2.4.1 Haltung und Wirtschaftsdüngermanagement

Die Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement gehen von folgenden Randbedingungen aus:

- Boxenlaufstall mit Flüssigmist,
- Lager mit natürlicher Schwimmdecke,
- Ausbringung mit Schleppschauch, je zur Hälfte auf dem Acker und auf Grünland,
- Einarbeitung auf dem unbestellten Acker innerhalb von vier Stunden.

2.4.2 Mineraldüngereinsatz

Der Düngerbedarf für die einzelnen Futtermittel wird aus den Anbauflächen (unter Berücksichtigung der Allokation bei Koppelprodukten über deren Bruttoenergie) und bei Ackerfrüchten anhand der geltenden Empfehlungen der Düngeverordnung (DüV; hier LWK-Nds, 2013) ermittelt.

Für Weidegras und Silage wird der N-Bedarf aus dem Entzug berechnet. Berücksichtigt werden N-Verluste durch Emissionen in Höhe von 5 % sowie eine Versickerungspauschale von 30 % der eingesetzten N-Menge nach IPCC (2006).

Tabelle 4

Übersicht über in den Rechnungen variierte Eingangsgrößen

Szenario	MLF-Typ	Kraftfutter	Grundfütterqualität	Weidetage (in d a ⁻¹)
		Menge (in Mg Kuh ⁻¹ a ⁻¹ FM)		
14/1/g/000	14/3	1,0	gut	0
14/2/g/000	14/3	2,0	gut	0
14/1/g/075	14/3	1,0	gut	75
14/2/g/075	14/3	2,0	gut	75
14/1/g/150	14/3	1,0	gut	150
14/2/g/150	14/3	2,0	gut	150
16/1/g/000	16/3	1,0	gut	0
16/2/g/000	16/3	2,0	gut	0
16/1/g/075	16/3	1,0	gut	75
16/2/g/075	16/3	2,0	gut	75
16/1/g/150	16/3	1,0	gut	150
16/2/g/150	16/3	2,0	gut	150
14/1/m/000	14/3	1,0	mäßig	0
14/2/m/000	14/3	2,0	mäßig	0
14/1/m/075	14/3	1,0	mäßig	75
14/2/m/075	14/3	2,0	mäßig	75
14/1/m/150	14/3	1,0	mäßig	150
14/2/m/150	14/3	2,0	mäßig	150
16/1/m/000	16/3	1,0	mäßig	0
16/2/m/000	16/3	2,0	mäßig	0
16/1/m/075	16/3	1,0	mäßig	75
16/2/m/075	16/3	2,0	mäßig	75
16/1/m/150	16/3	1,0	mäßig	150
16/2/m/150	16/3	2,0	mäßig	150

Der Bedarf an Düngerkalk, Phosphor und Kalium wird KTBL (2014) entnommen.

Der mit Mineraldünger aufzubringende N errechnet sich aus dem Bedarf aller Futterpflanzen und den mit dem Wirtschaftsdünger aufgebrauchten N-Mengen. Dabei wird das Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) zum einen nach LWK-Nds

(2013) mit 0,6 kg kg⁻¹ angesetzt, zum zweiten nach dem (Januar 2016) aktuellen Entwurf der Düngeverordnung (BMEL, 2015; Acker: 0,7, Weide 0,4 kg kg⁻¹), zum dritten nach dem Stand des Wissens mit 0,8 kg kg⁻¹ (Schröder, 2005; vgl. Anwendung im benachbarten Ausland, Döhler, 2016). Als N-Mineraldünger wird ausschließlich Kalkammonsalpeter (KAS) verwendet (wie in den Produktionskenndaten und Verfahrensübersichten in KTBL, 2014).

2.5 Szenarien

In Tabelle 4 sind die berücksichtigten Fütterungsvarianten zusammengestellt und die für die Szenarien benutzten Kürzel erläutert. Neben unterschiedlichen Grundfutterqualitäten (gut und mäßig, vgl. Tabelle 3) werden außerdem Krafftutertyp und -menge sowie die Dauer des Weidegangs im Jahr bei einer täglichen Weidedauer von 12 h variiert. Zusätzlich werden im Stall ganzjährig 1 kg Kuh⁻¹ d⁻¹ Stroh (Frischmasse, FM) sowie Trockenschnitzel verabreicht (2 kg Kuh⁻¹ d⁻¹ FM während der ersten 150 Tage der Laktation).

2.6 Berechnung der Emissionen

Die Berechnung bedient sich der Methoden des Nationalen Emissionsinventars. Zu Einzelheiten siehe Haenel et al. (2016) (landwirtschaftliches Inventar) und Dämmgen et al. (2016 a) (Emissionen aus der Vorkette: Futter-, Dünger- und Wasserebereitstellung, Verbrennungsmaschinen und Industrieanlagen).³

3 Ergebnisse

3.1 Milchleistung als Funktion der Fütterung

Der Energiebedarf von Milchkühen setzt sich aus den jeweils erforderlichen Anteilen für die Erhaltung, für die Milchbildung (dominierend), für das Wachstum von Fetus und weiterem Gewebe im Verlauf der Laktation bzw. der Trächtigkeit und für Bewegung zusammen. In unserer Untersuchung stellt sich die Milchleistung in Abhängigkeit von Futterqualität und Bewegung (Dauer des Weidegangs) unter den in Abschnitt 2.5 genannten Randbedingungen ein (Abbildung 1).

Deutlich erkennbar in Abbildung 1 ist der Einfluss der Kraftfuttermenge auf die Milchleistung. Auch die Grundfutterqualität ist von entscheidender Bedeutung. Die Dauer der Weidehaltung bei differenzierten Grundfutterqualitäten beeinflusst die Höhe der Milchleistung insgesamt gering. Beobachtet werden bei gutem Grundfutter zunehmende Leistungen im Vergleich zur ganzjährigen Stallhaltung, da der Energiegehalt der Silage gegenüber dem Weidefutter durch die Silierverluste abnimmt. Bei mäßigem Grundfutter ist das Gegenteil zu beobachten. Mit zunehmender Dauer



Abbildung 1

Milchleistung je Kuh und Jahr in Abhängigkeit von Kraftfuttermenge und -art, Grundfutterqualität sowie der Anzahl der Weidetage. Hellblau: keine Weide; mittelblau: Halbtagsweide 75 d a⁻¹; dunkelblau: Halbtagsweide 150 d a⁻¹. (Zu Details siehe Tabelle A1 im Anhang, zur Kennzeichnung der Szenarien siehe Tabelle 4.)

des Weidegangs steigt der Anteil der Bewegungsenergie auf Kosten der Laktationsenergie spürbar (Tabelle 5). Bei hohem NEL-Gehalt des Grundfutters wird dies beim Weidegang überkompensiert, bei mäßiger Qualität wird der Effekt voll wirksam. Der Energiebedarf pro Tier für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte⁴ pro Tier ist konstant. Die hier durchgeführten Rechnungen pro Jahr berücksichtigen, dass die Dauer der Zwischenkalbezeit eine Funktion der Milchleistung ist. Der pro Jahr anfallende Anteil des NEL-Bedarfs für die Entwicklung der Konzeptionsprodukte ist daher variabel.

Da der NEL-Gehalt der beiden Kraftfutertypen praktisch gleich ist, unterscheiden sich die Milchleistungen kaum beim Wechsel von MLF 14/3 zu MLF 16/3.

Tabelle 5

Berechneter Futterenergiebedarf für gute und mäßige Grundfutterqualitäten bei unterschiedlicher Dauer des Weidegangs (in GJ Kuh⁻¹ a⁻¹ NEL)

Energiebedarf für	gute Grundfutterqualität			mäßige Grundfutterqualität		
	Weidetage (in d a ⁻¹)			Weidetage (d a ⁻¹)		
	0	75	150	0	75	150
Erhaltung	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10	17,10
zusätzliche Bewegung	0,00	0,30	0,60	0,00	0,30	0,60
Laktation	20,98	21,33	21,54	13,53	13,27	13,01
Konzeptionsprodukte	0,847	0,845	0,844	0,886	0,887	0,889
Wachstum	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
Summe	39,44	40,09	40,60	32,03	32,07	32,11

³ Futtermengen und Düngerbedarf, Treibstoffeinsatz, Emissionen aus der Pflanzenproduktion: Kap. 2.5; Bereitstellung von Mineraldüngern und Kalk mit ihren Emissionen: Kap. 2.6; Mischfutterherstellung: Kap. 2.8; Bereitstellung von Wasser und Energieträgern: Kap. 2.9

⁴ fasst den Bedarf für das Wachstum von Fetus und weiterem Gewebe im Verlauf der Trächtigkeit zusammen

3.2 Ammoniak-Emissionen als Funktion von Fütterung und Düngung

In Tabelle 6 sind die NH_3 -Emissionen zweier Szenarien mit und ohne Weidegang gegenübergestellt. Hierbei ist zu bedenken, dass insbesondere die Emissionen bei der Ausbringung stark von der Technik und der Zeit vor der Einarbeitung abhängen, die hier nicht variiert werden. Für unsere Betrachtungen ist wichtig, dass die Zwischensumme der Emissionen aus dem Stall, dem Lager und der Weide deutlich zugunsten der Weide ausfällt:

Tabelle 6

Beispielhafte NH_3 -Emissionen in $\text{kg Kuh}^{-1} \text{a}^{-1} \text{NH}_3$, aufgeschlüsselt nach ihrer Entstehung, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013)

Ort bzw. Prozess	Szenario	
	14/2/g/000	14/2/g/150
Stall	16,0	13,1
Weide	0,0	1,7
Lager	3,0	2,5
Ausbringung	21,1	17,3
Silageabfälle aus Entnahmeverlusten	1,0	0,8
Mineraldünger-Anwendung	5,1	4,9
Mineraldünger-Herstellung	11,5	11,2
Summe	57,6	51,5

Die Ausscheidungen auf der Weide sind mit deutlich geringeren NH_3 -Emissionen als im Stall verbunden, weil das mit dem Harn ausgeschiedene N alsbald vom Boden aufgenommen und dort gebunden wird. Bei Weidegang gelangen geringere N-Mengen aus dem Stall ins Lager und zur Ausbringung.

Da weniger Silage gefüttert wird, verringern sich die Silier- und Entnahmeverluste. Daher muss bei Weidehaltung

insgesamt weniger Gras erzeugt werden, was zu einem verringerten Mineraldüngereinsatz führt und damit zu geringeren Emissionen bei deren Anwendung und Herstellung.

Die NH_3 -Emissionen je Kuh und Jahr sind in Abbildung 2, die auf die Menge verkaufter Milch bezogenen Emissionen in Abbildung 3 dargestellt. Dabei wurde der Mineraldüngerbedarf nach der geltenden DüV berechnet. Abbildung 4 veranschaulicht den Einfluss der unterschiedlichen angenommenen Mineraldüngeräquivalente der Wirtschaftsdünger bei der Berechnung des anfallenden Mineraldüngerbedarfs bei gleich bleibenden Erträgen.

Die Ergebnisse dieser Rechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Weidehaltung reduziert gegenüber einer ganzjährigen Stallhaltung die NH_3 -Emissionen sowohl absolut als auch produktbezogen (in g kg^{-1} Milch).
- Falls Weide betrieblich möglich ist, dann ist eine lange Weidedauer anzustreben.
- Eine Kraftfuttersupplementierung ist auch unter Weidebedingungen generell vorteilhaft, da das Leistungsniveau angehoben wird. Die Verdoppelung der Kraftfuttergabe hat kaum Einfluss auf die absoluten Emissionen, reduziert aber die produktbezogenen Emissionen wegen der erhöhten Milchleistung erheblich.
- Das Verfüttern von MLF16/3 führt aufgrund der erhöhten N-Aufnahme und -Ausscheidung zu höheren NH_3 -Emissionen als das von MLF14/3.
- Die Annahme einer verbesserten Wirtschaftsdüngerwirksamkeit (erhöhte MDÄ-Werte) führt zu einer deutlichen Verringerung des Mineraldüngereinsatzes und verbessert damit die N-Produktivität der Milchproduktion. Die Auswirkungen auf die NH_3 -Emissionen sind allerdings gering (Abbildung 4); die überwiegende Menge der Emissionen entsteht beim Wirtschaftsdünger-Management. Eine merkliche, wenn auch geringe Minderung erbringt das verbesserte Rechenverfahren, das 90 % der Wirtschaftsdünger-N-Einträge als wirksam betrachtet.

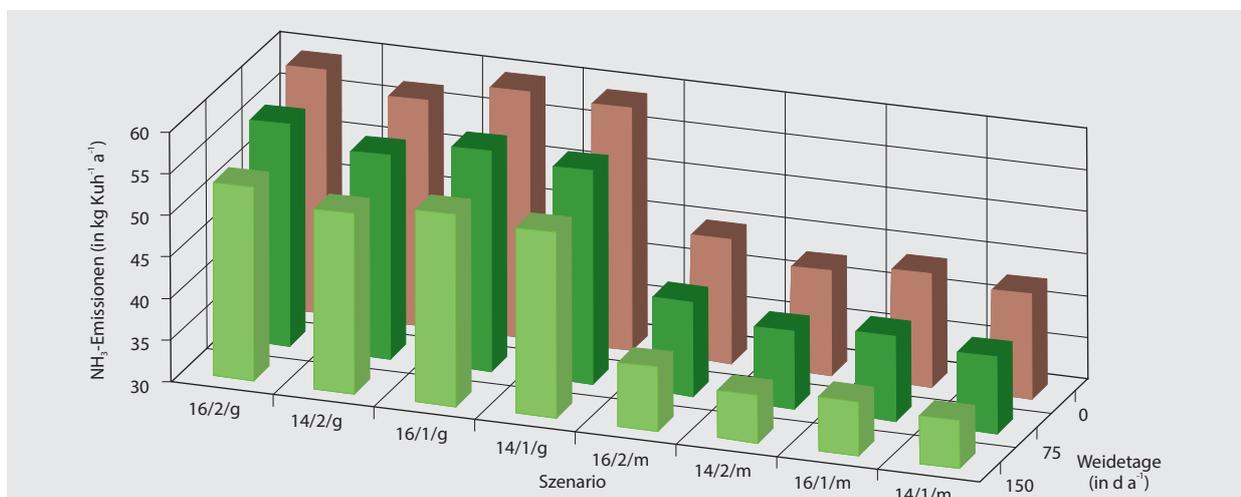


Abbildung 2

NH_3 -Emissionen je Kuh und Jahr in Abhängigkeit von Kraftfutterart und -menge, der Grundfutterqualität sowie der Anzahl der Weidetage, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013). Zu Details siehe Tabellen A2 und A3 im Anhang.

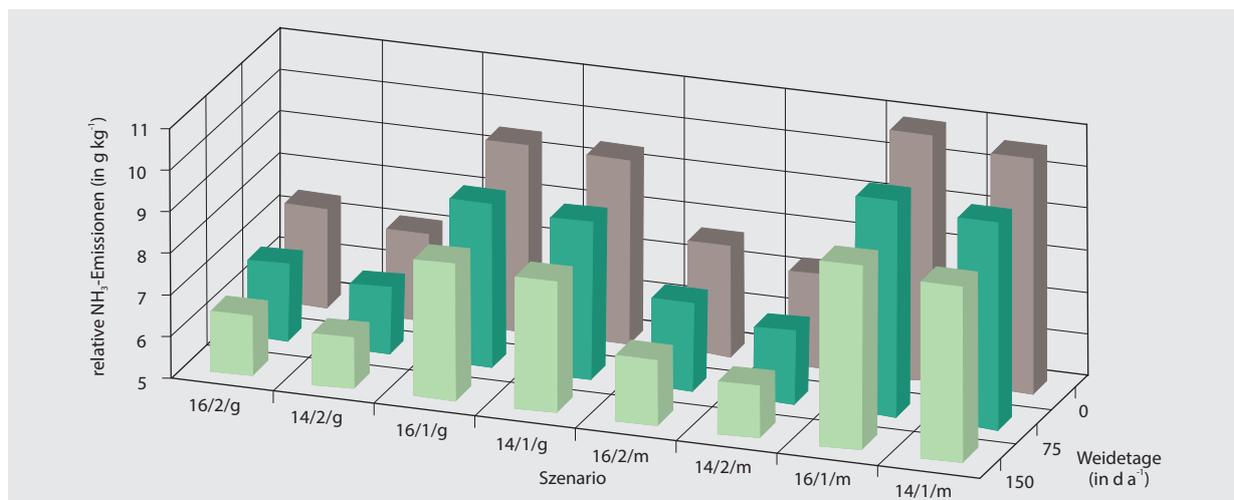


Abbildung 3

NH₃-Emissionen je kg verkaufter Milch in Abhängigkeit von Kraftfutterart und -menge, Grundfutterqualität sowie der Anzahl der Weidetage, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013). Zu Details siehe Tabellen A4 und A5 im Anhang.

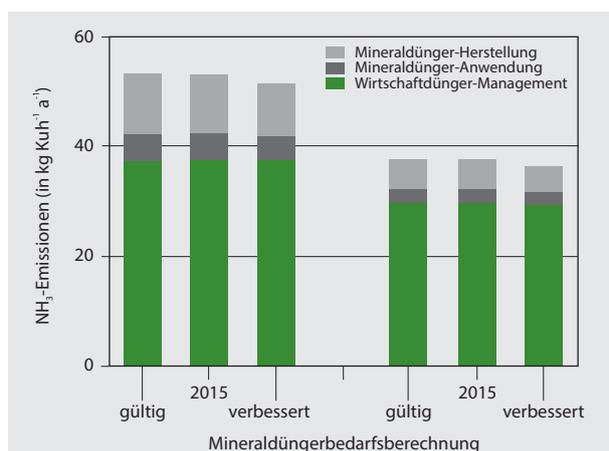


Abbildung 4

Einfluss der gewählten Mineraldüngeräquivalente (derzeit gültige DüV, Entwurf 2015 der DüV, verbesserte MDÄ) auf die NH₃-Emissionen (Szenarien 16/2/g/150, links, und 16/2/m/150, rechts)

3.3 Treibhausgas-Emissionen als Funktion von Fütterung und Düngung

Betrachtet werden die Emissionen von CH₄ aus der Verdauung und dem Wirtschaftsdünger-Management, von N₂O aus dem Wirtschaftsdünger-Management, der Mineraldüngeranwendung und -produktion, aus verrottenden Pflanzenresten und als indirekte Emissionen aus der Wirkung von NH₃ und Ammonium (NH₄⁺) sowie Stickstoffdioxid (NO₂) und Nitrat (NO₃⁻) in der atmosphärischen Deposition sowie N₂O aus N-Austrägen mit dem Oberflächenabfluss und ins Grundwasser. CO₂ entsteht bei den Verbrennungsprozessen (Diesel, Erdgas) und der Anwendung von Kalk (Düngerkalk, Kalkammonsalpeter, Futterkalk). Nicht weiter aufgeschlüsselte THG-Emissionen (siehe Fußnote 2) werden für die Bereitstellung der Energieträger (einschließlich elektrischer Energie) berücksichtigt.

Die Klimawirksamkeit der unterschiedlichen Gase wird über ihre Treibhausgaspotenziale berücksichtigt und in CO₂-Äquivalenten angegeben (IPCC, 2007. CO₂: 1 kg kg⁻¹ CO₂-eq; CH₄: 25 kg kg⁻¹ CO₂-eq; N₂O: 298 kg kg⁻¹ CO₂-eq).

Tabelle 7 gibt eine Übersicht über Entstehungsorte. Es wird deutlich, dass das gesamte Emissionsgeschehen von den Emissionen aus der Verdauung dominiert wird. Die Abbildungen 5 und 6 fassen die Ergebnisse der Modellrechnungen zusammen. Die detaillierten Zahlen hierzu sind den Tabellen A6 bis A9 im Anhang zu entnehmen. In Abbildung 7 ist der Einfluss der für die Rechnung gewählten Mineraldüngeräquivalente dargestellt.

Tabelle 7

Beispielhafte THG-Emissionen in Mg Kuh⁻¹ a⁻¹ CO₂-eq, aufgeschlüsselt nach ihrer Entstehung

Ort bzw. Prozess	Szenario	
	14/2/g/000	14/2/g/150
Verdauung	3,30	3,38
Wirtschaftsdünger-Management (einschl. Weidegang)	0,79	0,65
Mineraldünger- und Kalk-Anwendung	1,28	1,25
Mineraldünger-Herstellung	0,27	0,26
Verbrennen von Diesel und Heizöl	0,16	0,14
Verbrennen von Erdgas	0,13	0,13
Bereitstellung elektrischer Energie	0,09	0,09
indirekte N ₂ O-Emissionen	0,54	0,51
Summe	6,55	6,42

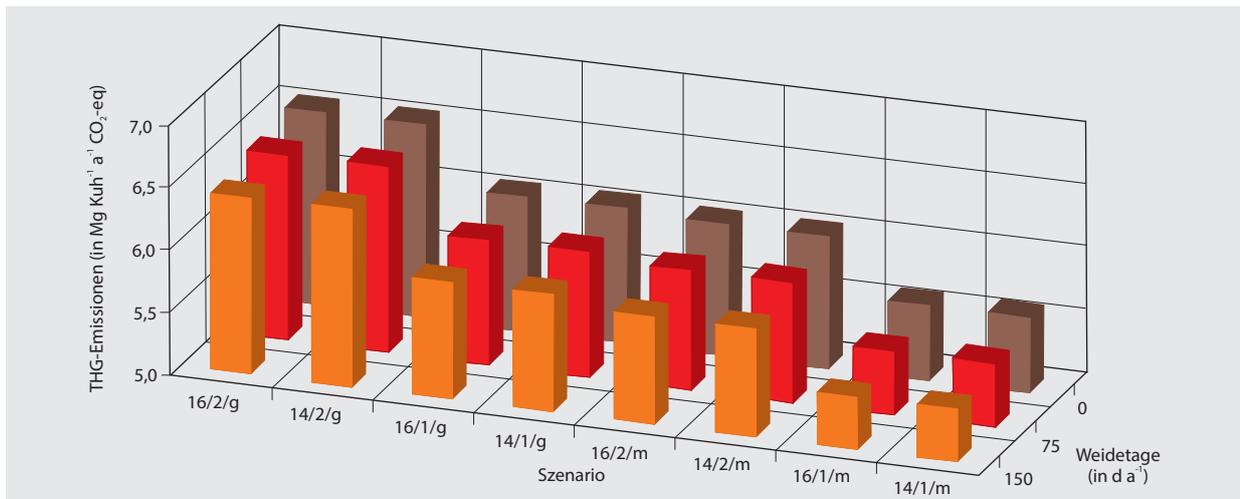


Abbildung 5

THG-Emissionen je Kuh und Jahr in Abhängigkeit von Kraftfutterart und -menge, Grundfutterqualität sowie der Anzahl der Weidetage, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013). Zu Details siehe Tabellen A6 und A7 im Anhang.

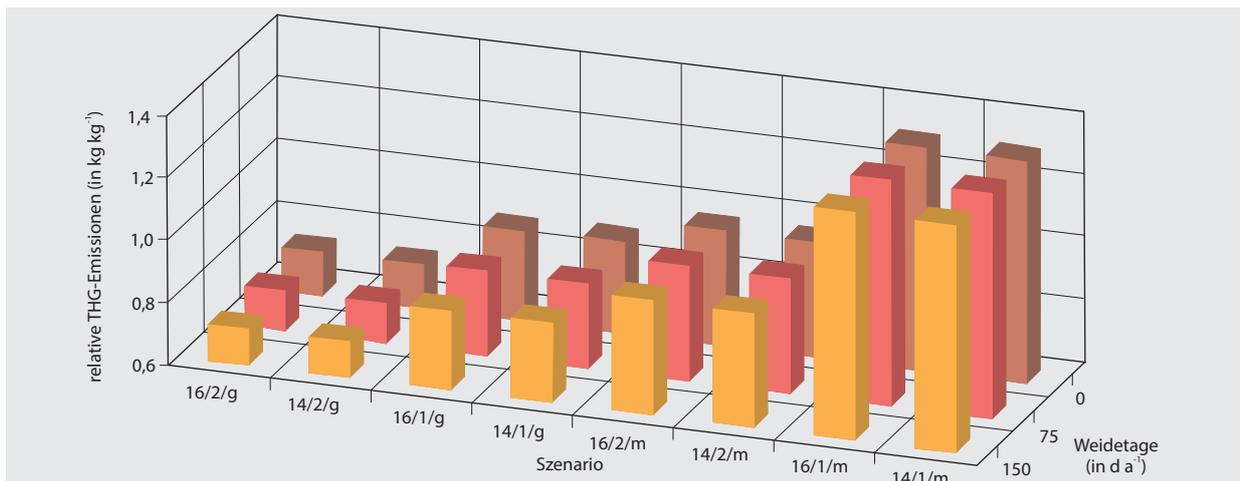


Abbildung 6

THG-Emissionen je kg verkaufte Milch in Abhängigkeit von Kraftfutterart und -menge, Grundfutterqualität sowie der Anzahl der Weidetage, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013). Zu Details siehe Tabellen A8 und A9 im Anhang.

Aus den Abbildungen 5 bis 7 und den Tabellen 5 und 7 lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- In allen Fällen führt vermehrter Weidegang *bei gleich bleibender Milchleistung* zu erhöhtem Energiebedarf (Bewegungsenergie), zu erhöhtem Futterbedarf und zu erhöhten absoluten CH_4 -Emissionen aus der Verdauung.
- Der Vergleich der Abbildungen 1 und 5 zeigt, wie sehr die THG-Emissionen durch die Milchmenge bestimmt werden.
- Da die CH_4 -Emissionen aus der auf der Weide ausgeschiedenen organischen Masse geringer sind als die der ins Lager gelangenden, sinken die CH_4 -Emissionen aus dem Wirtschaftsdüngermanagement.
- Der Energiegehalt des Weidefutters ist jedoch höher als der des Stallfutters. Insgesamt sinkt daher der Futterbedarf der Tiere geringfügig (obwohl die Milchleistung bei gutem Futter geringfügig zunimmt).
- Entscheidenden Einfluss auf Milchleistung und Emissionen hat die Grundfutterqualität. Bei gleichen MLF-Gaben lassen sich die Emissionen durch gute Grundfutterqualität um etwa ein Drittel senken.
- Erhöhte Kraftfutteraufnahme hat erhöhte Milchleistungen zur Folge. Die Emissionen je Kuh steigen mit der Milchleistung. Die auf die Milchmenge bezogenen Emissionen sinken mit zunehmender Leistung deutlich, insbesondere mit zunehmender Kraftfuttermenge. Bemerkenswert ist, dass bei mäßiger Futterqualität und geringem Kraftfuttereinsatz die produktbezogenen Emissionen zunehmen, bei Verdoppelung der Kraftfuttermenge jedoch abnehmen, wenn die Zahl der Weidetage erhöht wird. Kraftfutter hat deutlich geringere CH_4 -Emissionen aus der Verdauung je MJ NEL als das Grundfutter.
- MLF 14/3 und MLF 16/3 unterscheiden sich im Gegensatz zu den NH_3 -Emissionen kaum hinsichtlich der THG-

Emissionen. Die Unterschiede sind auf veränderte N₂O-Mengen zurück zu führen.

- Verringerter Mineraldünger-Einsatz als Folge der Anwendung eines verbesserten Mineraldünger-Äquivalents für Wirtschaftsdünger äußert sich ebenfalls in Verringerungen der N₂O-Emissionen (verringerte N-Aufnahme und -Ausscheidung), aber auch beim Energieeinsatz bei der Mineraldünger-Herstellung. Zwischen der derzeit gültigen DüV und dem Entwurf 2015 sind Unterschiede in der Grafik nicht erkennbar.

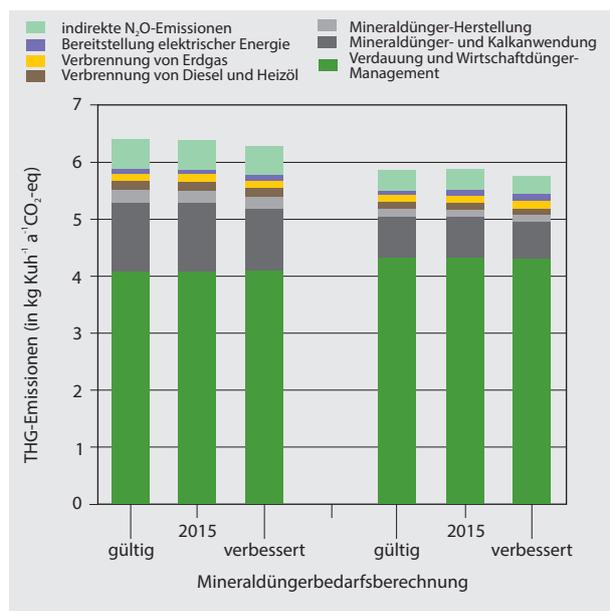


Abbildung 7
Einfluss der gewählten Mineraldüngeräquivalente (gültige DüV, Entwurf 2015 der DüV, verbesserte MDÄ) auf die THG-Emissionen (Szenarien 16/2/g150, links, und 16/2/m/150, rechts)

3.4 Flächenbedarf als Funktion der Fütterung

Landwirtschaftlich nutzbare Böden sind nicht vermehrbar. Ihr Schutz ist notwendige Aufgabe einer jeden Gesellschaft, völlig unabhängig von der volkswirtschaftlichen Bedeutung der Landwirtschaft. Der Flächenbedarf eines Produktionssystems ist deshalb eine wichtige Kenngröße. Die auf das Produkt bezogenen Flächen sind in Abbildungen 8 dargestellt.

Der Flächenbedarf ist primär vom Ertragsniveau und den erzeugten Grundfutterqualitäten abhängig. Es zeigt sich jedoch, dass bei hohen Erträgen und Qualitäten des erzeugten Grundfutters auf dem Grünland keine nennenswerte weitere Reduzierung des Flächenbedarfs für die Milcherzeugung mit zunehmender Kraftfuttersupplementierung verbunden sein muss (Tabelle A11, oben). Bei mäßiger Grundfutterqualität bewirkt zunehmender Weidegang eine Abnahme der auf Milch bezogenen Produktionsfläche (Abbildung 8). Zudem ist hier mit Zunahme der Kraftfuttersupplementierung in der Ration eine stärkere Abnahme des produktbezogenen Flächenbedarfs zu erkennen (Tabelle A12, unten).

4 Diskussion

4.1 Unsicherheiten

Der komplexe Modellansatz einschließlich der Eingangsparameter führt zu Unsicherheiten (95%-Konfidenzintervallen), die für die Absolutbeträge der NH₃-Emissionen insgesamt in einer Größenordnung von ca. 20 %, für THG unter 40 % liegen dürften (Rechnungen des nationalen landwirtschaftlichen Emissionsinventars, Haenel et al., 2016). Die Höhe der Emissionen ist im Wesentlichen durch die Milchleistung bestimmt, von der fast alle anderen Ergebnisgrößen linear abhängen. D. h., dass die in den Rechnungen erzielten Ergebnisse im Trend auch dann zutreffend sind, wenn die absoluten Größen unsicher sind. So ist etwa die Unsicherheit der Versickerungsmengen erheblich, alle Szenarien werden

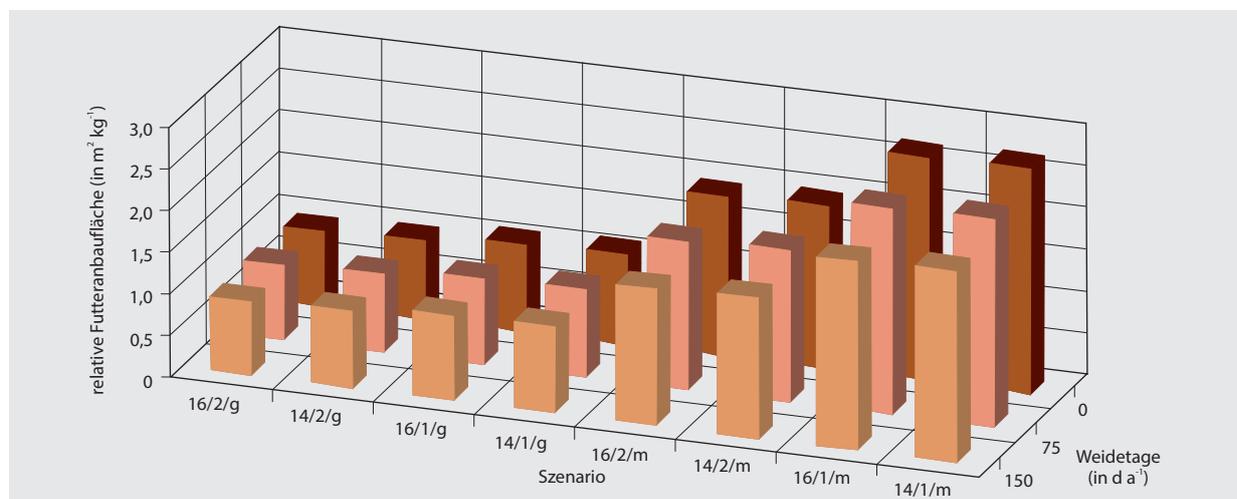


Abbildung 8
Flächenbedarf zur Futterproduktion je kg verkaufte Milch in Abhängigkeit von Kraftfutterart und -menge sowie der Anzahl der Weidetage. Details sind in den Tabellen A10 bis A12 aufgeführt.

jedoch mit dem gleichen Verfahren berechnet. Für die Bewertung der Unsicherheiten dieser Arbeit sind deshalb die sog. „Unsicherheiten der Trends“, die für das nationale Emissionsinventar ebenfalls berechnet werden, von Bedeutung. Sie liegen für NH_3 bei nur etwa 4 %, für GHG bei 12 % (Haenel et al., 2016).

4.2 Repräsentativität

Die gasförmigen Emissionen in der Milcherzeugung sind von einer Vielzahl gleichzeitig wirkender Faktoren abhängig (z. B. Haltungssystem, Qualität der eingesetzten Grundfuttermittel, Verhältnis von Grund- und Kraftfutter in der Ration, Nutzungsdauer der Kühe, Exkrementenbehandlung, -lagerung und -ausbringung, Intensität der pflanzenbaulichen Maßnahmen, Art und Weise der Futtermittelkonservierung und -lagerung, Düngungsintensität, Standort, etc.). Insbesondere die Höhe der Milchleistung und damit der Kraftfutteranteil in der Ration hat sowohl unter Stall- als auch Weidebedingungen einen entscheidenden Einfluss auf die produktbezogenen Emissionen (z. B. Dämmgen et al., 2009; 2016 a, b; Menzel et al., 2015; Haenel et al., 2016).

In der vorliegenden Arbeit werden Emissionen bei ganzjähriger Stallhaltung denen einer saisonalen Weidehaltung – jeweils bei einheitlich limitiertem Kraftfuttereinsatz – vergleichend gegenübergestellt. Das *Leistungsniveau* variiert zwischen ca. 4700 und 9000 kg Milch je Kuh und Jahr. Damit wird ein Leistungsspektrum berücksichtigt, das auch für die Praxis unter Weidebedingungen regelmäßig zu finden ist (Leisen und Rieger, 2007; Albers und Backes, 2012; Brade, 2012; Haenel et al., 2016).

Vergleichswerte für Emissionen sind vor allem der nationalen Emissionsberichterstattung zu entnehmen. Es ist dort jedoch unüblich, die gesamte Produktionskette zu betrachten. Die aufgeführten Emissionen der Einzelschritte entsprechen im Detail denen des nationalen Emissionsinventars. Insgesamt fügen sich die Ergebnisse in die in Dämmgen et al. (2016 a, b) erörterten ein und sind in der üblichen Größenordnung (z. B. Hirschfeld et al., 2008; Zollitsch et al., 2010; Zehetmeier und Heißenhuber, 2012; Brade, 2014).

Die Ergebnisse sind nicht übertragbar auf solche Produktionssysteme, die beispielsweise den Einsatz wesentlich höherer Kraftfutter- oder auch Maissilageanteile in der Ration voraussetzen.

4.3 Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit

Internationale Vergleiche zeigen, dass Milch in unterschiedlicher Weise produziert werden kann:

- der „Hochleistungsansatz“ mit vorzugsweise ganzjähriger Stallhaltung und hohem Kraftfuttereinsatz,
- der „weidebasierte Ansatz“ mit konsequenter Nutzung von Dauergrünland und begrenztem Einsatz von Kraftfutter.

Beide Produktionsstrategien haben zum Ziel, die hohen Produktionskosten in der Milchproduktion zu senken (Brade, 2012). Kolver und Muller (1998) sowie Muller und Tozer (2005) weisen darauf hin, dass Holstein-Kühe bei optimaler Weidequalität und ausschließlicher Weidefütterung etwa 20 bis 26 kg Milch pro Tag produzieren können. Höhere

Leistungen erfordern in der Regel eine Kraftfuttersupplementierung. Dabei lässt der leistungssteigernde Effekt der Supplementierung mit steigender Menge nach. Aktuelle Studien zeigen auf, dass auch in Deutschland bzw. in benachbarten europäischen Ländern eine wirtschaftliche Weidenutzung möglich ist, sofern die betrieblichen Gegebenheiten (ausreichend arrondierte Flächen, Einstellung des Betriebsleiters) und die Voraussetzungen des Standortes (Weidefähigkeit des Bodens, ausreichende Niederschläge) dazu passen (vgl. Doherty et al., 2004; Leisen und Rieger, 2007; Kiefer und Bahrs, 2015). Dennoch ist aus ökonomischer Sicht eine Rückkehr zur von vielen Vermarktern und Verbrauchern erwünschten Weidehaltung oftmals nur bei zusätzlichen finanziellen Anreizen (insbesondere Preiszuschläge für ‚Weidemilch‘) zu erwarten. Jüngste Befragungen in den Niederlanden zeigten, dass mehr als zwei Drittel der niederländischen Verbraucher bereit sind, für Molkereiprodukte aus Milch von Kühen mit Weidegang mehr Geld auszugeben (Milieudefensie, 2015). Demnach würden 35 % der Befragten einen Preisaufschlag von 1 Cent bis 5 Cent je Liter Milch von Kühen akzeptieren, die mindestens 120 Tage im Jahr jeweils sechs Stunden auf der Weide verbringen. Eine Bewertung von Weidehaltungssystemen aus Sicht von Landwirten und Ausgestaltung eines Weidemilchprogramms mit Ermittlung von dafür nötigen Preisaufschlägen auf den Milchpreis ist Gegenstand eines von der Arbeitsgemeinschaft deutscher Rinderzüchter (ADR) initiierten Forschungsvorhabens (Zühlsdorf et al., 2014).

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass auch aus Gründen der Minderung gasförmiger Emissionen Weidegang immer dann berechtigt erscheint, wenn dazu die natürlichen und betrieblichen Voraussetzungen gegeben sind.

4.4 Resumé

Grünlandbewirtschaftung nach guter fachlicher Praxis in Stallnähe und mit begrenztem Kraftfuttereinsatz bietet die Möglichkeit einer tiergerechten Haltung von Milchrindern, die gleichzeitig zur Reduzierung gasförmiger Emissionen, vor allem der NH_3 -Emissionen, im Vergleich zur ganzjährigen Stallhaltung (bei gleichen Randbedingungen) genutzt werden kann. Einer guten Grundfutterqualität kommt bei der Minderung der THG-Emissionen eine große Bedeutung zu.

Genügend hohe Leistungen auf Grünlandstandorten erfordern jedoch auch eine gezielte Supplementierung von Kraftfutter in der Ration. Diese Zufütterung erweist sich aus der Blickrichtung der Flächenproduktivität (Gesamtflächenbedarf in $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$ Milch) vor allem dann vorteilhaft, wenn die Erträge und Qualitäten des auf dem Grünland erzeugten Grundfutters nur mäßig sind.

Danksagung

Wir danken Herrn Dr. Küster (LWK Niedersachsen, Northeim), der uns hinsichtlich der Zusammensetzung von praxisüblichem Milchleistungsfutter aus heimischen Futtermitteln beraten hat.

Tabellenanhang

Tabelle A1

Milchleistungen in kg Kuh⁻¹ a⁻¹ bei guter (oben) und mäßiger (unten) Grundfutterqualität

Szenario	Weidetage (in d a ⁻¹)		
	0	75	150
14/1/g	6347	6455	6518
14/2/g	8304	8379	8457
16/1/g	6386	6448	6512
16/2/g	8284	8359	8436
14/1/m	4095	4016	3937
14/2/m	6009	5930	5851
16/1/m	4088	4010	3931
16/2/m	5993	5914	5835

Tabelle A2

NH₃-Emissionen in kg Kuh⁻¹ a⁻¹ bei guter Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a ⁻¹)		
	0	75	150
14/1/g (LWK-Nds, 2013)	58,8	55,5	52,2
14/2/g (LWK-Nds, 2013)	57,6	54,3	51,5
16/1/g (LWK-Nds, 2013)	59,6	56,3	53,0
16/2/g (LWK-Nds, 2013)	59,9	56,6	53,2
14/1/g (BMEL, 2015)	58,1	55,1	52,1
14/2/g (BMEL, 2015)	56,8	53,8	51,3
16/1/g (BMEL, 2015)	58,9	55,9	52,8
16/2/g (BMEL, 2015)	59,0	56,1	53,0
14/1/g (verbessert)	57,3	54,0	50,6
14/2/g (verbessert)	56,0	52,7	49,8
16/1/g (verbessert)	58,1	54,8	51,3
16/2/g (verbessert)	58,2	54,9	51,4

Tabelle A3

NH₃-Emissionen in kg Kuh⁻¹ a⁻¹ bei mäßiger Grundfutterqualität, Düngung geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a ⁻¹)		
	0	75	150
14/1/m (LWK-Nds, 2013)	42,9	39,3	35,7
14/2/m (LWK-Nds, 2013)	42,8	39,3	35,8
16/1/m (LWK-Nds, 2013)	43,8	40,1	36,4
16/2/m (LWK-Nds, 2013)	45,1	41,3	37,6
14/1/m (BMEL, 2015)	42,3	38,9	35,6
14/2/m (BMEL, 2015)	42,1	38,8	35,6
16/1/m (BMEL, 2015)	43,3	39,7	36,3
16/2/m (BMEL, 2015)	44,4	40,9	37,4
14/1/m (verbessert)	41,8	38,1	34,4
14/2/m (verbessert)	41,5	37,9	34,4
16/1/m (verbessert)	42,7	38,9	35,1
16/2/m (verbessert)	43,7	39,9	36,2

Tabelle A4

Auf vermarktbare Milch bezogene NH₃-Emissionen in g kg⁻¹ bei guter Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a ⁻¹)		
	0	75	150
14/1/g (LWK-Nds, 2013)	9,45	8,78	8,18
14/2/g (LWK-Nds, 2013)	7,08	6,62	6,22
16/1/g (LWK-Nds, 2013)	9,52	8,91	8,30
16/2/g (LWK-Nds, 2013)	7,37	6,91	6,44
14/1/g (BMEL, 2015)	9,33	8,71	8,15
14/2/g (BMEL, 2015)	6,98	6,55	6,19
16/1/g (BMEL, 2015)	9,41	8,84	8,27
16/2/g (BMEL, 2015)	7,27	6,85	6,41
14/1/g (verbessert)	9,22	8,54	7,93
14/2/g (verbessert)	6,88	6,41	6,01
16/1/g (verbessert)	9,29	8,67	8,05
16/2/g (verbessert)	7,17	6,70	6,22

Tabelle A5

Auf vermarktbare Milch bezogene NH_3 -Emissionen in g kg^{-1} bei mäßiger Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/m (LWK-Nds, 2013)	10,70	9,98	9,25
14/2/m (LWK-Nds, 2013)	7,27	6,75	6,24
16/1/m (LWK-Nds, 2013)	10,94	10,20	9,45
16/2/m (LWK-Nds, 2013)	7,67	7,12	6,57
14/1/m (BMEL, 2015)	10,55	9,89	9,22
14/2/m (BMEL, 2015)	7,15	6,68	6,21
16/1/m (BMEL, 2015)	10,79	10,11	9,42
16/2/m (BMEL, 2015)	7,56	7,05	6,54
14/1/m (verbessert)	10,41	9,67	8,93
14/2/m (verbessert)	7,04	6,52	6,00
16/1/m (verbessert)	10,65	9,89	9,12
16/2/m (verbessert)	7,44	6,88	6,32

Tabelle A7

THG-Emissionen in $\text{Mg Kuh}^{-1} \text{a}^{-1} \text{CO}_2\text{-eq}$ bei mäßiger Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/m (LWK-Nds, 2013)	5,60	5,51	5,42
14/2/m (LWK-Nds, 2013)	6,05	5,96	5,86
16/1/m (LWK-Nds, 2013)	5,60	5,51	5,42
16/2/m (LWK-Nds, 2013)	6,05	5,95	5,85
14/1/m (BMEL, 2015)	5,55	5,48	5,41
14/2/m (BMEL, 2015)	6,00	5,92	5,85
16/1/m (BMEL, 2015)	5,55	5,48	5,40
16/2/m (BMEL, 2015)	5,99	5,92	5,84
14/1/m (verbessert)	5,50	5,41	5,32
14/2/m (verbessert)	5,94	5,85	5,75
16/1/m (verbessert)	5,50	5,40	5,31
16/2/m (verbessert)	5,94	5,84	5,74

Tabelle A6

THG-Emissionen in $\text{Mg Kuh}^{-1} \text{a}^{-1} \text{CO}_2\text{-eq}$ bei guter Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/g (LWK-Nds, 2013)	6,08	6,00	5,94
14/2/g (LWK-Nds, 2013)	6,55	6,48	6,42
16/1/g (LWK-Nds, 2013)	6,07	6,00	5,93
16/2/g (LWK-Nds, 2013)	6,54	6,48	6,41
14/1/g (BMEL, 2015)	6,02	5,97	5,92
14/2/g (BMEL, 2015)	6,48	6,44	6,40
16/1/g (BMEL, 2015)	6,01	5,96	5,92
16/2/g (BMEL, 2015)	6,47	6,43	6,39
14/1/g (verbessert)	5,96	5,88	5,80
14/2/g (verbessert)	6,42	6,35	6,28
16/1/g (verbessert)	5,95	5,87	5,80
16/2/g (verbessert)	6,41	6,33	6,26

Tabelle A8

Auf vermarktbare Milch bezogene THG-Emissionen in $\text{kg kg}^{-1} \text{CO}_2\text{-eq}$ bei guter Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/g (LWK-Nds, 2013)	0,893	0,869	0,852
14/2/g (LWK-Nds, 2013)	0,739	0,726	0,712
16/1/g (LWK-Nds, 2013)	0,886	0,869	0,852
16/2/g (LWK-Nds, 2013)	0,740	0,726	0,713
14/1/g (BMEL, 2015)	0,885	0,864	0,850
14/2/g (BMEL, 2015)	0,732	0,721	0,711
16/1/g (BMEL, 2015)	0,878	0,864	0,850
16/2/g (BMEL, 2015)	0,732	0,722	0,711
14/1/g (verbessert)	0,877	0,852	0,834
14/2/g (verbessert)	0,725	0,711	0,698
16/1/g (verbessert)	0,870	0,852	0,834
16/2/g (verbessert)	0,725	0,711	0,697

Tabelle A9

Auf vermarktbarere Milch bezogene THG-Emissionen in $\text{kg kg}^{-1} \text{CO}_2\text{-eq}$ bei mäßiger Grundfutterqualität, Düngung nach geltender DüV (LWK-Nds, 2013, oben), dem Entwurf der DüV (BMEL, 2015, Mitte) sowie mit verbesserter Anrechnung der N-Einträge mit dem Wirtschaftsdünger (unten)

Futter (Berechnungsverfahren)	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/m (LWK-Nds, 2013)	1,309	1,317	1,325
14/2/m (LWK-Nds, 2013)	0,965	0,965	0,964
16/1/m (LWK-Nds, 2013)	1,311	1,318	1,326
16/2/m (LWK-Nds, 2013)	0,967	0,966	0,965
14/1/m (BMEL, 2015)	1,299	1,310	1,322
14/2/m (BMEL, 2015)	0,957	0,960	0,962
16/1/m (BMEL, 2015)	1,300	1,311	1,323
16/2/m (BMEL, 2015)	0,959	0,961	0,963
14/1/m (verbessert)	1,289	1,295	1,302
14/2/m (verbessert)	0,950	0,949	0,947
16/1/m (verbessert)	1,290	1,296	1,302
16/2/m (verbessert)	0,951	0,949	0,948

Tabelle A10

Flächenbedarf zur Bereitstellung von Kraftfutter in ha Kuh^{-1}

Futter	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/g, 14/1/m	0,082	0,082	0,082
14/2/g, 14/2/m	0,203	0,203	0,203
16/1/g, 16/1/m	0,069	0,069	0,069
16/2/g, 16/2/m	0,171	0,171	0,171

Tabelle A11

Flächenbedarf zur Bereitstellung von Grundfutter in ha Kuh^{-1} , gute Futterqualität (oben), mäßige Futterqualität (unten)

Futter	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/g	0,588	0,584	0,581
14/2/g	0,564	0,561	0,559
16/1/g	0,588	0,584	0,581
16/2/g	0,563	0,561	0,559
14/1/m	0,504	0,497	0,490
14/2/m	0,477	0,470	0,464
16/1/m	0,504	0,497	0,490
16/2/m	0,477	0,470	0,464

Tabelle A12

Auf vermarktbarere Milch bezogener Flächenbedarf (Kraft- und Grundfutter) in $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$, gute Futterqualität (oben), mäßige Futterqualität (unten)

Futter	Weidetage (in d a^{-1})		
	0	75	150
14/1/g	1,076	1,053	1,037
14/2/g	0,942	0,931	0,920
16/1/g	1,049	1,034	1,018
16/2/g	0,905	0,894	0,883
14/1/m	2,715	2,507	2,290
14/2/m	1,965	1,824	1,679
16/1/m	2,687	2,478	2,261
16/2/m	1,916	1,774	1,628

Literatur

- Albers D, Backes M (2012) Wie viel Milch wird zurzeit aus Weidegras in Teil-Weidesystemen unter nordniedersächsischen Bedingungen erzeugt? : Praxisstudie zum Thema „Weideleistung“ [online]. Zu finden in <<http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/1/nav/1092/article/19412.html>> [zitiert am 31.08.2016]
- Armbrecht L, Lambertz C, Albers D, Gaulty M (2015) Tierwohl von Milchkühen bei Stall- und Weidehaltung : ein Vergleich anhand des Welfare Quality® Protokolls. In: Gieseke D, Busch G, Ikinge C, Kühl S, Pirsch W (eds) Tierhaltung im Spannungsfeld von Tierwohl, Ökonomie und Gesellschaft : Tierwohl-Tagung 2015 in Göttingen, 07.-08. Oktober 2015. Göttingen : Univ, pp 70-72
- Beyer M, Chudy A, Hoffmann L, Jentsch W, Laube W, Nehring K, Schiemann R (2004) Rostocker Futterbewertungssystem : Kennzahlen des Futterwertes und Futterbedarfs auf der Basis von Nettoenergie. Dummerstorf : Forschungsinst Biol landwirtschaftl Nutztiere, 392 p
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2015) Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen : Verordnungsentwurf [online]. Zu finden in <http://www.bmel.de/Shared-Docs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwurf/EntwurfDuengeverordnung.pdf?__blob=publicationFile> [zitiert am 05.09.2016]
- Brade W (2012) Vor- und Nachteile der Weidehaltung von hochleistenden Milchrindern. *Ber Landwirtschaft* 90:447-466
- Brade W (2014) CO₂-Fußabdrücke für Milch und Milchprodukte [online]. Zu finden in <<http://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/43/Brade-92-1-pdf>> [zitiert am 31.08.2016]
- Burow E, Thomsen PT, Sorensen JT, Rousing T (2011) The effect of grazing on cow mortality in Danish dairy herds. *Prev Vet Med* 100:237-241
- Dämmgen U, Haenel H-D, Rösemann C, Hutchings NJ, Brade W, Lebzien P (2009) Improved national calculation procedures to assess energy requirements, nitrogen and VS excretions of dairy cows in the German emission model GAS-EM. *Landbauforsch* 59(3):233-252
- Dämmgen U, Brade W, Meyer U, Haenel H-D, Rösemann C, Schwerin M (2015) Rindfleischerzeugung und Luftverschmutzung : 3. Einfluss einer unterschiedlichen Mastdauer und -intensität auf die Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Fleischerzeugung mit Fleckvieh-Mutterkuhherden. *Züchtungskunde* 87:153-180
- Dämmgen U, Brade W, Meyer U, Haenel H-D, Rösemann C, Flessa H, Webb J, Strogies M, Schwerin M (2016a) Gaseous emissions from protein production with German Holsteins : a mass flow analysis of the entire production chain ; 1. Goals, methods and input data. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 66(3):161-192

- Dämmgen U, Brade W, Meyer U, Haenel H-D, Rösemann C, Flessa H, Webb J, Strogies M, Schwerin M (2016 b) Gaseous emissions from protein production with German Holsteins : a mass flow analysis of the entire production chain ; 2. Emissions and reduction potentials. *Landbauforsch Appl Agric Forestry Res* 66(3):193-214
- DLG - Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (1997) DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. Frankfurt a M : DLG-Verl, 212 p
- Doherty J, Kelly F, Cahill E, Dillon P (2004) The effect of various pasture-based systems of milk production on animal performance in the north east region of Ireland [online]. Zu finden in <<http://www.agresearch.teagasc.ie/moorepark/Publications/pdfs/Research%20Report%202004.pdf>> [zitiert am 1.10.2016]
- Döhler H (2016) So düngen unsere Nachbarn. *DLZ Agrarmag* 03:49-51
- EU - European Commission (2016) Directive of the European Parliament and the Council on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants and amending Directive 2003/35/EC, contained in EP-document "PE-CONS No/YY - 2013/0443 (COD)" [online]. Zu finden in <[http://www.emeeting.europarl.europa.eu/committees/agenda/201607/ENVI/ENVI\(2016\)0711_1/sitt-2813010](http://www.emeeting.europarl.europa.eu/committees/agenda/201607/ENVI/ENVI(2016)0711_1/sitt-2813010)> [zitiert am 06.09.2016]
- Haenel H-D, Rösemann C, Dämmgen U, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Osterburg B (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, 409 p, Thünen Rep 39, DOI:10.3220/REP1457617297000
- Hirschfeld J, Weiß J, Preidl M, Korbun Th (2008) Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland [online]. Zu finden in <http://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/IOEW-SR_186_Klimawirkungen_Landwirtschaft_02.pdf> [zitiert am 31.08.2016]
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use [online]. Zu finden in <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>> [zitiert am 1.10.2016]
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007 : working group I: The physical science basis : 2.10.2: Direct global warming potentials [online]. Zu finden in <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html> [zitiert am 31.08.2016]
- Kiefer L, Bahrs E (2015) Wirtschaftlichkeitsanalyse der Weidemilchproduktion Süddeutschlands. In: Gieseke D, Busch G, Ikinge C, Kühl S, Pirsich W (eds) Tierhaltung im Spannungsfeld von Tierwohl, Ökonomie und Gesellschaft : Tierwohl-Tagung 2015 in Göttingen, 07.-08. Oktober 2015. Göttingen : Univ, pp 97-100
- Kolver ES, Muller LD (1998) Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J Dairy Sci* 81:1403-1414
- KTBL - Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (2014) Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15. Darmstadt : KTBL, 827 p
- Leisen E, Rieger Th (2007) Wirtschaftlichkeit von Weidehaltung, Kraftfuttermenge und Milchleistung auf Öko-Betrieben [online]. Zu finden in <http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/Tierhaltung/Milchkuehe/milchvieh_wirtschaftlichkeit_7_07.pdf> [zitiert am 31.08.2016]
- LWK-Nds - Landwirtschaftskammer Niedersachsen (2013) Wirkung des Stickstoffs in organischen Nährstoffträgern (% von Gesamt-N) unter optimalen Bedingungen [online]. Zu finden in <<https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/2/nav/341/article/15868.html>> [zitiert am 31.08.2016]
- Menzel E, Kiefer L, Bahrs E (2015) Weidemilchproduktion im Spannungsfeld von Tierwohl und Klimaschutz. In: Gieseke D, Busch G, Ikinge C, Kühl S, Pirsich W (eds) Tierhaltung im Spannungsfeld von Tierwohl, Ökonomie und Gesellschaft : Tierwohl-Tagung 2015 in Göttingen, 07.-08. Oktober 2015. Göttingen : Univ, pp 74-77
- Milieudefensie (2015) Factsheet onderzoek naar weidezuivel [online]. Zu finden in <<https://milieudefensie.nl/publicaties/bestanden/factsheet-onderzoek-tns-nipo-weidemelk/view>> [zitiert am 31.08.2016]
- Muller LD, Tozer P (2005) Economics of supplemental feeding with pasture-based systems [online]. Zu finden in <http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/forages/pasture/articles-on-pasture-and-grazing/economics-of-supplemental-feeding-with-pasture-based-systems/extension_publication_file> [zitiert am 31.08.2016]
- Olmos G, Mee JF, Hanlon A, Patton J, Murphy J, Boyle L (2009) Peripartum health and welfare of Holstein-Friesian in a confinement-TMR system compared to a pasture based system. *Anim Welfare* 18:467-476
- O'Mara F (2004) Greenhouse gas production from dairying : reducing methane production. *Adv Dairy Technol* 16:295-309
- Schären M, Jostmeier S, Ruesink S, Hüther L, Frahm J, Bulang M, Meyer U, Rehage J, Isselstein J, Breves G, Dänike S (2016) The effects of ration change from a total mixed ration to pasture on health and production of dairy cows. *J Dairy Sci* 99:1183-1200
- Schröder J (2005) Revisiting the agronomic benefits of manure : a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresour Technol* 96:253-261
- UBA - Umweltbundesamt (2015) Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen>> [zitiert am 13.09.2016]
- Wagner K, Hinterstoiber P, Schüler M, Warnecke S, Brinkmann J, March S, Schmid H, Frank H, Paulsen HM (2015) Verknüpfung von Tierwohlaspekten mit Parametern der Ressourceneffizienz in der Milchproduktion. In: Gieseke D, Busch G, Ikinge C, Kühl S, Pirsich W (eds) Tierhaltung im Spannungsfeld von Tierwohl, Ökonomie und Gesellschaft : Tierwohl-Tagung 2015 in Göttingen, 07.-08. Oktober 2015. Göttingen : Univ, pp 78-81
- Zehetmeier M, Heißenhuber A (2012) Zweinutzungsrasse im Vergleich zu Spezialrasse : klimarelevante Emission bei der Produktion von Milch und Rindfleisch [online]. Zu finden in <http://www.fleckvieh.de/Fleckviehwelt/FWV_132/WELT_10-13.pdf> [zitiert am 31.08.2016]
- Zollitsch W, Hörtenhuber S, Lindental Th (2010) Treibhausgase aus Milchviehhaltung : eine Systembewertung ist nötig [online]. Zu finden in <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/de/oesterreich/arbeitschwerpunkte/Klima/zollitsch_hoertenhuber_systembewertung_1012.pdf> [zitiert am 31.08.2016]
- Zühlsdorf A, Kühl S, Spiller A (2014) Marketingtrend Weidemilch. *Milchviehhaltung der Zukunft aus Verbrauchersicht*. *Molkereindustrie* 5:4-6