

5.9 Berechnung emissionswirksamer Substanzen in Exkrementen der Milchkühe ökologischer und konventioneller Betriebe in Deutschland basierend auf den Futterrationen und den Futterinhaltsstoffen

Sylvia Warnecke, Franziska Schulz, Hans Marten Paulsen, Gerold Rahmann

Zusammenfassung

Auf jeweils 22 ökologisch (öko) und konventionell (kon) bewirtschafteten Milchviehbetrieben in Deutschland wurden über einen Zeitraum von drei Jahren Daten zur Milchviehhaltung und Milchviehfütterung erhoben und aus den betriebsspezifischen Rationen und gemessenen Futterqualitäten die Mengen potentiell emissionswirksamer Inhaltsstoffe (*volatile solids* (VS), Stickstoff (N), ammoniakalischer Stickstoff (TAN)) in den Milchviehexkrementen berechnet. Es wurde im Wesentlichen die Methodik der deutschen Klimaberichterstattung verwendet und nötigenfalls an die betrieblichen Gegebenheiten angepasst. Die tierbezogenen Ausscheidungen der Milchkühe lagen im Mittel auf den konventionellen Betrieben bei den VS-Ausscheidungen (öko: 1337, kon: 1561 kg Tier⁻¹ a⁻¹) signifikant höher und beim TAN (öko: 70,3, kon: 58,1 kg Tier⁻¹ a⁻¹) signifikant niedriger als auf den ökologischen, während es keine Unterschiede in den Gesamt-N-Ausscheidungen (öko: 131,2, kon: 129,7 kg Tier⁻¹ a⁻¹) gab. Analog zu den Ausscheidungen ist das Potential der Milchviehexkreme, Treibhausgase zu emittieren, zu sehen. Alle produktbezogenen Ausscheidungen der emissionsrelevanten Stoffe waren im Mittel grundsätzlich bei den konventionellen Betrieben signifikant geringer als bei den ökologischen, da auf ersteren deutlich höhere mittlere Milchleistungen vorlagen (öko: 6382, kon: 8660 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹). Im Überlappungsbereich der Milchleistungen der ökologischen und konventionellen Betriebe zwischen 6.393 und 9.197 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ konnten wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen festgestellt werden. Der Großteil der potentiell emissionswirksamen Stoffe wurde in beiden Systemen im Mittel im Stall und im Melkstand abgesetzt (öko: 75 %, kon: 93 %) und demnach dem Wirtschaftsdüngermanagement in Stall, Lager und Ausbringung zugeführt.

Schlüsselwörter: Milchvieh, Exkreme, Wirtschaftsdünger, volatile solids, TAN, N-Ausscheidung, Methan, Treibhausgas, Emissionspotential, konventionell, ökologisch

Abstract

Data on dairy cattle performance, housing and feeding were collected on 44 German dairy farms (22 organic (o) and conventional (c), each) for the years 2008, 2009, and 2010. Excretions of volatile solids (VS), nitrogen (N) and total ammoniacal N (TAN) were calculated based on the farm specific diets and feed qualities according to the German emission inventory in its 2013 submission, including adaptations to reflect farm level specifics, if necessary. VS, N, and TAN contents in dairy cattle excreta define the potential to emit greenhouse gases (GHG). Mean annual dairy cattle excretions of VS were significantly higher in conventional than in organic farming (o: 1,337, c: 1,561 kg cow⁻¹ a⁻¹) while mean TAN excretions were significantly lower (o: 70.3, c: 58.1 kg cow⁻¹ a⁻¹). No difference was found between organic and conventional farming for mean overall N excretion (o: 131.2, c: 129.7 kg cow⁻¹ a⁻¹). The potential of

excreta to emit GHG can be seen accordingly. If referred to the product milk, mean excretion of VS, N, and TAN was always lower in conventional farming since mean milk yields were considerably and significantly higher (o: 6,382, c: 8,660 kg ECM cow⁻¹ a⁻¹). However no differences of product related excretions between organic and conventional dairy cattle were found for the milk yield range that included farms from both systems (6,393 to 9.197 kg ECM animal⁻¹ a⁻¹.) On average, most VS, N, and TAN excretion occurred during housing and milking as opposed to excretions during grazing (o: 75 %, c: 93 %). Hence, most of the excreta are subject to further management options on farm in housing, storage, and application to cropland.

Keywords: dairy cattle, excreta, manure, volatile solids, TAN, N excretion, methane, greenhouse gas, emission potential, conventional, organic

5.9.1 Einleitung

Die Haltung von Milchkühen macht einen wesentlichen Anteil der landwirtschaftlichen Gesamtemission von Treibhausgasen (THG) in Deutschland aus. Laut nationalem Emissionsinventar etwa 8 % der Gesamtemission von THG in Deutschland stammen aus der Verdauung der Nutztiere, dem Wirtschaftsdüngermanagement und den Emissionen nach Einträgen von Stickstoff (N) in Böden. Die Emissionen von Methan (CH₄) aus der Verdauung der Milchkühe trugen im Jahr 2011 zu rund 57 % zu den gesamten CH₄-Emissionen der deutschen Landwirtschaft bei, während etwa 19 % der gesamten CH₄-Emissionen auf das Wirtschaftsdünger-Management entfielen, und davon wiederum 37 % auf das des Milchviehs. Der Anteil des Wirtschaftsdüngermanagements (ohne Ausbringung und Weidegang) an den gesamten Lachgas-(N₂O)-Emissionen der deutschen Landwirtschaft betrug 2011 6,3 %, wovon ein gutes Drittel aus der Milchviehhaltung stammt (Strogies und Gniffke, 2013).

Aufgrund der hohen Bedeutung dieser THG-Quellen wurden diese einzelnen Bereiche der Milchviehhaltung im Verbundprojekt „Klimawirkung und Nachhaltigkeit von Landbausystemen - Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben“ neben gesamtbetrieblichen THG-Bilanzen mit den Algorithmen von REPRO (Frank et al., 2013) auch gesondert mit anderen Verfahren modelliert. Ursachen für unterschiedliche Modellierungsergebnisse wurden beispielhaft anhand von REPRO und dem für die deutsche Klimaschutzberichterstattung verwendeten Modell GAS-EM (Rösemann et al., 2013) analysiert (Schaub et al., 2013). Weiterhin wurden verschiedene Rechenverfahren zur Ermittlung der CH₄-Emissionen aus der Verdauung der Milchkühe angewandt. Dazu wurden anhand der gemessenen Futterqualitäten und Managementdaten typische Futterrationen aller untersuchten Betriebe errechnet und die Auswirkungen der Modellansätze im Betriebsvergleich diskutiert (Schulz et al., 2013). Die THG-Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung wurden basierend auf den vorgefundenen Lagerungsbedingungen und den Analysewerten der emissionsrelevanten Substanzen in den Wirtschaftsdüngern der Pilotbetriebe errechnet und verglichen (Paulsen et al., 2013). Die im Projekt verwendeten Modelle REPRO und GAS-EM errechnen die emissionsrelevanten Inhaltsstoffe in den Exkrementen der Tiere aus der Fütterung. Dabei kommt der Festlegung der Futterration und der tatsächlichen Futterqualitäten eine herausragende Bedeutung zu. Um die Auswirkungen der betriebsspezifischen Fütterung auf diesen Emissionsbereich genauer interpretieren zu können, werden im Folgenden die einzelnen Schritte zur Quantifizierung der emissionsrelevanten Substanzen in den Milchviehexkrementen noch einmal

gesondert modelliert. Es werden die Anteile der Ausscheidungen, die auf der Weide, im Stall und im Melkstand abgesetzt werden, dargestellt und die Ergebnisse im Betriebsvergleich betrachtet.

Hieraus und aus den vorgenannten Artikeln werden die modellbedingten Schwankungsbreiten bei der Berechnung der wichtigsten Emissionsbereiche der engeren Milchproduktion sehr deutlich. Betriebs- und Systemvergleiche zwischen konventioneller und ökologischer Milchproduktion waren dabei jedoch aufgrund der jeweils konsistent angewandten Methoden der Modellierung der THG-Quellen möglich.

5.9.2 Material und Methoden

Auf 44 Milchviehbetrieben in vier Regionen Deutschlands (kurz benannt Nord, Ost, Süd, West, für eine detaillierte Erläuterung siehe Kassow et al., 2009) wurden für die Jahre 2008, 2009 und 2010 umfassende Betriebsdaten erhoben, Futtermittel beprobt und analysiert und die Rationen der laktierenden und trockenstehenden Tiere unter Berücksichtigung der betrieblichen Analysewerte ermittelt (Schulz et al., 2013). Daten zu Leistungs- und Fruchtbarkeitsparametern, zur Haltung der trockenstehenden und laktierenden Tiere im Stall und auf der Weide und zur Melkdauer wurden in jährlichen Betriebsleiterinterviews erhoben, bei Betriebsbesuchen festgestellt und den monatlichen Ergebnissen bzw. dem Jahresbericht der Milchleistungsprüfung (MLP; Gruppenmittelwerte) entnommen (Blank et al., 2013)

Auf Basis dieser Daten und der ermittelten Sommer- und Winterrationen der trockenstehenden und laktierenden Tiere wurden die Mengen der potentiell emissionswirksamen Stoffe in den Exkrementen berechnet. Die durchschnittlichen Jahresausscheidungen der Milchkuh wurden unter Berücksichtigung der Dauer der Sommer- (Weidetage) und Winterfütterung sowie der Trockensteh- und Zwischenkalbezeit ermittelt. Es wird zudem berücksichtigt, zu welchen Anteilen die Milchviehausscheidungen auf der Weide, im Stall und im Melkstand abgesetzt werden. Bei fehlenden Angaben zu den trockenstehenden Tieren wurde eine Trockenstehzeit von 49 Tagen angenommen.

Die Berechnung der emissionsrelevanten Stoffmengen (*volatile solids* (VS), insgesamt ausgeschiedener N, ammoniakalischer N (*total ammoniacal nitrogen*, TAN)) in den Exkrementen erfolgte in enger Anlehnung an die Methodik des Modells GAS-EM der deutschen Klimaberichterstattung in der Submission 2012 (Rösemann et al., 2013). Zu den Exkrementen werden im weitesten Sinne auch der mengenmäßig sehr geringe Verlust von Hautschuppen und Haaren gezählt. Sie spielen bei der Berechnung der N-Fractionen eine Rolle, weshalb diese Ausscheidungen sprachlich häufig mit in den hier dargestellten Betrachtungen enthalten sind.

5.9.2.1 Berechnung der VS in den Ausscheidungen

Die Ermittlung der Eigenschaften der Milchviehexkreme und der Methanemission werden nach Rösemann et al. (2013) durchgeführt, die den Tier 2 Ansatz von IPCC (2006) mit der Methode der Berechnung der *volatile solids* (VS, das organische Material in den Exkrementen, das bei 800°C oxidiert wird) nach Dämmgen et al. (2011) kombinieren:

$$VS = DM * (1 - X_{DOM}) * (1 - X_{ash, feed}) \quad (1)$$

mit

- VS Ausscheidung von volatile solids [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
 DM Trockenmasseaufnahme [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
 X_{DOM} scheinbare Verdaulichkeit der organischen Substanz [kg kg^{-1}]
 $X_{ash, feed}$ Aschegehalt des Futters [kg kg^{-1}]

Für die Berechnung der VS-Ausscheidungen wurden die Futtermittel, die im Rahmen der drei Untersuchungsjahre analysiert wurden, in zwölf Futterkategorien gruppiert und der mittlere Aschegehalt aller Analysewerte aller Jahre in der jeweiligen Futterkategorie berechnet sowie die mittlere Verdaulichkeit der organischen Substanz (X_{DOM} , nach DLG, 1997) ermittelt (Tabelle 5.9-1). Sie wurden gemeinsam mit der in Schulz et al. (2013) beschriebenen Trockenmasseaufnahme der trockenstehenden und laktierenden Tiere der jeweiligen Sommer- und Winterration zur Berechnung der VS-Ausscheidung dieser einzelnen Tiergruppen verwendet.

Tabelle 5.9-1: Aschegehalt ($X_{ash, feed}$) und Verdaulichkeit der organischen Substanz (X_{DOM}) der für die Berechnung der VS-Ausscheidung verwendeten Futtermittelkategorien bezogen auf die Trockensubstanz (Mittelwerte der Analysedaten aller Jahre und aller Betriebe)

Futtermittelkategorie	Analysewerte	$X_{ash, feed}$	X_{DOM}
	[n]	[g kg^{-1}]	[%]
Weide, Frischfutter	19	87	80
Grassilage	237	105	75
Maissilage	100	39	73
GPS	10	61	75
Heu	119	78	68
Stroh	60	48	52
Krafftutter	252	52	86
Grascobs	18	115	81
Maiscobs	7	27	65
CCM	5	14	56
(Bier-) Treber	10	39	66
Kartoffeln	7	52	92

5.9.2.2 Berechnung der N-Mengen in den Ausscheidungen

Die Ermittlung der betriebsspezifischen N-Ausscheidungen des Milchviehs wurde nach Rösemann et al. (2013) durchgeführt. Es handelt sich hierbei um ein Massenflussverfahren, bei dem im Wesentlichen zwischen Kot und Harn und zwei N-Fractionen unterschieden wird. Dies sind der organische N ($m_{\text{excr, org}}$), der nicht verdaut und mit dem Kot ausgeschieden wird, und zudem ein geringer Anteil an Haut und Haaren, sowie der gesamte ammoniakalische N (total ammoniacal N, TAN; genannt $m_{\text{excr, TAN}}$ in den folgenden Gleichungen), der mit dem Harn ausgeschieden wird. In diesem Massenflussverfahren dient die verfügbare TAN-Menge in den Ausscheidungen dazu, die NH_3 -Emissionen zu berechnen, während aus der verfügbaren N-Gesamtmenge (m_{excr} in den folgenden Gleichungen, sonst N oder Gesamt-N genannt) in den Ausscheidungen die N_2O - und NO-Emissionen bestimmt werden. Diese beiden N-Pools (TAN und m_{excr}) werden durch die Berechnungen mitgeführt, da N-Emissionen an verschiedenen Punkten nach der Ausscheidung stattfinden. Die Berechnung beginnt bei der N-Aufnahme mit dem Futter, führt über eine N-Bilanz und verschiedene Zwischenstationen (wie beispielsweise Stall, Lager oder Weide) und endet bei Rösemann et al. (2013) mit der Ermittlung der Gesamtemissionen bis nach Ausbringung. In der vorliegenden Studie endet die Berechnung bei den Ausscheidungsmengen, die auf der Weide, im Melkstand und im Stall anfallen.

Die N-Bilanz dient zur Berechnung der ausgeschiedenen N-Menge und ihrer Aufteilung in die an jeder relevanten Station benötigten Fraktionen m_{excr} und TAN. Sie kann nach Dämmgen et al. (2009) beschrieben werden als

$$m_{\text{excr}} = m_{\text{faeces}} + m_{\text{urine}} + m_{\text{s}} = m_{\text{feed}} - (m_{\text{g}} + m_{\text{l}} + m_{\text{p}}) \quad (2)$$

mit

m_{excr}	die mit Kot, Harn, Hautpartikeln und Haaren ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{faeces}	die mit dem Kot ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{urine}	die mit dem Harn ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{s}	die mit Hautpartikeln und Haaren ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{feed}	die mit dem Futter aufgenommene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{g}	die in der Körpersubstanz bei Wachstum eingelagerte N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{l}	die mit Milch ausgeschiedene und exportierte N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]
m_{p}	die in Kälbern festgelegte und ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{a}^{-1}$]

Die einzelnen Glieder der N-Bilanz wurden nach den in den folgenden Absätzen beschriebenen Gleichungen aus Rösemann et al. (2013) berechnet und stammen aus Dämmgen et al. (2009) oder bauen darauf auf.

Analog zum Vorgehen von Schulz et al. (2013) wurde für die Berechnung der N-Aufnahme mit dem Futter (m_{feed}) die Ration und die N-Gehalte für die laktierenden und die trockenstehenden Tiere für das Sommer- und das Winterhalbjahr verwendet. In diese Berechnung gingen die Werte aus den Laboranalysen der einzelnen Futtermittel ein. Auch der Weideanteil an der Ration ist in dieser Berechnung enthalten. Folgende Gleichung wurde verwendet:

$$m_{\text{feed}} = x_{\text{N}} \cdot DM \cdot x_{\text{N, XP}} \quad (3)$$

mit

m_{feed}	die mit dem Futter aufgenommene N-Menge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
x_{N}	N-Gehalt des XP [$x_{\text{N}} = 1/6,25 \text{ kg kg}^{-1} \text{ XP}$]
DM	Trockenmasseaufnahme [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
$x_{\text{N, XP}}$	XP-Gehalt des Futters [kg kg TS ⁻¹]

Die in die Körpersubstanz eingelagerte N-Menge noch wachsender Milchkühe (m_{g}) wurde mit folgender Formel ermittelt:

$$m_{\text{g}} = \Delta w \cdot x_{\text{N, cow}} \quad (4)$$

mit

m_{g}	die in der Körpersubstanz bei Wachstum eingelagerte N-Menge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
Δw	Gewichtszuwachs [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
$x_{\text{N, cow}}$	mittlerer N-Gehalt des Milchkühekörpers [0,0256 kg kg ⁻¹]

Hierzu wurde aus der HIT-Datenbank die Anzahl der Tiere des Einzelbetriebes summiert, die im Bezugsjahr gekalbt hatten und als noch nicht ausgewachsen bezeichnet werden konnten (Tiere mit Kalb unter 24 und zwischen 24 und 30 Monaten). Für alle Betriebe und somit alle Rassen wurde die gleiche Annahme getroffen, dass diese Tiere noch 10 % ihres Endgewichtes (650 kg bei Schwarzbunten, das sind 65 kg als Δw) zulegen. Der so ermittelte Wert wurde auf die Anzahl der Milchkühe des Betriebes im Untersuchungsjahr bezogen. Bei fehlenden Angaben zu den noch wachsenden Jungkalbinnen wurde der Mittelwert der Anzahlen der anderen beiden Jahre zur Berechnung verwendet. Der so ermittelte betriebliche Wert für m_{g} wurde zur Gänze den Laktierenden zugerechnet, da davon ausgegangen wurde, dass das Wachstum bis zum Einsetzen der ersten Trockenstehphase abgeschlossen ist.

Die mit der Milchmenge ausgeschiedene N-Menge (m_{l}) wurde aus den MLP-Daten nach Gleichung (5) berechnet und komplett den Laktierenden zugerechnet.

$$m_{\text{l}} = Y_{\text{m}} \cdot X_{\text{MP, milk}} \cdot x_{\text{N, milk}} \quad (5)$$

m_{l}	die mit Milch ausgeschiedene und exportierte N-Menge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
Y_{m}	jährliche Milchmenge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
$X_{\text{MP, milk}}$	Proteingehalt der Milch [kg kg Milch ⁻¹]
$x_{\text{N, milk}}$	N-Gehalt des Milchproteins [1/6,38 kg kg Milch ⁻¹]

Die während der Trächtigkeit in den Kälbern festgelegte, d.h. bei der Geburt ausgeschiedene N-Menge wurde mit Gleichung (6) ermittelt, indem die Anzahl der Kalbungen pro Milchkuh und Jahr aus den HIT-Daten entnommen wurden. Als Kalbgewicht wurden 36 kg angenommen, was dem von Haenel et al. (2012) verwendeten Kalbgewicht entspricht.

$$m_p = n * w_{\text{calf}} * x_{\text{N, calf}} \quad (6)$$

mit

m_p	die in Kälbern festgelegte und ausgeschiedene N-Menge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
n	jährliche Anzahl Kalbungen pro Milchkuh [n Tier ⁻¹ a ⁻¹]
w_{calf}	Gewicht des Kalbes [kg Kalb ⁻¹]
$x_{\text{N, calf}}$	mittlerer N-Gehalt des Kalbkörpers [0,0256 kg kg ⁻¹]

Das Ergebnis für m_p von 0,9216 kg bei einer Kalbung pro Jahr wurde in Abhängigkeit von der betrieblichen Zwischenkalbezeit (ZKZ) und der Trockenstehdauer auf die Laktierenden und Trockensteher und auf das Jahr unter der Annahme umgerechnet, dass zwei Drittel des Kalbzuwachses im Muttertier in den letzten 90 Trächtigkeitstagen stattfinden (d.h. 0,6144 kg N in 90 Tagen (d) bzw. 0,0068 kg d⁻¹). Die täglichen 0,0068 kg N-Einlagerung in den Kalbkörper multipliziert mit der Trockenstehdauer [d] und 365 [d] bezogen auf die ZKZ [d] ergibt die N-Menge im Kalbkörper, der jährlich auf die Trockenstehzeit angerechnet wird. Wird die Summe des Restes der zwei Drittel des Kalbzuwachses aus den letzten 90 Tagen Trächtigkeitdauer, die nicht zur Trockenstehzeit gehören, und des einen Drittels des Kalbzuwachses, der vor den letzten 90 Tagen Trächtigkeitdauer stattfindet, multipliziert mit 365 [d] und bezogen auf die ZKZ [d], ergibt dies die N-Menge aus dem Kalbkörper, der auf die Laktationsperiode pro Jahr angerechnet wird.

Die N-Mengen, die dem Tier mit Hautabschilferungen und Haarverlust verloren gehen, wurden mit Gleichung (7) berechnet und das Ergebnis entsprechend der jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten anteilig auf Laktierende und Trockensteher verteilt:

$$m_s = \alpha * \beta * d * (w / w_{\text{unit}})^{0,75} \quad (7)$$

mit

m_s	die mit Hautpartikeln und Haaren ausgeschiedene N-Menge [kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]
α	Umwandlungsfaktor Zeiteinheit [$\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$]
β	Umwandlungsfaktor Masseneinheit [$\beta = 0,001 \text{ kg g}^{-1}$]
d	Koeffizient [$d = 0,018 \text{ g Tier}^{-1} \text{ d}^{-1}$]
w	Tiergewicht [kg Tier ⁻¹]
w_{unit}	Tiergewichtseinheit [$w_{\text{unit}} = 1 \text{ kg Tier}^{-1}$]

Die renal, d.h. mit dem Harn ausgeschiedene N-Menge, wurde über die fäkal ausgeschiedene, organische N-Menge unter Berücksichtigung der organischen N-Mengen in Hautschuppen und Haaren bestimmt (Gleichung (8)):

$$m_{\text{urine}} = m_{\text{excr}} - m_{\text{faeces}} - m_s \quad (8)$$

Zur Berechnung der im Kot enthaltenen N-Menge (m_{faeces}) wurde Gleichung (9) verwendet. Die Daten, aus denen die Gleichung (9) von Poulsen und Kristensen (1998) mit $R^2 = 0,98$ generiert wurde, enthielten Trockenmasseaufnahmen bis $21,1 \text{ kg d}^{-1}$. Die höchsten Trockenmasseaufnahmen auf den Pilotbetrieben lagen mit $21,7 \text{ kg d}^{-1}$ (beim konventionellen Betrieb 60) nur wenig darüber, so dass Gleichung (9) für die Pilotbetriebe noch anwendbar ist.

$$m_{\text{faeces}} = \alpha * \beta * \{ \alpha * (m_{\text{feed}} / a) + x_{\text{N}} [b * (DM / a) + c * (DM / a)^2] \} \quad (9)$$

mit

m_{faeces}	die mit dem Kot ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$]
α	Umwandlungsfaktor Zeiteinheit [$\alpha = 365 \text{ d a}^{-1}$]
β	Umwandlungsfaktor Masseneinheit [$\beta = 0.001 \text{ kg g}^{-1}$]
a	Konstante [$a = 40 \text{ g kg}^{-1}$]
x_{N}	N-Gehalt des XP [$x_{\text{N}} = 1/6,25 \text{ kg kg}^{-1}$]
b	Konstante [$b = 20 \text{ g kg}^{-1}$]
DM	Trockenmasseaufnahme [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$]
c	Konstante [$c = 1.8 \text{ g kg}^{-1} \text{ Tier a}^{-1}$]

Als letzter Schritt erfolgte aus den einzelnen Bilanzgliedern die Berechnung des organischen ($m_{\text{excr, org}}$) und des ammoniakalischen N (TAN bzw. $m_{\text{excr, TAN}}$), die die Basis für die Emissionsschätzung darstellen:

$$m_{\text{excr, org}} = m_{\text{faeces}} + m_{\text{s}} \quad (10)$$

$$m_{\text{excr, TAN}} = m_{\text{urine}} \quad (11)$$

mit

$m_{\text{excr, org}}$	die ges. org. N-Menge, die als org. N-Ausscheidung behandelt wird [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$]	
m_{faeces}	die mit dem Kot ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$],	siehe (9)
m_{s}	die mit Hautpartikeln und Haaren ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$],	siehe (7)
$m_{\text{excr, TAN}}$	die als TAN ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$],	siehe (8)
m_{urine}	die mit dem Harn ausgeschiedene N-Menge [$\text{kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$],	siehe (8)

Der relative TAN-Gehalt (x_{TAN} in [kg kg^{-1}]) der insgesamt in den Milchkuh-Exkrementen enthaltenen N-Menge ergibt sich aus Gleichung (12), wobei die Inputgrößen mit der Einheit [$\text{kg N Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$] in die Berechnung eingehen. Der relative TAN-Gehalt gibt Aufschluss über den Anteil des ammoniakalischen N am Gesamt-N in den Ausscheidungen.

$$x_{\text{TAN}} = m_{\text{excr, TAN}} / (m_{\text{excr, TAN}} + m_{\text{excr, org}}) = m_{\text{urine}} / (m_{\text{urine}} + m_{\text{faeces}} + m_{\text{s}}) \quad (12)$$

Die nach Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG; 2001) aus den MLP-Daten ermittelten durchschnittlichen Milchleistungen in Kilogramm energiekorrigierte Milch pro Tier und Jahr ($\text{kg ECM Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$) dienten zur Berechnung der produktbezogenen Ausscheidungen ($\text{kg kg}^{-1} \text{ ECM}$). Die Bezeichnungen

„tierbezogen“ und „stallplatzbezogen“ werden in diesem Kapitel wie die dazugehörigen Einheiten synonym verwendet. Die Ausdrücke „Milchkuh“ bzw. „Milchvieh“ werden für das mittlere Tier im Herdendurchschnitt bzw. den Herdendurchschnitt verwendet und beinhalten betriebsspezifisch neben der Zwischenkalbezeit auch die jährlichen Anteile der Tiere als Laktierende und Trockenstehende.

5.9.2.3 Berechnung der Anteile der Ausscheidungen auf der Weide, beim Melken und im Stall

Die jährlichen Anteile, die die trockenstehenden bzw. die laktierenden Tiere auf der Weide verbrachten, wurden ermittelt, indem die jeweilige Dauer der Sommerfütterung (in [d]) der Tiere mit der Anzahl der jeweiligen täglichen Weidestunden (in Stunden (h) pro Tag [h d^{-1}]) multipliziert und dieses Ergebnis auf die Gesamtanzahl der Jahresstunden bezogen wurde. Analog wurden die jährlichen Zeitanteile, die die Laktierenden im Melkstand verbrachten, ermittelt. Bei fehlenden Angaben zur täglichen Melkdauer (Pilotbetriebe 36, 37, 42, 46, 48, 62, 77, 82, 86) wurde der Mittelwert der restlichen Pilotbetriebe (3,7 h) angenommen. Der jeweils verbleibende Jahresanteil ergab den Anteil, den die Trockensteher bzw. die Laktierenden im Stall verbrachten.

Die jährlich von den trockenstehenden und laktierenden Tieren ausgeschiedenen Mengen der emissionswirksamen Substanzen wurden mit den jeweiligen Anteilen, die sie auf der Weide, im Melkstand und im Stall verbrachten, multipliziert.

5.9.3 Ergebnisse

Die mittleren VS-, m_{excr^-} , $m_{\text{excr}^+, \text{TAN}^-}$ und $m_{\text{excr}^+, \text{org}}$ -Ausscheidungen der Milchkühe sind in Tabelle 5.9-2 dargestellt. Mit Ausnahme der tierbezogenen Gesamt-N-Ausscheidung unterscheiden sich die Mittelwerte sowohl der tierbezogenen als auch der produktbezogenen Ausscheidungen der ökologischen und konventionellen Betriebe signifikant (alle $p \leq 0,05$, t-Tests).

Die **tierbezogene VS-Ausscheidung** der Milchkühe der ökologischen Betriebe lag im Mittel der Untersuchungsjahre mit $1.337 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (einzelbetriebliche Wertespanne 1.039 bis $1.709 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$) geringer ($p \leq 0,001$) als die der konventionellen Betriebe mit $1.561 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (1.097 bis $1.848 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Bei der **Gesamt-N-Ausscheidung** (m_{excr}) ließ sich kein statistisch abgesicherter Unterschied zwischen den Mittelwerten der ökologischen ($131,2 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$) und konventionellen ($129,7 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$) Betriebe feststellen. Die Werte lagen bei den ökologischen bzw. den konventionellen Betrieben in einem Bereich zwischen $91,6$ und $163,4 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $83,0$ und $170,9 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Somit unterschieden sich die Spannen der ermittelten m_{excr} der ökologischen und konventionellen Pilotbetriebe weder in ihrer Höhe noch in ihrer Weite. Während die **$m_{\text{excr}^+, \text{TAN}^-}$ -Ausscheidung** der Tiere auf den ökologisch wirtschaftenden Betrieben mit im Mittel $70,3 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ höher lagen als die der Tiere auf den konventionell wirtschaftenden Betrieben mit im Mittel $58,1 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($p \leq 0,05$), war es bei der **$m_{\text{excr}^+, \text{org}}$ -Ausscheidung** umgekehrt: durchschnittlich fielen auf den ökologischen Betrieben mit $60,9 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($44,0$ und $75,6 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$) weniger organische N-Ausscheidungen an als auf den konventionellen Betrieben mit mittleren $71,6 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ($p \leq 0,001$; einzelbetriebliche Werte zwischen $48,9$ bis $84,8 \text{ kg Tier}^{-1} \text{ a}^{-1}$).

Die durchschnittlichen **produktbezogenen Ausscheidungen** der ökologischen Milchkühe lagen im Mittel der Jahre grundsätzlich höher als die der konventionellen. Die **VS-Ausscheidung** auf den ökologischen Betrieben lag mit durchschnittlich $0,219 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ bei gleichzeitig deutlich höherer einzelbetrieblicher Wertespanne ($0,165$ bis $0,368 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$) über der der konventionellen Betriebe mit $0,181 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ ($p \leq 0,01$; Spanne $0,157$ bis $0,244 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$). Die Mittelwerte der **Gesamt-N-Ausscheidung** der Tiere der ökologischen Betriebe ($m_{\text{excr}} 0,021 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$) lagen ebenfalls höher als die der Tiere der konventionellen Betriebe ($0,015 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$; $p \leq 0,001$). Gleiches gilt für die **$m_{\text{excr, TAN}}$ -Ausscheidung**, die auf ökologischen Betrieben mit im Mittel $0,0115 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ fast doppelt so hoch war wie auf konventionellen mit $0,0068 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ ($p \leq 0,001$), und für die **$m_{\text{excr, org}}$ -Ausscheidung**, die auf den ökologischen Betrieben durchschnittlich $0,0098 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ und auf den konventionellen $0,0083 \text{ kg kg}^{-1} \text{ ECM}$ betrug ($p \leq 0,001$).

Tabelle 5.9-2: Durchschnittliche Ausscheidung der Milchkühe der emissionsrelevanten Substanzen volatile solids (VS) und Gesamtstickstoff (m_{excr} , aufgeteilt in die Fraktionen $m_{\text{excr, TAN}}$ im Urin und $m_{\text{excr, org}}$ in Kot sowie verlorenen Haaren und Hautpartikeln) unter Berücksichtigung der Sommer- und Winterfütterung und der trockenstehenden und laktierenden Kühe der ökologischen (öko) und konventionellen (kon) Pilotbetriebe in den Regionen Nord (N), Ost (O), Süd (S) und West (W) sowie die jährlichen Anteile, die die Milchkühe auf der Weide, im Melkstand und im Stall verbrachten (Mittelwerte der Anzahl der Futterjahre 2008 bis 2010)

Betrieb	Paar	Region	System	Futterjahre	Milchleistung ng (ECM)	[kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]				[kg kg ⁻¹ ECM a ⁻¹]				Anteil Weide	Anteil Stall	Anteil Melkstand	
						VS	m_{excr}	$m_{\text{excr, TAN}}$	$m_{\text{excr, org}}$	X _{TAN}	VS	m_{excr}	$m_{\text{excr, TAN}}$				$m_{\text{excr, org}}$
10	1	S	ö	3	4.197	1.139	121,0	73,6	47,3	0,61	0,271	0,0298	0,0175	0,0113	0,24	0,03	0,72
11	2	S	ö	3	5.285	1.709	153,2	84,0	69,3	0,55	0,323	0,0290	0,0159	0,0131	0,29	0,07	0,63
13	3	S	ö	2	6.937	1.412	124,3	59,0	65,3	0,47	0,204	0,0179	0,0085	0,0094	0,17	0,11	0,72
15	4	S	ö	3	5.886	1.700	143,1	69,5	73,6	0,48	0,289	0,0243	0,0118	0,0125	0,55	0,11	0,34
18	5	S	ö	3	4.469	1.168	115,1	66,9	48,3	0,58	0,261	0,0258	0,0150	0,0108	0,09	0,07	0,84
19	6	S	ö	3	6.769	1.401	160,7	95,2	65,5	0,59	0,207	0,0237	0,0141	0,0097	0,29	0,07	0,63
32	7	W	ö	2	9.185	1.516	153,4	77,8	75,6	0,51	0,165	0,0167	0,0085	0,0082	0,13	0,18	0,70
33	8	W	ö	2	6.593	1.284	142,8	82,0	60,8	0,57	0,195	0,0217	0,0124	0,0092	0,50	0,09	0,40
35	9	W	ö	1	6.903	1.367	109,2	53,3	55,9	0,49	0,198	0,0158	0,0077	0,0081	0,15	0,15	0,71
36	10	W	ö	1	7.212	1.274	139,0	74,0	65,0	0,53	0,177	0,0193	0,0103	0,0090	0,17	0,14	0,69
37	11	W	ö	1	7.466	1.280	141,2	78,5	62,7	0,56	0,171	0,0189	0,0105	0,0084	0,28	0,14	0,58
38	12	W	ö	1	7.184	1.426	154,1	89,1	65,1	0,58	0,198	0,0215	0,0124	0,0091	0,48	0,15	0,37
39	13	W	ö	2	7.322	1.402	141,4	74,9	66,6	0,53	0,191	0,0193	0,0102	0,0091	0,47	0,07	0,45
50	14	O	ö	1	6.709	1.283	108,0	51,8	56,2	0,48	0,191	0,0161	0,0077	0,0084	0,18	0,20	0,63
52	15	O	ö	1	4.072	1.498	115,1	59,7	55,4	0,52	0,368	0,0283	0,0147	0,0136	0,13	0,14	0,73
53	16	O	ö	1	7.313	1.287	136,5	73,7	62,8	0,54	0,176	0,0187	0,0101	0,0086	0,12	0,26	0,62
56	17	O	ö	1	3.881	1.050	91,6	47,7	44,0	0,52	0,271	0,0236	0,0123	0,0113	0,13	0,11	0,76
72	19	N	ö	2	4.627	1.154	123,4	72,2	51,2	0,58	0,249	0,0267	0,0156	0,0111	0,12	0,00	0,88
73	20	N	ö	2	8.598	1.476	109,4	36,7	72,7	0,33	0,172	0,0127	0,0043	0,0085	0,40	0,17	0,43
75	21	N	ö	2	5.674	1.039	121,1	70,5	50,6	0,58	0,183	0,0213	0,0124	0,0089	0,25	0,07	0,68
76	22	N	ö	2	6.915	1.276	119,2	61,5	57,7	0,51	0,184	0,0172	0,0089	0,0083	0,14	0,11	0,75
77	23	N	ö	2	7.204	1.277	163,4	94,9	68,4	0,58	0,177	0,0227	0,0132	0,0095	0,29	0,14	0,58
20	1	S	k	2	8.000	1.519	136,0	66,9	69,1	0,49	0,190	0,0170	0,0084	0,0086	0,00	0,11	0,89
21	2	S	k	3	7.353	1.507	83,0	22,3	60,7	0,26	0,205	0,0113	0,0030	0,0083	0,00	0,09	0,91
23	3	S	k	3	7.761	1.391	113,0	47,0	66,0	0,41	0,179	0,0146	0,0061	0,0085	0,00	0,09	0,91
25	4	S	k	2	8.168	1.431	91,4	27,4	64,1	0,28	0,175	0,0112	0,0034	0,0078	0,00	0,07	0,93

Tabelle 5.9-3: Fortsetzung

Betrieb	Paar	Region	System	Futtermenge [n]	Milchleistung (ECM)	[kg Tier ⁻¹ a ⁻¹]			[kg kg ⁻¹]			[kg kg ⁻¹ ECM a ⁻¹]			Anteil Weide	Anteil Stall	Anteil Melkstand	
						VS	M _{kor}	M _{kor} , TAN	M _{kor} , org	TAN	VS	M _{kor}	M _{kor} , TAN	M _{kor} , org				
28	5	S	k	3	6.393	1.097	91,9	43,0	48,9	0,47	0,172	0,0144	0,0067	0,0076	0,00	0,07	0,93	
29	6	S	k	3	7.582	1.374	170,9	103,9	67,0	0,61	0,181	0,0225	0,0137	0,0088	0,25	0,00	0,75	
42	7	W	k	1	10.117	1.848	114,7	38,0	76,7	0,33	0,183	0,0113	0,0038	0,0076	0,00	0,14	0,86	
43	8	W	k	2	7.186	1.357	115,3	51,6	63,7	0,45	0,189	0,0160	0,0072	0,0089	0,16	0,11	0,74	
45	9	W	k	2	7.530	1.530	120,4	54,0	66,4	0,45	0,203	0,0160	0,0072	0,0088	0,00	0,15	0,85	
46	10	W	k	1	10.278	1.622	128,0	46,1	82,0	0,36	0,158	0,0125	0,0045	0,0080	0,02	0,14	0,84	
47	11	W	k	2	9.715	1.736	129,9	54,3	75,6	0,42	0,179	0,0134	0,0056	0,0078	0,09	0,11	0,80	
48	12	W	k	2	10.059	1.583	153,9	70,6	83,3	0,46	0,157	0,0153	0,0070	0,0083	0,35	0,14	0,51	
49	13	W	k	1	9.197	1.513	104,8	34,2	70,6	0,33	0,165	0,0114	0,0037	0,0077	0,25	0,07	0,68	
60	14	O	k	1	9.778	1.766	147,2	62,4	84,8	0,42	0,181	0,0151	0,0064	0,0087	0,00	0,27	0,73	
62	15	O	k	1	9.440	1.655	140,6	63,1	77,5	0,45	0,175	0,0149	0,0067	0,0082	0,00	0,14	0,86	
63	16	O	k	1	7.559	1.846	157,9	84,7	73,2	0,54	0,244	0,0209	0,0112	0,0097	0,00	0,26	0,74	
66	17	O	k	1	9.767	1.769	124,6	46,1	78,5	0,37	0,181	0,0128	0,0047	0,0080	0,00	0,29	0,71	
82	19	N	k	2	9.325	1.525	132,5	57,3	75,1	0,42	0,164	0,0142	0,0061	0,0081	0,00	0,14	0,86	
83	20	N	k	2	9.379	1.604	139,9	67,2	72,7	0,48	0,171	0,0149	0,0072	0,0077	0,00	0,25	0,75	
85	21	N	k	2	8.605	1.647	137,6	66,2	71,4	0,48	0,191	0,0160	0,0077	0,0083	0,10	0,15	0,75	
86	22	N	k	2	9.680	1.620	153,0	73,5	79,6	0,48	0,167	0,0158	0,0076	0,0082	0,25	0,14	0,62	
87	23	N	k	2	7.643	1.394	167,7	98,5	69,2	0,59	0,182	0,0219	0,0129	0,0091	0,12	0,07	0,80	
					Mittelwert ö	6.382 ^a	1.337 ^a	131,2 ^a	70,3 ^b	60,9 ^a	0,53 ^b	0,219 ^b	0,021 ^b	0,0115 ^b	0,0098 ^b	0,25 ^b	0,12 ^a	0,63 ^a
					Mittelwert k	8.660 ^b	1.561 ^b	129,7 ^a	58,1 ^a	71,6 ^a	0,43 ^a	0,181 ^a	0,015 ^a	0,0068 ^a	0,0083 ^a	0,07 ^a	0,14 ^a	0,79 ^b
					Minimalwert ö	3.881	1.039	91,6	36,7	44,0	0,33	0,165	0,0127	0,0043	0,0081	0,09	0,00	0,34
					Maximalwert ö	9.185	1.709	163,4	95,2	75,6	0,61	0,368	0,0290	0,0175	0,0136	0,55	0,26	0,88
					Minimalwert k	6.393	1.097	83,0	22,3	48,9	0,26	0,157	0,0112	0,0030	0,0076	0,00	0,00	0,51
					Maximalwert k	10.278	1.848	170,9	103,9	84,8	0,61	0,244	0,0225	0,0137	0,0097	0,35	0,29	0,93

^{a,b} Mittelwerte, die sich signifikant unterscheiden (t-Test, p ≤ 0,05), sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

Der Großteil der Ausscheidungen wurde im Mittel unter Dach, d.h. im Stall und im Melkstand, abgesetzt (Tabelle 5.9-2). Dies war sowohl bei den ökologischen (75 % der VS- und der m_{excr} -Ausscheidungen bzw. 40 % $m_{\text{excr, TAN}}$ - und 35 % der $m_{\text{excr, org}}$ -Ausscheidungen) als auch bei den konventionellen Betrieben (93 % der VS- und der m_{excr} -Ausscheidungen bzw. ebenfalls 40 % der $m_{\text{excr, TAN}}$ - und 53 % der $m_{\text{excr, org}}$ -Ausscheidungen) zu beobachten. Dabei unterscheiden sich mit Ausnahme der TAN-Ausscheidungen die Mittelwerte dieser Anteile der Ausscheidungen auf Weiden bzw. im Stall sowie die Mittelwerte ihrer absoluten Werte zwischen den ökologischen und konventionellen Pilotbetrieben hochsignifikant ($p \leq 0,001$, Tabelle 5.9-2; absolute Werte hier nicht dargestellt). Das Verhältnis zwischen den abgesetzten N-Verbindungen auf der Weide, im Stall und beim Melken ist zum Vergleich der Betriebe in Abbildung 5.9-1 dargestellt.

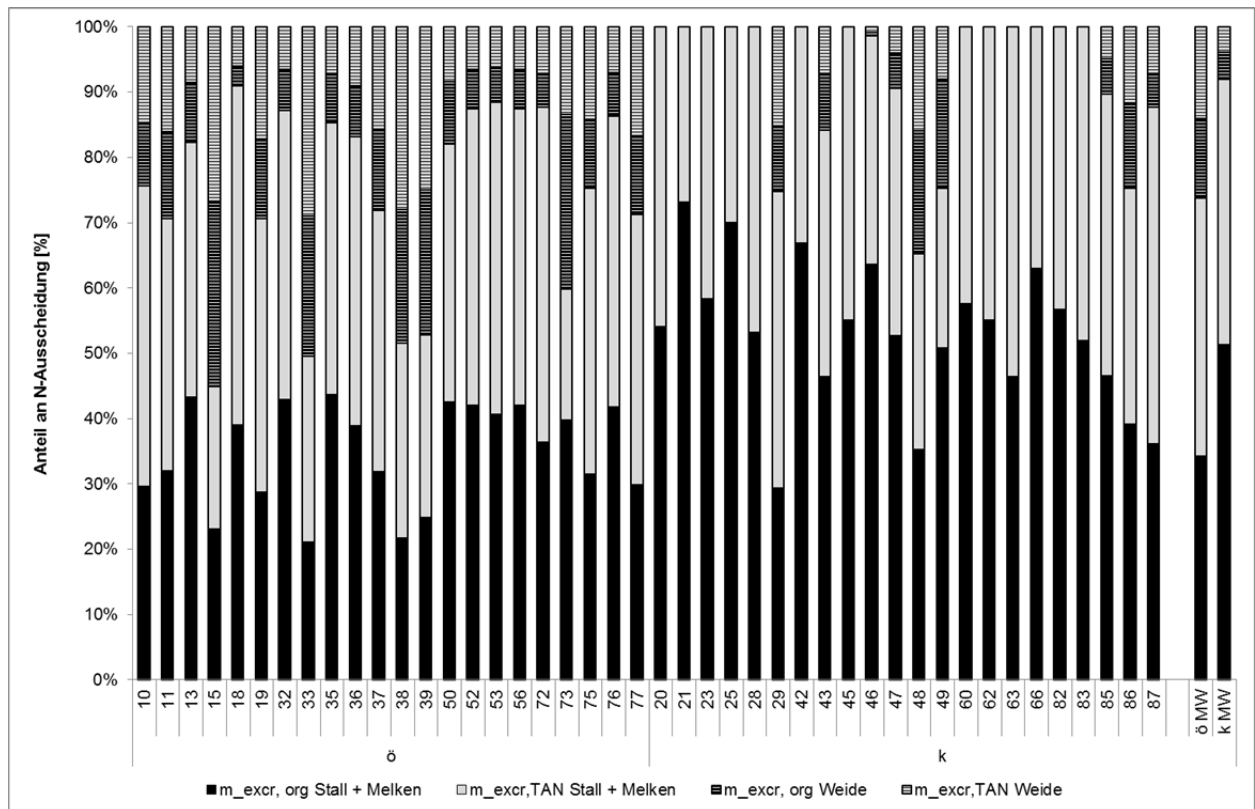


Abbildung 5.9-1: Anteilig als organisch ($m_{\text{excr, org}}$, hier dargestellt als $m_{\text{excr, org}}$) und ammoniakalisch ($m_{\text{excr, TAN}}$, hier dargestellt als $m_{\text{excr, TAN}}$) auf der Weide und in Stall und Melkstand ausgeschiedener N der ökologischen (öko) und konventionellen (kon) Pilotbetriebe (Mittelwerte 2008 bis 2010).

Lediglich auf ökologischen Betrieben kam es vor, dass mehr als 50 % (Pilotbetriebe 15 und 33) bzw. zwischen 40 und 50 % (Pilotbetriebe 38, 39, 75) der m_{excr} - und VS-Ausscheidungen von den Milchkü-

hen auf der Weide abgesetzt wurden, während auf 13 konventionellen Betrieben (Pilotbetriebe 20, 21, 23, 25, 28, 42, 45, 60, 62, 63, 66, 82, 83) alle Ausscheidungen im Stall und Melkstand stattfanden (Abbildung 5.9-1).

5.9.4 Diskussion

Während die über die Jahre 2008 bis 2010 gemittelten **tierbezogenen VS-Ausscheidungen** der Milchkühe für die ökologisch (öko) bewirtschafteten Betriebe signifikant geringer waren als die der konventionell (kon) bewirtschafteten, konnten bei den tierbezogenen N-Ausscheidungen (m_{excr}) keine Unterschiede festgestellt werden. Interessant war jedoch der zwischen den Systemen signifikant unterschiedliche Anteil an N in den Fraktionen der tierbezogenen N-Ausscheidung, d.h. im organischen Anteil ($m_{\text{excr, org}}$) bestehend aus Kot-N (m_{faeces}) und Haut und Haar (m_s) und im anorganischen Anteil im Harn ($m_{\text{excr, TAN}}$ bzw. TAN). Die TAN-Ausscheidungen lagen bei den ökologischen Milchkühen höher als bei den konventionellen, während es sich bei den organischen Ausscheidungen genau andersherum verhielt. Das führte zudem zu einem signifikanten Unterschied von 10 %-Punkten im Anteil der TAN-Ausscheidungen am insgesamt ausgeschiedenen N (x_{TAN}) zwischen ökologischen (53 %) und konventionellen Milchkuhexkrementen (43 %). Rein rechnerisch entstehen niedrige relative TAN-Gehalte der N-Ausscheidungen und geringe, ihnen zugrunde liegende TAN-Werte im Urin aus hohen fäkalen N-Ausscheidungen (durch die Differenzberechnung des renalen N aus dem Gesamt-N in den Ausscheidungen abzüglich des Kot-N). Hohe N-Gehalte im Kot (m_{faeces}) wiederum kommen insbesondere durch hohe Trockenmasseaufnahmen zustande (vgl. Gleichung (9), in die die Trockenmasseaufnahme zweifach eingeht). Die durchschnittliche berechnete Trockensubstanzaufnahme der Milchkühe auf den konventionellen Betrieben war aufgrund der höheren mittleren Milchleistung höher als die der ökologischen.

Diese rechnerische Beobachtung könnte mit dem folgenden Zusammenhang übereinstimmen, obwohl die nachfolgenden Punkte nicht explizit in die Berechnungen eingingen. Auf den ökologischen Betrieben wurden häufig Körnerleguminosen als Kraffutterkomponenten und relativ eiweißreiches Grundfutter eingesetzt (vgl. Schulz et al., 2013). Diese Futtermittel (Körnerleguminosen im Vergleich zu Extraktionsschroten, Weidefutter und Grassilage im Vergleich zu Maissilage) weisen eine hohe Proteinabbaubarkeit im Pansen auf. Bei der Ackerbohne beispielsweise gelangen lediglich ca. 15 % des enthaltenen XP unabgebaut in den Darm (UDXP; DLG, 1997), während sich dieser Anteil bei Sojaextraktionsschrot auf etwa 30 % beläuft (DLG, 2011). Demnach wird ein vergleichsweise großer Teil des XP in Ackerbohnen von den Mikroben im Pansen zu Ammoniak abgebaut, welcher energieabhängig zu Mikrobenprotein aufgebaut oder aber in der Leber zu Harnstoff umgewandelt und v.a. mit dem Urin ausgeschieden wird (Martin et al., 2007). Der höhere Anteil der TAN-Ausscheidungen an der insgesamt ausgeschiedenen N-Menge könnte demnach auf den stärkeren Einsatz von Proteinträgern mit höherer ruminarer Abbaubarkeit im ökologischen Landbau zurückgeführt werden. Die 20 Betrieben, darunter 17 ökologische, die in der mittleren Jahresration überwiegend Frischgras (als Weide oder Schnitt) und Grassilage fütterten, erreichten x_{TAN} -Werte zwischen 0,51 und 0,61 kg kg⁻¹. Hingegen lagen bei einer deutlich weniger grasbasierten Fütterung und einem höheren mittleren Kraffuttereinsatz auf den restlichen 24 Betrieben, darunter 19 konventionelle, x_{TAN} -Werte von 0,26 bis unter 0,51 kg kg⁻¹ vor (vgl. Schulz et al., 2013).

Theoretisch könnten eine hohe N-Aufnahme mit dem Futter (hohes m_{feed} durch hohe N-Gehalte im Futter oder hohe Trockenmasseaufnahmen) oder auch ein im Verhältnis zu m_{feed} geringer Milch-N-Export (m_l) von der Kuh durch eine geringe Milchleistung dazu führen, dass sich rechnerisch hohe N-Gehalte in den Ausscheidungen ergeben. Allerdings scheint eine hohe Proteinübersversorgung in der Realität unwahrscheinlich, da Protein in der Fütterung teuer ist und zudem die meisten Pilotbetriebe eine Fütterungsberatung (20 bei n=39, davon 16 konventionelle Betriebe) in Anspruch nahmen oder andere Kontrollmaßnahmen wie Rationsberechnungen, Futtermittelanalysen oder Harnstoffwertkontrollen ergriffen (17 bei n=39).

Die über die Jahre 2008 bis 2010 gemittelten tierbezogenen Ausscheidungen der Milchkühe auf den ökologischen und konventionellen Pilotbetrieben lagen im oder rund um den Bereich der von Rösemann et al. (2013) berichteten mittleren Werte für Deutschland und für die Bundesländer, die im Wesentlichen mit der gleichen Methodik wie der in diesem Kapitel beschriebenen ermittelt wurden. Während für die Milchkühe auf den Pilotbetrieben durchschnittliche Ausscheidungen von VS von 1.337 kg Tier⁻¹ a⁻¹ (öko) und 1.561 kg Tier⁻¹ a⁻¹ (kon), von N von 131,2 (öko) und 129,7 kg Tier⁻¹ a⁻¹ (kon) und relative TAN-Gehalte der N-Ausscheidungen von 53 (öko) und 43 % (kon) bei einem mittleren Milchleistungsniveau von 6.382 (öko) und 8.660 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ (kon) festgestellt wurden, berichten Rösemann et al. (2013) für Deutschland beispielsweise für das Jahr 2008 eine durchschnittliche Ausscheidung der Milchkühe von VS von 1438 und von N von 115,9 kg Tier⁻¹ a⁻¹ sowie einen mittleren TAN-Gehalt der Ausscheidungen von 56 % bei einer durchschnittlichen Milchleistung von 6.821 kg Tier⁻¹ a⁻¹. Für die einzelnen Bundesländer wurden für 2008 zudem mittlere VS-Ausscheidungen zwischen 1.383 und 1.516 kg Tier⁻¹ a⁻¹, N-Ausscheidungen von 105,4 bis 121,7 kg Tier⁻¹ a⁻¹ und relative TAN-Gehalte der N-Ausscheidungen zwischen 52 und 58 % bei Milchleistungsspannen zwischen 6.017 und 8.398 kg Tier⁻¹ a⁻¹ angegeben. Bei allen von Rösemann et al. (2013) berechneten Werten ist zu beachten, dass mittlere, auf Landkreisebene vorhandene Daten Grundlage für die Berechnungen waren und die für die Bundesländer und Deutschland angegebenen Werte hieraus wiederum aggregiert wurden. Bei Milchkühen wird beispielsweise von mittleren landkreisspezifischen „grass based diets“ oder „mixed diets“ ausgegangen, die bei einer Milchkuh mit einer Milchleistung von 9.000 kg zu relativen TAN-Gehalten in den N-Ausscheidungen von ca. 58 % oder ca. 51 % führen (Haenel pers. Komm., 2012). In diesem Wertebereich von x_{TAN} lag bei einer vergleichbaren Milchleistung von 9.185 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ im Projekt lediglich Pilotbetrieb 32 (öko), der eine deutlich grasbetonte Fütterung aufwies (41 % Grassilage, 10 % Weidefutter, 20 % Maissilage an der Gesamtration). Die anderen 15 Betriebe mit x_{TAN} -Werten in diesem Bereich fütterten überwiegend ebenfalls grasbetonte Rationen (vgl. Schulz et al., 2013), hatten jedoch deutlich geringere Milchleistungen (3.881 bis 7.559 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹). Betriebliche Sonderfälle, beispielsweise speziell zusammengesetzte Rationen oder besonders hohe oder niedrige Milchleistungen, wie sie insbesondere auf den ökologisch wirtschaftenden Pilotbetrieben vorgefunden wurden, führen also zu deutlich unterschiedlichen relativen Werten im Vergleich zu den mit GAS-EM berechneten und im Emissionsinventar berichteten Werten. Das erklärt die für die Pilotbetriebe ermittelten wesentlich weiteren Wertespanssen der durchschnittlichen einzelbetrieblichen Ausscheidungen von VS, N und x_{TAN} (Tabelle 5.9-2).

Die signifikant ($p \leq 0,001$) unterschiedlichen mittleren Milchleistungen der Tiere auf den ökologischen und konventionellen Pilotbetrieben sind die Ursache für die grundsätzlich deutlich höheren durchschnittlichen **produktbezogenen Ausscheidungen** der ökologischen Milchkühe im Vergleich zu denen der konventionellen ($p \leq 0,01$). Gleichzeitig wurde auf den ökologischen Betrieben immer eine höhere ein-

zelbetriebliche Wertespanne der produktbezogenen VS-, m_{excr^-} , $m_{\text{excr, org}^-}$ und $m_{\text{excr, TAN}}$ -Ausscheidungen vorgefunden als auf den konventionellen Betrieben (Tabelle 5.9-2), was ebenfalls direkt mit der weiten Spanne der Milchleistungen der ökologischen Betriebe zusammenhängt.

Wird lediglich der **überlappende Milchleistungsbereich** der ökologischen (n=14) und konventionellen Betriebe (n=12) zwischen 6.393 und 9.197 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ betrachtet, können weder bei den tier- noch bei den produktbezogenen Ausscheidungen statistisch abzusichernde Unterschiede zwischen den Systemen festgestellt werden. Die Betriebe, die die in den vorstehenden Absätzen genannten Unterschiede in Bezug auf die gesamte Stichprobe ausmachen, befinden sich demnach im Wertebereich unter etwa 6.400 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ (8 ökologische Betriebe zeigten geringere Milchleistungen) und über etwa 9.200 kg ECM Tier⁻¹ a⁻¹ (10 konventionelle Betriebe wiesen höhere Milchleistungen auf). Die Spannweite der Ausscheidungen bleibt hingegen auch in diesem engeren Milchleistungsbereich sowohl bei tier- als auch bei produktbezogener Betrachtung weiterhin groß, insbesondere bei den N- und TAN-Ausscheidungen.

Grundsätzlich könnte eine **Verbesserung** der Ermittlung der emissionswirksamen Stoffe in den Milchviehexkrementen erreicht werden, indem die Daten, die in die Gleichungen eingehen, noch genauer oder gesicherter bekannt sind. Unter Umständen könnten dadurch Zusammenhänge zwischen Rationsgestaltung und Exkrementeninhaltsstoffen klarer werden. Die Diskussion von Schulz et al. (2013) (Kapitel 5.8.4) beleuchtet die relevanten Aspekte im Detail. Hinzuzufügen ist für die VS-Berechnung noch die in Kapitel 5.9.2 beschriebene Bildung von 12 Futterkategorien, die eine gewisse Vereinheitlichung der Eingangsdaten darstellt.

Insgesamt war die durchschnittliche **Weidedauer** der Milchkühe auf den Pilotbetrieben mit Werten zwischen 0 und ca. 4800 Stunden im Jahr extrem unterschiedlich. Sowohl bei den ökologischen (75 %) als auch bei den konventionellen Pilotbetrieben (93 %) wurde der Großteil der Ausscheidungen im Mittel im Stall und im Melkstand abgesetzt. Der insgesamt höhere Anteil an Weidegang ist für Milchkühe in ökologischen Betrieben per Richtlinien vorgeschrieben (z.B. in der EG-Durchführungsverordnung Nr. 889/2008 (Europäische Kommission, 2008)). Hingegen geht bei konventionellen Betrieben der Trend über die vergangenen zwei Jahrzehnte hin zu weniger bis zu gar keinem Weidegang, wobei struktur- und regionsabhängige Ausgangswerte sehr unterschiedlich sein können (Bäuerle und Windhorst, 2010, Rösemann et al., 2013). Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Pilotbetrieben bestanden bei den durchschnittlichen Mengen der auf der Weide bzw. in Stall und Melkstand ausgeschiedenen, tierbezogenen VS-, m_{excr^-} und $m_{\text{excr, org}^-}$ -Ausscheidungen ($p \leq 0,001$), nicht aber bei den TAN-Ausscheidungen. Im Gegensatz zu den unter Dach abgesetzten Exkrementen entziehen sich Weideexkreme eines weiteren möglichen Managements. Die für Weideexkreme anwendbaren Emissionsfaktoren sind pro potentiell emissionswirksamer Stoffeinheit niedriger als die diversen für Stall, Melkstand und Lager gültigen Faktoren (vgl. IPCC, 2006).

Durch die Anwendung von Emissionsfaktoren auf die tierbezogenen m_{excr} (zur Ermittlung der N₂O- und NO-Emissionen) bzw. TAN (zur Ermittlung der NH₃-Emissionen) bedeuten hohe Gesamt-N-Werte in den Ausscheidungen ein hohes **Potential** an direkten N₂O-Emissionen sowie an indirekten N₂O-Emissionen aus NO aus der Deposition reaktiver N-Verbindungen bzw. bedeuten hohe TAN-Ausscheidungen ein hohes Potential an indirekten N₂O-Emissionen aus NH₃. Die durchschnittlichen tierbezogenen TAN-Ausscheidungen der Milchkühe waren auf den ökologischen Betrieben signifikant höher als auf den konventionellen, womit ein grundsätzlich höheres Potential der indirekten N₂O-

Emission aus ökologischen Milchviehexkrementen verbunden ist. Die mittleren N-Ausscheidungen unterschieden sich nicht zwischen den Systemen, so dass das indirekte und direkte N₂O-Emissionspotential aus ökologischen und konventionellen Milchviehexkrementen beim Bezug auf das Tier als gleich zu betrachten ist. Die durchschnittlichen tierbezogenen VS-Ausscheidungen der Milchkühe waren auf den ökologischen Betrieben signifikant geringer als auf den konventionellen, und damit war auch das Potential ökologischer Milchviehexkreme, CH₄ zu emittieren, geringer. Bei produktbezogener Betrachtung ist erwartungsgemäß ein Einfluss der Milchleistung deutlich erkennbar (vgl. Schulz et al., 2013). Die tatsächliche Höhe des Emissionspotentials wird anhand der einzelbetrieblichen Gegebenheiten unterschiedlich hoch ausgeschöpft. Daher müssen in folgenden Schritten die konkreten, für THG-Emissionen relevanten Gegebenheiten auf den Pilotbetrieben, beispielsweise mittlere Jahrestemperatur, Stallsystem, Einstreumenge, Wirtschaftsdüngerart, Lagerungsverfahren und Ausbringungsmodalitäten so zusammengefügt werden, dass mit passenden Emissionsfaktoren die CH₄- und die direkten und indirekten N₂O-Emissionen ermittelt werden können. Zudem ist es für eine umfassendere Bewertung der Milchviehhaltung in Bezug auf THG-Emissionen wichtig, über die Milchleistungsbetrachtung hinaus zu gehen und Aspekte wie Aufzuchtdauer und Emissionen aus der Nachzucht einzubeziehen, die Nutzungsdauer und Lebensleistung der Milchkühe zu berücksichtigen und zudem Tierwohl und Tiergesundheit zu integrieren.

5.9.5 Schlussfolgerungen

Ein wichtiger Faktor für die realitätsnahe Berechnung der Ausscheidung emissionsrelevanter Stoffe in den Milchviehexkrementen – und damit für die darauf aufbauende Ermittlung der THG-Emissionen – ist die möglichst genaue Kenntnis der Futtermengen und -qualitäten auf den Betrieben. Die höheren mittleren tierbezogenen TAN-Ausscheidungen der ökologischen Milchkühe bei in beiden Systemen ähnlich hohen mittleren N-Ausscheidungen sind in der unterschiedlichen Fütterungspraxis begründet. Dies ist u.a. bedingt durch die Ökorichtlinien, die Weidegang und Raufutteranteile fest vorschreiben. Zudem sind keine Extraktionsschrote in der Fütterung zugelassen. Dies führt bei den ökologischen Betrieben zu einem höheren Potential indirekter N₂O-Emissionen aus der Emission von NH₃ bei einem gleich hohen direkten N₂O-Emissionspotential aus dem ausgeschiedenen N. Die tatsächlichen Emissionen aus diesen Quellen sind betriebsindividuell unter Berücksichtigung des Wirtschaftsdüngermanagements zu untersuchen. Die Milchleistungen der untersuchten ökologischen Betriebe waren durchschnittlich wesentlich geringerer als die der konventionellen, was dazu führte, dass alle emissionsrelevanten Ausscheidungen mit Bezug auf das Produkt Milch dort im Mittel höher lagen als auf den konventionellen. Jedoch waren im Überlappungsbereich der Milchleistungen der ökologischen und konventionellen Betriebe weder bei den tier- noch bei den produktbezogenen Ausscheidungen Unterschiede sichtbar. Schon recht geringe Milchleistungssteigerungen der Tiere auf niedrigleistenden Betrieben können daher zu geringeren produktbezogenen Ausscheidungen von emissionswirksamen Stoffen führen, und damit auch zu einem geringeren Potential, THG zu emittieren. Dies könnte beispielsweise durch eine verbesserte Grundfutterqualität geschehen.

Die ökologischen Betriebe nahmen im Mittel wesentlich seltener eine umfassende Fütterungsberatung in Anspruch als die konventionellen Betriebe. Als erster Schritt hin zu einer moderaten Leistungssteigerung wäre daher eine auf die speziellen Bedürfnisse der ökologischen Milchviehwirtschaft eingehende Beratung vorteilhaft. Diese muss ganzheitlich aufgestellt sein. Auch für eine umfassendere Bewertung

der Milchviehhaltung in Bezug auf THG-Emissionen ist über die Milchleistungsbetrachtung hinaus zu gehen. Aspekte wie Aufzucht-dauer, Nutzungsdauer und Lebensleistung der Milchkühe sind neben Tierwohl und -gesundheit zu berücksichtigen.

5.9.6 Danksagung

Ein herzlicher Dank geht an Hans-Dieter Haenel vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz in Braunschweig für viele konstruktive Hinweise während der Berechnungsphase!

5.9.7 Literatur

Bäuerle H, Windhorst H-W (2010) Struktur-wandlung in der deutschen Milchkuhhaltung zwischen den Jahren 1992 und 2007. Vechta: Vechtaer Druckerei und Verlag. 149 S

Blank B, Schaub D, Paulsen HM, Rahmann G (2013) Vergleich von Leistungs- und Fütterungsparametern in ökologischen und konventionellen Milchviehbetrieben in Deutschland. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 63(1):21-28 und im Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

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 excretion of dairy cows in the German emission model GAS-EM. Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research 3 2009 (59):233-252

Dämmgen U, Amon B, Gyldenkaerne S, Hutchings NJ, Kleine Klausung H, Haenel H-D, Rösemann C (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 vTI Agriculture and Forestry Research 2 2011 (61)11-126

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.) (1997) Futterwerttabellen Wiederkäuer: 7. erweiterte und überarbeitete Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 212 S, ISBN 3-7690-0547-3

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.) (2001) DLG-Information 1/2001. Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 32 S

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.) (2011) Bewertung von Einzelfuttermitteln. Proteinwert der Rapsprodukte beim Rind neu gefasst. Stellungnahme des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung 12/2011. http://www.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/Proteinwert_der_Rapsprodukte_Rind_2011.pdf. Zugriff 17.06.2013

Europäische Kommission (2008) Verordnung (EG) Nr. 889/2008 der Kommission vom 5. September 2008, mit Durchführungsvorschriften zur Verordnung (EG) Nr. 834/2007 des Rates über die ökologische/biologische Produktion und die Kennzeichnung von ökologischen/biologischen Erzeugnissen hin-

sichtlich der ökologischen/biologischen Produktion, Kennzeichnung und Kontrolle, ABl. Nr. L 250 vom 18.09.2008, S.1. 84 S

Frank H, Schmid H, Hülsbergen K-J (2013) Energie- und Treibhausgasbilanz milchviehhaltender Landwirtschaftsbetriebe in Süd- und Westdeutschland. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Haenel H-D, Röseman C, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Döhler H, Eurich-Menden B, Wulf S, Dieterle M, Osterburg B (2012) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2010: Report on methods and data (RMD) Submission 2012. Braunschweig: vTI, Landbauforschung vTI Agriculture and Forestry Research - Sonderheft 394 S

Haenel H-D (2012) Email vom 12.12.2012

IPCC (2006) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan

Martin R, Mansfeld R, Hoedemaker M, de Kruif A (2007) Milchleistung und Fütterung. In: de Kruif A, Mansfeld R, Hoedemaker M (Hrsg.) Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind. 2. Auflage. Stuttgart: Enke, 105-140

Kassow A, Blank B, Paulsen HM, Aulrich K, Rahmann G (2009) Studies on greenhouse gas emissions in organic and conventional dairy farms. Landbauforsch-vTI Special issue 335:65-75

Paulsen HM, Blank B, Schaub D, Aulrich K, Rahmann G (2013) Zusammensetzung, Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe in Deutschland und die Bedeutung für die Treibhausgasemissionen. Landbauforsch Appl Agric Forestry Res 63(1):29-36 und im Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Poulsen HG, Kristensen VF (1998) Standard Values for Farm Manure. A Revaluation of the Danish Standard Values concerning the Nitrogen, Phosphorus and Potassium Content of Manure. DIAS report 7. Danish Institute of Agricultural Sciences, Foulum. 160 S

Röseman C, Haenel H-D, Dämmgen U, Poddey E, Freibauer A, Wulf S, Eurich-Menden B, Döhler H, Schreiner C, Bauer B, Osterburg B (2013) Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990 – 2011: Report on methods and data (RMD) Submission 2013. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Rep 1, 390 S

Schaub D, Rösemann C, Frank H, Paulsen HM, Blank B, Hülsbergen K-J, Rahmann G (2013) Treibhausgasemissionen ökologischer und konventioneller Milchviehbetriebe - Berechnung ausgewählter Teilbereiche mit den Modellen REPRO und GAS-EM unter besonderer Berücksichtigung der Fütterungsmodellierung. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Schulz F, Warnecke S, Paulsen HM, Rahmann G (2013) Unterschiede der Fütterung ökologischer und konventioneller Betriebe und deren Einfluss auf die Methan-Emission aus der Verdauung von

Milchkühen. Forschungsbericht Klimawirkungen und Nachhaltigkeit ökologischer und konventioneller Betriebssysteme – Untersuchungen in einem Netzwerk von Pilotbetrieben

Strogies M, Gniffke P (2013) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2011. Climate Change Nr. 08/2013. Umweltbundesamt. 884 S