



# Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 94 | Ausgabe 2

August 2016

AGRARWISSENSCHAFT

FORSCHUNG

—  
PRAXIS



# Stickstoffmengenflüsse und Bilanzierungen von milchviehhaltenden Betrieben im Kontext der Düngeverordnung

ANDREA MACHMÜLLER und ALBERT SUNDRUM

## 1 Einleitung

Die Störung des natürlichen Stickstoff-(N)-Kreislaufs gehört zu den neun Prozessen des Erdsystems für die ROCKSTRÖM et al. planetare Grenzen sehen (22), die in Hinblick auf eine sichere, umweltbezogene Lebensgrundlage der Menschheit nicht überschritten werden sollten. Nach Schätzungen des Autorenkollektivs werden durch überwiegend landwirtschaftliche Aktivitäten jedes Jahr weltweit rund 120 Millionen Tonnen elementarer Stickstoff ( $N_2$ ) aus der Atmosphäre in reaktive N-Formen überführt. Diese N-Menge überschreitet die planetare Grenze um das Vierfache (22, Seite 473). In seinem aktuellen Sondergutachten "Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem" zeigt der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) auf, dass im Jahr 2012 in Deutschland 94 Prozent der Ammoniakemission und 77 Prozent der Lachgasemission aus der Landwirtschaft stammte und die Landwirtschaft auch in der Summe der atmosphärischen Einträge an reaktiven N-Verbindungen (Ammoniak, Lachgas und Stickstoffoxide) mit einem Anteil von 57 Prozent die größte Emissionsquelle darstellt (25, Seite 79). In Bezug auf reaktive N-Einträge in Oberflächengewässer ist die Landwirtschaft in Deutschland mit einem Anteil von 79 Prozent ebenfalls der Hauptverursacher (25, Seite 175) und ebenso hauptverantwortlich für die hohen Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (5, Seite 5).

Nach Einschätzung der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) kommt die Minderung der N-Überschüsse in der deutschen Landwirtschaft nur zögerlich in Gang (15, Seite 3). In Deutschland ist das bislang einzige politische Instrument zur Regulierung und Minderung betrieblicher N-Überschüsse in der Landwirtschaft die "Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen", kurz "Düngeverordnung (DüV)". Die Düngeverordnung ist ein wesentlicher Teil des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung der "Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (91/676/EWG)", kurz "EG-Nitratrichtlinie" (3). Gemäß Artikel 1 hat die EG-Nitratrichtlinie zum Ziel, "die durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verursachte oder ausgelöste Gewässerverunreinigung zu verringern und weiterer Gewässerverunreinigung dieser Art vorzubeugen". Als Teil des Aktionsprogramms zur Umsetzung der EG-Nitratrichtlinie muss die Düngeverordnung gemäß EG-Nitratrichtlinie (EG-Nitratrichtlinie, Artikel 5, Absatz 7) mindestens alle vier Jahre auf ihre Wirksamkeit hin überprüft und gegebenenfalls weiterentwickelt werden. Eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe evaluierte im Jahr 2012 die Düngeverordnung (2). Auf dieser Ergebnisgrundlage wurde die Düngeverordnung vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) überarbeitet. Die Planungen sahen vor, dass die novellierte Düngeverordnung Ende des Jahres 2015 in Kraft treten sollte (3). Dem Verordnungsentwurf (4, Stand: 18. Dezember 2014) kann unter § 15 Absatz 2 entnommen werden, dass für die Zukunft geplant ist, "die in den §§ 8 und 9 geregelten Anforderungen an den Nährstoffvergleich und seine Bewertung ... ab dem 1. Januar 2018 schrittweise durch einen Vergleich der dem Betrieb zugeführten und vom Betrieb abgegebenen Nährstoffmengen" abzulösen, das heißt es soll die derzeitige Flächen- oder aggregierte Schlagbilanz (10, Seite 5) durch die sogenannte "Hoftorbilanz" ersetzt werden.

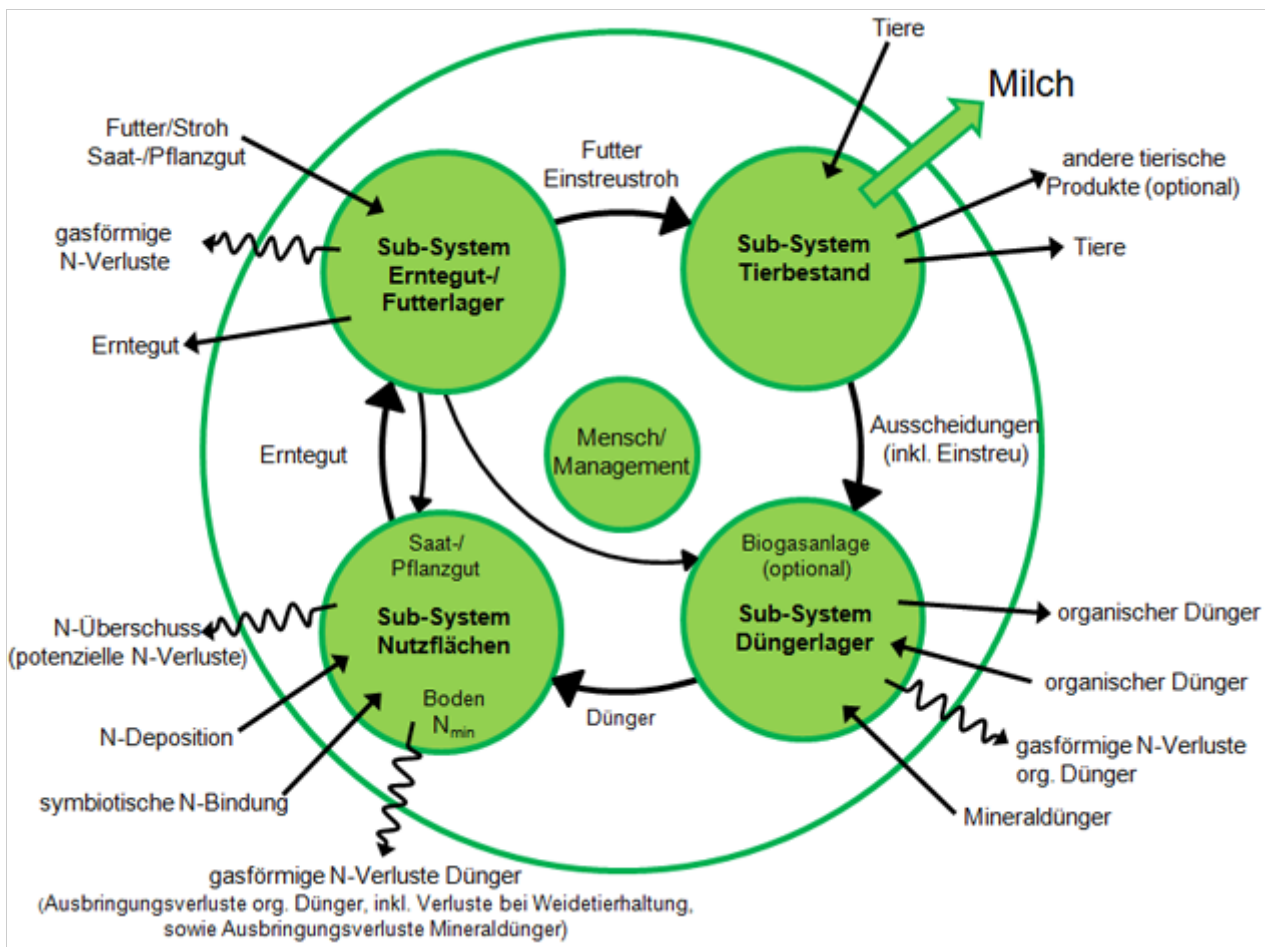
Im Kontext dieser möglicherweise veränderten Rahmenbedingungen für die Erstellung des gesetzlich vorgeschriebenen Nährstoffvergleichs sollte mit der vorliegenden Arbeit untersucht werden, welche Konsequenzen daraus für das N-Management nutztierhaltender Betriebe und für die Erfassung der Nährstoffausträge von den Betrieben in die Umwelt resultieren. Die Grundlage für die vorliegende Untersuchung bildeten aktuelle Daten zum betrieblichen Einsatz von Stickstoff (N) aus 36 milchviehhaltenden Betrieben in Deutschland. Auf den Betrieben wurden Datensätze erhoben, die neben dem N-Außenumsatz der Betriebe auch die kompletten innerbetrieblichen N-Mengenflüsse abbildeten. Daraus leitet sich eine deutlich erweiterte Informations- und Datenlage über den Einzelbetrieb im Vergleich zur Erstellung von Hoftorbilanz sowie Flächen- oder aggregierter Schlagbilanz gemäß DüV (10) ab. Bei einer Hoftorbilanz bleiben innerbetriebliche Nährstoffflüsse unberücksichtigt oder werden für Teilbilanzen (Flächen- oder aggregierte Schlagbilanz) nicht im vollen Umfang erfasst. Um jedoch Kenntnisse über die Ursachen variierender N-Überschüsse und N-Effizienzen erlangen zu können, ist eine Dokumentation und Darstellung aller relevanten N-Mengenflüsse eines Betriebes erforderlich (18; 21).

Über die Auswertungen der Daten der 36 milchviehhaltender Betriebe sollten in Hinblick auf die Düngeverordnung als Instrument zur Regulierung und Minderung betrieblicher N-Überschüsse in der Landwirtschaft Beurteilungen und Aussagen gefunden werden, inwieweit es zutrifft:

- (a) dass durch die Einführung der Hoftorbilanz eine Gleichbehandlung aller landwirtschaftlichen Betriebstypen gewährleistet bleibt;
- (b) dass effizientes Düngungsmanagement der wichtigste Ansatzpunkt für eine Reduzierung des betrieblichen N-Überschusses ist;
- (c) dass durch die Anwendung der Düngeverordnung die betrieblichen N-Überschüsse richtig abgeschätzt werden.

## 2 Material und Methoden

In landwirtschaftlichen Betriebssystemen werden beträchtliche N-Mengen inner- und außerbetrieblich verlagert. Abbildung 1 veranschaulicht den Verlauf der N-Mengenflüsse in einem Betrieb mit Milchviehhaltung. Um die innerbetrieblichen N-Mengenflüsse einer entsprechenden Quantifizierung zugänglich zu machen, wurde der innerbetriebliche N-Umsatz in Anlehnung an die konzeptionellen Überlegungen von KOHN et al. (16) in vier voneinander abgrenzbare Sub-Systeme strukturgebend aufgeteilt: (a) Erntegut-/Futterlager, (b) Tierbestand, (c) Düngerlager und (d) Nutzflächen. Der N-Austrag eines Sub-Systems ist zugleich der N-Eintrag des daran anschließenden Sub-Systems. Zusätzlich gibt es über das Saat- und Pflanzgut einen N-Rückfluss aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" zum Sub-System "Nutzflächen" und bei Vorhandensein einer Biogasanlage optional einen weiteren N-Rückfluss aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" zum Sub-System "Düngerlager". Darüber hinaus wird die N-Mineralisierung im Boden (hier, entsprechend der Düngebedarfsermittlung (10, Seite 2), der  $N_{\min}$  zu Vegetationsbeginn) als weitere innerbetriebliche N-Nachlieferung im Sub-System "Nutzflächen" angesehen. Neben den innerbetrieblichen N-Mengenverlagerungen gelangen erhebliche N-Mengen auch durch das sogenannte "Hoftor", das heißt N-Mengen verlassen die Betriebe oder werden den Betrieben von außen zugeführt. In Abbildung 1 ist das Hoftor als eine Kreislinie gekennzeichnet, die alle innerbetrieblichen Sub-Systeme umschließt.



**Abbildung 1:** Darstellung der inner- und außerbetrieblichen Stickstoffflüsse auf milchviehhaltenden Betrieben. Die grüne Kreislinie, die alle innerbetrieblichen Sub-Systeme umschließt, kennzeichnet das Hoftor. **Quelle:** Eigene Darstellung in Anlehnung an das "Vier-Kompartimenten-Nährstoff-Managementmodell" von KOHN et al. (1997).

Grundlage der vorliegenden Untersuchung waren umfangreiche Betriebsdatensätze von 36 milchviehhaltenden Betrieben. Von jedem Betrieb lag unter anderem der betriebliche Nährstoffvergleich gemäß Düngerverordnung für das Düngjahr 2013 einschließlich der dafür verwendeten Rohdaten vor. Gemäß Düngerverordnung (10, § 5, Absatz 1) ist der betriebliche Nährstoffvergleich jährlich für das abgelaufene Düngjahr zu erstellen. Das Düngjahr entspricht immer einem Bezugszeitraum von zwölf Monaten. Nach Vorgaben der zuständigen Landesbehörde haben die Betriebe bei der Erstellung des Nährstoffvergleichs die Möglichkeit, aus mehreren Zwölf-Monatszeiträumen (Kalender-, Wirtschafts- und Futterbaujahr) auszuwählen (20, Seite 8). Bei 19 der 36 untersuchten Betriebe wurden im betrieblichen Nährstoffvergleich des Jahres 2013 als Zeitraum Daten aus dem Kalenderjahr zusammengefasst (1. Januar 2013 bis 31. Dezember 2013). Demgegenüber wählten 13 Betriebe das Wirtschaftsjahr als Bezugszeitraum (1. Juli 2012 bis 30. Juni 2013), während vier Betriebe die Daten aus dem Futterbaujahr (1. Mai 2012 bis 30. April 2013) für ihren betrieblichen Nährstoffvergleich gegenüberstellten. Der von den Einzelbetrieben für ihren betrieblichen Nährstoffvergleich zusammengefasste Jahreszeitraum war in der vorliegenden Untersuchung Bezugszeitraum für alle weiteren jahresbezogenen Datenzusammenstellungen. Die Tatsache, dass einige Betriebe hinsichtlich des für die Auswertungen zusammengefassten Jahreszeitraumes um wenige Monate differieren, wird für die nachfolgenden Untersuchungen als hinnehmbar angesehen, da die abgeschätzten N-Mengen immer über den Verlauf eines ganzen Jahres aufsummiert und bilanziert wurden.

**Tabelle 1: Eckdaten der untersuchten, milchviehhaltenden Betriebe im Untersuchungszeitraum unter Angabe des Mittelwerts (Mittel), der Standardabweichung (SD), des kleinsten Werts (Minimum), des größten Werts (Maximum) und des Medians (n = 36)**

		Mittel ±	SD	Min	Max	Median
<b>Tierbestand</b>						
Milchkühe	(Anzahl)	555 ±	561	52	2.541	383
Milchleistung	(kg ECM/Milchkuh und Jahr)	9.047 ±	955	5.912	10.743	9.192
Vieheinheiten	(Anzahl)	822 ±	847	78	3.855	594
Vieheinheiten	(Anzahl/ha Nutzfläche)	1,3 ±	0,9	0,2	5,5	1,3
<b>Nutzflächen</b>						
Nutzfläche	(ha)	958 ±	1.061	41	4.078	550
Ackerfläche	(ha)	720 ±	806	6	3.300	388
Grünlandfläche	(ha)	238 ±	329	8	1.708	102
Grünlandfläche	(% der Nutzfläche)	33 ±	21	1	85	27

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

Tabelle 1 gibt betriebliche Eckdaten der 36 milchviehhaltenden Betriebe wieder. Die Anzahl der Milchkühe variierte auf den Betrieben von 52 bis 2.541 Milchkühe (Mittelwert: 555, Median: 383). Die Milchleistung der Betriebe lag zwischen 5.912 und 10.743 kg ECM pro Kuh und Jahr (ECM: energiekorrigierte Milchleistung; Milch mit 4,0 Prozent Fett- und 3,4 Prozent Eiweißgehalt). Die Anzahl der Vieheinheiten (VE) pro Betrieb variierte zwischen 78 und 3.855 VE (Mittelwert: 822, Median: 594). Bezogen auf einen Hektar landwirtschaftliche Nutzfläche resultierten Werte zwischen 0,2 bis 5,5 VE. Bezüglich der den Betrieben zur Verfügung stehenden landwirtschaftlichen Nutzflächen ergab sich eine Spannweite von 41 bis 4.078 ha (Mittelwert: 958, Median: 550) mit einer Variabilität im Grünlandanteil von einem bis 85 Prozent. Die 36 Betriebe verteilten sich auf insgesamt zehn Bundesländer (Tabelle 2).

**Tabelle 2: Verteilung der untersuchten, milchviehhaltenden Betriebe auf die Bundesländer**

<b>Bundesland</b>	<b>Anzahl Betriebe</b>
Baden-Württemberg	0
Bayern	3
Berlin	0
Brandenburg	4
Bremen	0
Hamburg	0
Hessen	3
Mecklenburg-Vorpommern	0
Niedersachsen	2
Nordrhein-Westfalen	3
Rheinland-Pfalz	1
Saarland	0
Sachsen	8
Sachsen-Anhalt	1
Schleswig-Holstein	5
Thüringen	6

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

Industriepartner im Projekt war die Softwarefirma dsp-Agrosoft GmbH (Paretz, Parkring 3, 14669 Ketzin), die bei der Suche nach geeigneten milchviehhaltenden Betrieben behilflich war. Entsprechend verwendeten alle 36 Betriebe im Untersuchungszeitraum das Softwareprogramm "Herde" von dsp-Agrosoft GmbH für das Management ihrer Milchkuhherde, auf dessen Daten nach Rücksprache mit den Betriebsleitern vollumfänglich zugegriffen werden konnte. 13 der 36 Betriebe verwendeten neben "Herde" auch den Futterrationsplaner "Futter-R" von dsp-Agrosoft GmbH. Eine digitale Ackerschlagkartei nutzten insgesamt 19 der 36 Betriebe. Zehn Betriebe verwendeten "AgroWIN" und sechs Betriebe "AO5.0", beides Ackerschlagkarteien von LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG (Rennbahnstr. 7, 84347 Pfarrkirchen). Drei weitere Betriebe verwendeten "Agrocom net" von Claas KGaA mbH (Münsterstr. 33, 33428 Harsewinkel). Informationen und Daten, die der Untersuchung digital nicht zur Verfügung standen beziehungsweise digital auf den Betrieben nicht vorhanden waren, wurden bei einem Betriebsbesuch vor Ort erfragt.

Ausgangspunkt der vorliegenden Auswertungen waren die Rohdaten, welche die Betriebe für die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung (10) zusammengetragen hatten. Die Rohdaten der betrieblichen Nährstoffvergleiche umfassten detaillierte Informationen: (a) zum durchschnittlichen Tierbestand: Anzahl Tiere und Haltungsbedingungen (Gülle, Mist oder Weide), (b) zum Düngemiteleinsatz: Art und Menge verkaufter oder an andere Betriebe abgegebener organischer Düngemittel und Art und Menge zugekaufter oder aus anderen Betrieben aufgenommener organischer und mineralischer Düngemittel sowie (c) zum pflanzlichen Erntegut: angebaute Pflanzenarten, Flächen und Erträge. Diese Daten der Einzelbetriebe wurden mit den Daten aus den zusätzlich über den Betrieb zur Verfügung stehenden Datenquellen abgeglichen. In Bezug auf den Tierbestand wurde als Datenquelle immer der aus der Datensicherung von "Herde" für den betrachteten Jahreszeitraum ausgelesene Durchschnittstierbestand verwendet. Für die eigenen Verrechnungen zum betrieblichen Nährstoffvergleich oder zur Abschätzung der betrieblichen N-Eintrag- und N-Austrag-Mengen gemäß Düngeverordnung (10) wurde die Software "AODüngeverordnung" genutzt. Diese Software ist ein Teil von AOAgrar-Office und somit

ebenfalls ein Softwareprodukt der LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG. Die vorliegenden Auswertungen wurden mit der Programmversion 1.14.14.3 mit dem Module Stand vom 14. Oktober 2014 durchgeführt. Zur besseren Vergleichbarkeit der Betriebe wurden die verwendeten Rohdaten aller Betriebe im Programm AODüngeverordnung nach den länderspezifischen Vorgaben nur eines Bundeslandes ausgewertet (Baden-Württemberg). Das Berechnungsverfahren gemäß Baden-Württemberg wurde ausgewählt, da dieses Berechnungsverfahren in Bezug auf die N-Ausscheidungsmengen des Tierbestands nutzvolle, weitergehend differenzierte Angaben ausgibt: (a) "Brutto", das heißt die N-Ausscheidungsmengen des Tierbestands ohne Abzug von Verlusten; (b) "Lager", nach Abzug von Stall- und Lagerungsverlusten und (c) "Feld", nach Abzug von Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverlusten.

Nachfolgend sind die verwendeten Datenherkünfte für die durchgeführten N-Bilanzierungen in Bezug auf den Gesamtbetrieb und die vier Sub-Systeme zusammengestellt.

#### **Datenherkünfte für Auswertungen des Gesamtbetriebs (Hoftorbilanzierung):**

(a) aus betrieblicher Buchhaltung für den N-Eintrag über Zukauf von Futter, Stroh, Saat- und Pflanzgut sowie den N-Austrag über den Verkauf von Erntegut und anderen tierischen Produkte außer Milch (ein Betrieb verkaufte Schafwolle) unter Verwendung eines Faktors von 6,25 zur Umrechnung von pflanzlichem Protein in N-Mengen; (b) wenn vorhanden aus der Ackerschlagkartei, ansonsten Abschätzungen über Rohdaten des betrieblichen Nährstoffvergleichs unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung" für den N-Eintrag über mineralischen und organischen Dünger sowie den N-Eintrag über symbiotische N-Bindungen und für den N-Austrag über organischen Dünger; (c) über die Internetseite des Umweltbundesamts "Kartendienst Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff – Bezugsjahr 2009" (28) zur Abschätzung des N-Eintrags über die N-Deposition (angewählte Landnutzungs-kategorie "Ackerland"); (d) aus der Herdenmanagementsoftware "Herde" für den N-Eintrag und den N-Austrag über Tiere unter Verwendung einer Verrechnungsgröße von 3,2 kg N/100 kg Lebendmasse für Kälber bis zum Alter von vier Monaten und 2,56 kg N/100 kg Lebendmasse für alle anderen Tiere (26, Seite 49); und (e) aus monatlichen Molkereiabrechnungen für den N-Austrag über die Milch unter Verwendung eines Faktors von 6,38 zur Umrechnung von Milchproteinmenge auf Milch-N-Menge.

#### **Datenherkünfte für Auswertungen des Sub-Systems "Erntegut-/Futterlager":**

(a) aus dem Sub-System "Nutzflächen" für den N-Eintrag über das Erntegut; (b) aus der Hoftorbilanzierung für den N-Eintrag über den Futterzukauf und den N-Austrag über den Erntegutverkauf; (c) Abschätzung unter Verwendung der Schätzgleichung von SCHRÖDER et al. (24, Seite 267) für den N-Austrag zur Fütterung der Milchkühe und unter Verwendung von Faustzahlen (8) für den N-Austrag zur Fütterung aller anderen Tiere; (d) unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung" für den N-Austrag von Einstreustroh; (e) unter Verwendung von Faustzahlen (17) für den N-Austrag über Saat- und Pflanzgut; und (f) aus dem Stofftagebuch der betrieblichen Biogasanlage für den N-Austrag zur Versorgung der Biogasanlage, falls eine betriebliche Biogasanlage vorhanden war.

#### **Datenherkünfte für Auswertungen des Sub-Systems "Tierbestand":**

(a) aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" für den N-Eintrag über das Futter und das Einstreustroh; (b) aus der Hoftorbilanzierung für den N-Eintrag über Tiere und den N-Austrag über Tiere, Milch und andere tierische Produkte; und (c) Abschätzung unter Verwendung der Schätzgleichung von SCHRÖDER et al. (24, Seite 268) für den N-Austrag über Ausscheidungen der Milchkühe und für den N-Austrag über Ausscheidungen aller anderen Tiere unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung".

#### **Datenherkünfte für Auswertungen des Sub-Systems "Düngerlager":**

(a) aus dem Sub-System "Tierbestand" für den N-Eintrag über betriebseigenen, organischen Dünger (Ausscheidungen des Tierbestands); (b) aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" für den N-Eintrag zur Versorgung der Biogasanlage, falls eine solche auf dem Betrieb vorhanden war; (c) aus der Hoftorbilanzierung für den N-Eintrag über Zukauf oder Aufnahme von mineralischem und organischem Dünger und den N-Austrag über Verkauf oder Abgabe von organischem Dünger; (d) Abschätzungen unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung" für gasförmige N-Verluste bei Lagerung von organischem

Dünger (entspricht den Stall- und Lagerungsverlusten gemäß DüV (10)); und (e) Berechnung aus der "Summe des N-Eintrags" minus "N-Austrag durch Verkauf oder Abgabe" minus "gasförmige N-Verluste bei Lagerung von organischem Dünger" für den "N-Austrag Dünger".

Bei 21 der 36 Betriebe gingen die Ausscheidungen aus dem Sub-System "Tierbestand" komplett oder anteilig in eine Biogasanlage. Bei 13 der 21 Betriebe gehörte die Biogasanlage zum Betrieb. Bei diesen Betrieben wurde die Biogasanlage bilanzmäßig im Sub-System "Düngerlager" angesiedelt. Bei den übrigen acht Betrieben befand sich die Biogasanlage auf einem anderen Betrieb. In diesen Fällen wurde der N-Eintrag in die Biogasanlage und gegebenenfalls die N-Rückführung in Form von organischem Dünger über den betrieblichen N-Außenumsatz in der Bilanzierung berücksichtigt.

### **Datenherkünfte für Auswertungen des Sub-Systems "Nutzflächen":**

(a) aus Sub-System "Düngerlager" für den N-Eintrag über Dünger; (b) aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" für N-Eintrag über Saat- und Pflanzgut; (c) wenn vorhanden nach betrieblichen Bodenprobenanalysen für den N-Eintrag als mineralisierter und pflanzenverfügbarer N aus dem Boden zu Beginn der Vegetationsperiode ( $N_{\min}$ ) ansonsten gemäß DüV (10, Seite 3) nach Angaben der nach Landesrecht für die landwirtschaftliche Beratung der Betriebe zuständigen Stelle; (d) aus der Hoftorbilanzierung für den N-Eintrag über die N-Deposition und symbiotische N-Bindungen; (e) Abschätzungen unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung" gemäß DüV (10) für gasförmige N-Verluste bei Weidehaltung und Ausbringung von organischem Dünger und nachfolgender Berücksichtigung eventueller betriebsindividuell eingesetzter, emissionsmindernder Ausbringungstechniken für den Flüssigmist durch Anwendung von Faustzahlen für die Emissionsminderung entsprechender Minderungstechnik gemäß DÖHLER et al. (9, Seite 70); (f) Abschätzungen unter Anwendung der Emissionsfaktoren für Mineraldünger (7, Seite 94) für gasförmige N-Verluste bei Ausbringung von Mineraldünger; und (g), wenn vorhanden, für den N-Austrag über das Erntegut aus der Ackerschlagkartei; ansonsten Abschätzungen über Rohdaten des betrieblichen Nährstoffvergleichs unter Verwendung der Software "AODüngeverordnung". Für die Berechnungen auf der Einzelschlagebene (Tabelle 7 und 8) bildeten die Daten aus der Ackerschlagkartei des ausgewählten Betriebs die Datenbasis.

In ihrer Gesamtheit bilden die vier Sub-Systeme die kompletten Verlagerungen des Stickstoffs auf einem Betrieb ab und ermöglichen dadurch die Plausibilisierung der quantifizierten N-Mengenangaben. Um zu einer Beurteilung des N-Umsatzes der Betriebe zu gelangen, wurden die in Bezug auf den Gesamtbetrieb sowie die vier Sub-Systeme eingetragenen und ausgetragenen N-Mengen für jeden Betrieb miteinander verrechnet. In der Bilanzierung der N-Mengenflüsse ergab sich der N-Saldo (auch N-Überschuss) als Differenz zwischen dem N-Eintrag und dem N-Austrag. Die N-Verwertung (auch N-Effizienz) ergab sich als Quotient zwischen dem N-Austrag und dem N-Eintrag. Zur Bestimmung von Korrelationen (Pearson) wurde die Software SPSS verwendet (IBM SPSS Statistics 22, Version: 22.0.0.0) alle weiteren statistischen Auswertungen und Ergebnisdarstellungen wurden mit Hilfe von Excel erstellt (Microsoft Excel 2010, Version: 14.0.7153.5000).

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Stickstoffmengenflüsse und Bilanzen milchviehhaltender Betriebe**

#### **3.1.1 Gesamtbetriebsebene**

In Tabelle 3 sind zusammenfassende Angaben zu den Jahres-N-Mengen, den N-Salden und den N-Effizienzen auf der Ebene des Gesamtbetriebs (Hoftorbilanz) der 36 milchviehhaltenden Betriebe wiedergegeben. Im Durchschnitt der Betriebe wurden in dem betrachteten Jahreszeitraum über das Hoftor  $274 \pm 150$  kg N/ha eingetragen und  $170 \pm 132$  kg N/ha (inklusive N-Verlusten aus der Lagerung und Ausbringung der eingesetzten organischen und mineralischen Düngemittel) beziehungsweise  $128 \pm 131$  kg N/ha (ohne N-Verluste) ausgetragen. Daraus errechnete sich im Durchschnitt der Betriebe ein Brutto-N-Saldo von  $146 \pm 65$  kg N/ha (ohne Abzug der N-Verluste) und ein Netto-N-Saldo von  $104 \pm 52$  kg N/ha (mit Abzug der N-Verluste). Die aus den Betrieben ausgetragene N-Menge entsprach im Durchschnitt  $44 \pm 18$  Prozent (Brutto-N-Effizienz) beziehungsweise  $52 \pm 18$  Prozent der eingetragenen N-Menge (Netto-N-Effizienz).



**Tabelle 3: Jahres-N-Mengen, N-Salden und N-Effizienzen auf der Ebene der Gesamtbetriebe unter Angabe des Mittelwerts (Mittel), der Standardabweichung (SD), des kleinsten Werts (Minimum), des größten Werts (Maximum) und des Medians (n = 36)**

<b>Gesamtbetrieb</b>		<b>Mittel</b>	<b>±</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Median</b>
N-Eintrag	(kg N/ha)	274	±	150	100	1020	264
N-Austrag (ohne N-Verluste)	(kg N/ha)	128	±	131	39	821	94
N-Austrag (mit N-Verluste)	(kg N/ha)	170	±	132	62	864	136
N-Saldo (brutto)	(kg N/ha)	146	±	65	41	287	145
N-Saldo (netto)	(kg N/ha)	104	±	52	19	222	98
N-Effizienz (brutto)	(%)	44	±	18	23	81	41
N-Effizienz (netto)	(%)	52	±	18	29	89	51

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

Tabelle 4 gibt wieder, wie sich die Jahresmengen des gesamtbetrieblichen N-Eintrags und N-Austrags auf die ihnen zugrunde liegenden Teilmengen verteilen. Der Zukauf von Mineraldünger machte mit  $45,8 \pm 14,5$  Prozent im Durchschnitt der Betriebe den größten Anteil des N-Eintrags aus. An zweiter Stelle rangierte der Futterzukauf, der sich auf  $33,7 \pm 14,4$  Prozent belief. An dritter Stelle lag mit  $7,8 \pm 5,6$  Prozent der N-Eintrag über die N-Bindung der auf den Nutzflächen angebauten Leguminosen. Der atmosphärische N-Eintrag kam mit einem durchschnittlichen Anteil von  $6,1 \pm 2,4$  Prozent an vierter Stelle, gefolgt vom N-Eintrag über den Zukauf oder die Aufnahme von organischem Dünger mit  $5,7 \pm 10,0$  Prozent. Jeweils unter einem Prozent der Jahresmengen machten die N-Einträge über den Zukauf von Saat-/Pflanzgut, Stroh und Tieren aus. Den größten Anteil an den gesamtbetrieblichen N-Austrägen hatten mit  $29,5 \pm 13,5$  Prozent die gasförmigen N-Verluste bei Lagerung und Ausbringung der auf den Betrieben eingesetzten organischen und mineralischen Düngemittel, dicht gefolgt von den N-Mengen, die über das verkaufte Erntegut die Betriebe verließen ( $28,1 \pm 22,0$  Prozent). Die N-Mengen, die über die verkaufte Milch die Betriebe verließen, machten im Durchschnitt einen Anteil von  $25,1 \pm 9,1$  Prozent am Gesamt-N-Austrag aus. Mit einem Anteil von  $12,6 \pm 18,0$  Prozent folgten an vierter Stelle die N-Mengen an verkauften oder abgegebenen organischen Düngemitteln. Unter fünf Prozent ( $4,6 \pm 2,2$  Prozent) lag im Durchschnitt der Betriebe die N-Menge, die die Betriebe über den Verkauf von Tieren verließ. Nur einer der 36 untersuchten Betriebe verkaufte neben Milch und Fleisch mit Schafwolle noch ein weiteres tierisches Produkt.

**Tabelle 4: Zusammensetzung der Jahres-N-Mengen auf der Ebene der Gesamtbetriebe unter Angabe des Mittelwerts (Mittel), der Standardabweichung (SD), des kleinsten Werts (Minimum), des größten Werts (Maximum) und des Medians (n = 36)**

<b>Gesamtbetrieb</b>		<b>Mittel</b>	<b>±</b>	<b>SD</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Median</b>
<b>N-Eintrag</b>							
Zukauf Mineraldünger	(%)	45,8	±	14,5	0,9	69,5	45,3
Zukauf Futter	(%)	33,7	±	14,4	7,5	87,3	31,1
Symbiotische N-Bindung	(%)	7,8	±	5,6	0,5	21,7	6,0
N-Deposition	(%)	6,1	±	2,4	1,4	15,0	5,8
Zukauf organischer Dünger	(%)	5,7	±	10,0	0,0	47,3	0,0
Zukauf Saat-/Pflanzgut	(%)	0,4	±	0,3	0,0	1,2	0,3
Zukauf Stroh	(%)	0,3	±	0,9	0,0	4,4	0,0
Zukauf Tiere	(%)	0,2	±	0,4	0,0	2,1	0,0
<b>N-Austrag</b>							
N-Verluste Lagerung und Ausbringung Dünger	(%)	29,5	±	13,5	5,0	53,0	31,4
Verkauf Erntegut	(%)	28,1	±	22,0	0,0	77,4	26,7
Verkauf Milch	(%)	25,1	±	9,1	6,4	41,2	25,9
Verkauf organischer Dünger	(%)	12,6	±	18,0	0,0	59,6	3,6
Verkauf Tiere	(%)	4,6	±	2,2	1,3	12,9	4,6
Verkauf anderer tierischer Produkte	(%)	0,0	±	0,0	0,0	0,1	0,0

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

### 3.1.2 Sub-System-Ebene

In Tabelle 5 sind die Jahres-N-Mengen, N-Salden und N-Effizienzen bezogen auf die vier Sub-Systeme der Betriebe zusammengestellt. Im Durchschnitt der Betriebe ergab sich für das Sub-System "Erntegut-/Futterlager" ein jährlicher N-Eintrag von  $284 \pm 155$  kg N/ha und ein N-Austrag von  $253 \pm 146$  kg N/ha. Daraus resultiert für dieses Sub-System ein durchschnittlicher N-Saldo von  $31 \pm 40$  kg N/ha und eine durchschnittliche N-Effizienz von  $90 \pm 13$  Prozent. Im Sub-System "Tierbestand" lag der jährliche N-Eintrag bei durchschnittlich  $208 \pm 165$  kg N/ha und der N-Austrag bei  $202 \pm 161$  kg N/ha, wodurch sich im Durchschnitt ein N-Saldo von  $7 \pm 6$  kg N/ha ergab. Die N-Effizienz in Bezug auf verkaufte tierische Produkte lag bei  $24 \pm 2$  Prozent (bezogen auf den Verkauf aller tierischen Produkte) beziehungsweise  $20 \pm 2$  Prozent (nur bezogen auf verkaufte Milch). Für das Sub-System "Düngerlager" wurde in der Jahressumme und im Durchschnitt der Betriebe ein N-Eintrag von  $287 \pm 122$  kg N/ha berechnet. Unter Einbeziehung der gasförmigen N-Verluste durch Lagerung der organischen Düngemittel wurde ein gleichhoher N-Austrag angenommen. Somit ergab sich für das Sub-System "Düngerlager" im Durchschnitt der Betriebe ein Brutto-N-Saldo von  $17 \pm 9$  kg N/ha (dies entspricht den N-Verlusten aus diesem Sub-System) beziehungsweise ein Netto-N-Saldo von  $0 \pm 0$  kg N/ha (bei Berücksichtigung der N-Verluste als N-Austrag). In Hinblick auf die N-Effizienz ergab sich für dieses Sub-System eine Brutto-N-Effizienz von  $87 \pm 4$  Prozent (bezogen auf die Lagermenge an organischen Düngemitteln) beziehungsweise  $94 \pm 3$  Prozent (bezogen auf alle gelagerten Düngemittel) sowie rein rechnerisch eine Netto-N-Effizienz von  $100 \pm 0$  Prozent. Für das Sub-System "Nutzflächen" berechnete sich im Durchschnitt der Betriebe ein N-Eintrag in Höhe von  $301 \pm 82$  kg N/ha und ein N-Austrag von  $175 \pm 49$  kg N/ha beziehungsweise  $200 \pm 61$  kg N/ha, wenn die gasförmigen N-Verluste bei Ausbringung der eingesetzten Düngemittel mit einbezogen wurden. Für das Sub-System "Nutzflächen" ergab sich dadurch im Durchschnitt ein Brutto-N-Saldo von  $126 \pm 42$  kg N/ha (ohne Abzug der N-Verluste) und ein Netto-N-Saldo von  $101 \pm 36$  kg N/ha (mit Abzug der N-Verluste) sowie eine Brutto-N-Effizienz von  $58 \pm 6$

Prozent und eine Netto-N-Effizienz von  $63 \pm 8$  Prozent. Für das Sub-System "Nutzflächen" wurde zusätzlich eine zweite Bilanzierung gemäß aktueller Düngeverordnung (10) durchgeführt. In der aktuellen Düngeverordnung werden als N-Eintrag nur die eingetragenen Mengen über Düngemittel und symbiotische N-Bindungen berücksichtigt. Für die 36 milchviehhaltenden Betriebe ergab sich mit der Berechnungsweise nach DüV (10) ein durchschnittlicher N-Eintrag von  $251 \pm 81$  kg N/ha. Wurde dieser N-Eintrag dem N-Austrag über Erntegut und N-Verluste (Düngerabfuhr) gegenübergestellt, resultierten ein N-Saldo, der im Durchschnitt bei  $51 \pm 36$  kg N/ha lag, und eine N-Effizienz von  $79 \pm 11$  Prozent.

**Tabelle 5: Jahres-N-Mengen, N-Salden und N-Effizienzen auf der Ebene der Sub-Systeme unter Angabe des Mittelwerts (Mittel), der Standardabweichung (SD), des kleinsten Werts (Minimum), des größten Werts (Maximum) und des Medians (n = 36)**

		Mittel	±	SD	Min	Max	Median
<b>Sub-System Erntegut- /Futterlager</b>							
N-Eintrag	(kg N/ha)	284	±	155	118	1058	273
N-Austrag	(kg N/ha)	253	±	146	108	986	233
N-Saldo (brutto)	(kg N/ha)	31	±	40	-40	176	29
N-Effizienz	(%)	90	±	13	56	127	89
<b>Sub-System Tierbestand</b>							
N-Eintrag	(kg N/ha)	208	±	165	45	1007	187
N-Austrag	(kg N/ha)	202	±	161	43	988	182
N-Saldo (brutto)	(kg N/ha)	7	±	6	0	23	5
N-Effizienz (alle tierischen Produkte)	(%)	24	±	2	17	31	24
N-Effizienz (nur Milch)	(%)	20	±	2	14	27	20
<b>Sub-System Düngerlager</b>							
N-Eintrag	(kg N/ha)	287	±	122	100	742	284
N-Austrag (ohne N-Verluste)	(kg N/ha)	270	±	117	92	714	272
N-Austrag (mit N-Verluste)	(kg N/ha)	287	±	122	100	742	284
N-Saldo (brutto)	(kg N/ha)	17	±	9	0	35	17
N-Saldo (netto)	(kg N/ha)	0	±	0	0	0	0
N-Effizienz (brutto)	(%)	94	±	3	89	100	94
N-Effizienz (brutto, nur org. Dünger)	(%)	87	±	4	82	100	86
N-Effizienz (netto)	(%)	100	±	0	100	100	100
<b>Sub-System Nutzflächen</b>							
N-Eintrag	(kg N/ha)	301	±	82	164	516	295
N-Austrag (ohne N-Verluste)	(kg N/ha)	175	±	49	90	283	172
N-Austrag (mit N-Verluste)	(kg N/ha)	200	±	61	102	321	184
N-Saldo (brutto)	(kg N/ha)	126	±	42	57	273	117
N-Saldo (netto)	(kg N/ha)	101	±	36	32	224	90
N-Effizienz (brutto)	(%)	58	±	6	47	73	58
N-Effizienz (netto)	(%)	63	±	8	50	83	63
N-Eintrag (DüV)	(kg N/ha)	251	±	81	108	468	241
N-Austrag (DüV)	(kg N/ha)	200	±	61	102	321	184
N-Saldo (DüV)	(kg N/ha)	51	±	36	-13	176	45
N-Effizienz (DüV)	(%)	79	±	11	58	109	79

Quelle: Eigene Datenerhebung und Darstellung.

Tabelle 6 gibt die Zusammensetzung des jährlichen N-Eintrags und N-Austrags in den vier Sub-Systemen wieder. Im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" machte der N-Eintrag über das betriebseigene Erntegut im Durchschnitt gut zwei Drittel aus ( $67,1 \pm 13,9$  Prozent). Der N-Eintrag aus dem Futterzukauf betrug knapp ein Drittel ( $32,3 \pm 13,6$  Prozent). Weitere, eher geringfügige N-Einträge ergaben sich aus dem Zukauf von Saat- und Pflanzgut ( $0,4 \pm 0,3$  Prozent) sowie aus dem Zukauf von Stroh ( $0,3 \pm 0,8$  Prozent). Der überwiegende Anteil des N-Austrags aus dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" ( $76,2 \pm 19,7$  Prozent) ging als Futter in das nachfolgende Sub-System "Tierbestand" über. Im Durchschnitt der Betriebe wurden weitere 20 Prozent der im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" gelagerten N-Mengen ( $19,7 \pm 17,8$  Prozent) verkauft beziehungsweise verließen den Betrieb über das Hoftor. Die N-Austräge in Form von Einstreustroh sowie Saat- und Pflanzgut waren mit  $0,8 \pm 0,7$  Prozent und  $0,5 \pm 0,3$  Prozent relativ gering. Für das Sub-System "Tierbestand" machte die Zuführung des Futters aus dem Futterlager mit  $98,5 \pm 1,2$  Prozent fast den gesamten N-Eintrag aus. Nur geringe N-Mengenanteile wurden diesem Sub-System über das Einstreustroh ( $1,1 \pm 0,9$  Prozent) und dem Zukauf von Tieren ( $0,3 \pm 0,7$  Prozent) zugeführt. Rund drei Viertel der Jahres-N-Mengen, die das Sub-System "Tierbestand" wieder verließen, gehörte zum innerbetrieblichen N-Umsatz und befand sich in den Exkrementen der gehaltenen Tiere ( $75,3 \pm 2,5$  Prozent). Der Rest des N-Austrages aus dem Sub-System "Tierbestand" war Verkaufsware, in erster Linie die produzierte Milch ( $20,9 \pm 2,5$  Prozent), aber auch verkaufte Tiere ( $3,8 \pm 0,8$  Prozent) und bei einem Betrieb, mit 0,05 Prozent des N-Austrags aus dem Sub-System "Tierbestand", die Wolle der von ihm gehaltenen Schafe. Für das Sub-System "Düngerlager" gab es im Durchschnitt der Betriebe zwei in etwa ähnlich große N-Einträge, zum einen die Zuführung der tierischen Ausscheidungen aus dem Sub-System "Tierbestand" ( $49,4 \pm 15,3$  Prozent) und zum anderen der Zukauf von Mineraldünger ( $42,6 \pm 13,8$  Prozent). Einige der untersuchten Betriebe hatten aber auch einen N-Eintrag über den Zukauf von organischem Dünger (im Durchschnitt der Betriebe ergab sich so ein Anteil von  $5,7 \pm 10,4$  Prozent). Andere Betriebe besaßen eine eigene Biogasanlage, die sie auch mit Futter aus dem Futterlager beschickten (durchschnittlicher N-Eintrag  $2,3 \pm 4,3$  Prozent). Auch im N-Austrag aus dem Sub-System "Düngerlager" ergaben sich im Durchschnitt der Betriebe zwei in etwa gleichgroße Anteile für den N-Austrag an Mineraldünger ( $42,6 \pm 13,8$  Prozent) und organischem Dünger ( $41,8 \pm 11,6$  Prozent), die für die innerbetriebliche Nutzung als Düngung der betrieblichen Nutzflächen bestimmt waren. Ein Teil der untersuchten Betriebe verkaufte auch betriebseigenen, organischen Dünger oder gab ihn an andere Betriebe ab. Im Durchschnitt aller Betriebe ergab sich hierfür ein N-Austrag von  $9,5 \pm 16,7$  Prozent der im Sub-System "Düngerlager" gelagerten Jahres-N-Menge. Die gasförmigen N-Verluste, die während der Lagerung von organischem Dünger auf den Betrieben entstanden, machten  $6,1 \pm 2,7$  Prozent des jährlichen N-Austrags aus dem Sub-System "Düngerlager" aus. In Bezug auf den Jahres-N-Eintrag in das Sub-System "Nutzflächen" wurden in der vorliegenden Untersuchung sechs N-Einträge berücksichtigt. Der N-Eintrag über Düngemittel (organischer Dünger:  $38,2 \pm 11,0$  Prozent und Mineraldünger:  $37,8 \pm 10,6$  Prozent) machte mit insgesamt gut drei Vierteln im Durchschnitt der Betriebe den größten Anteil im N-Eintrag auf die Nutzflächen aus. Aber auch über den Boden ( $N_{\min}$  zu Beginn der Vegetationsperiode), die Luft (N-Deposition) sowie die angebauten Leguminosen (symbiotische N-Bindungen) wurden den auf den Nutzflächen angebauten Kulturen relevante N-Mengen zugeführt. So ergaben sich im Durchschnitt der Betriebe für den  $N_{\min}$  im Boden ein Anteil von  $12,3 \pm 4,1$  Prozent, für die symbiotischen N-Bindungen ein Anteil von  $6,4 \pm 4,4$  Prozent und für die N-Deposition ein durchschnittlicher Anteil des N-Eintrags von  $5,1 \pm 1,4$  Prozent. Weniger relevant war der N-Eintrag über das Saat- und Pflanzgut mit einem Anteil von  $0,3 \pm 0,2$  Prozent. Für den N-Austrag aus diesem Sub-System "Nutzflächen" wurden drei Komponenten quantifiziert: der N-Austrag über das Erntegut und die gasförmigen N-Verluste bei Ausbringung der organischen sowie mineralischen Düngemittel. Im Durchschnitt der Betriebe lag der N-Austrag über das Erntegut bei  $87,9 \pm 3,6$  Prozent. Während der Ausbringung der Düngemittel auf die betrieblichen Nutzflächen gab es gasförmige N-Verluste in die umgebende Umwelt von durchschnittlich  $9,7 \pm 4,2$  Prozent (organische Düngemittel) und  $2,4 \pm 2,1$  Prozent (Mineraldüngemittel).

Tabelle 6: Zusammensetzung der Jahres-N-Mengen auf der Ebene der Sub-Systeme unter Angabe des Mittelwerts (Mittel), der Standardabweichung (SD), des kleinsten Werts (Minimum), des größten Werts (Maximum) und des Medians (n = 36)

		Mittel	±	SD	Min	Max	Median
<b>Sub-System Erntegut- / Futterlager</b>							
<b>N-Eintrag</b>							
Erntegut	(%)	67,1	±	13,9	12,9	89,7	70,3
Zukauf Futter	(%)	32,3	±	13,6	9,4	84,2	29,0
Zukauf Saat-/Pflanzgut	(%)	0,4	±	0,3	0,0	1,0	0,3
Zukauf Stroh	(%)	0,3	±	0,8	0,0	3,6	0,0
<b>N-Austrag</b>							
Futter für Tierbestand	(%)	76,2	±	19,7	28,0	99,7	78,3
Verkauf Erntegut	(%)	19,7	±	17,8	0,0	70,5	16,7
Futter für Biogasanlage	(%)	2,8	±	5,8	0,0	29,9	0,0
Stroh als Einstreu	(%)	0,8	±	0,7	0,2	3,0	0,6
Saat-/Pflanzgut	(%)	0,5	±	0,3	0,0	1,3	0,4
<b>Sub-System Tierbestand</b>							
<b>N-Eintrag</b>							
Futter für Tierbestand	(%)	98,5	±	1,2	95,5	99,7	98,9
Stroh als Einstreu	(%)	1,1	±	0,9	0,2	3,7	0,8
Zukauf Tiere	(%)	0,3	±	0,7	0,0	3,2	0,0
<b>N-Austrag</b>							
Ausscheidungen	(%)	75,3	±	2,5	68,0	82,1	75,6
Verkauf Milch	(%)	20,9	±	2,5	14,9	27,5	20,9
Verkauf Tiere	(%)	3,8	±	0,8	2,3	6,5	3,8
Verkauf anderer tierischer Produkte	(%)	0,0	±	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Sub-System Düngerlager</b>							
<b>N-Eintrag</b>							
Ausscheidungen	(%)	49,4	±	15,3	12,8	92,1	51,0
Zukauf Mineraldünger	(%)	42,6	±	13,8	0,9	68,6	42,6
Zukauf organischer Dünger	(%)	5,7	±	10,4	0,0	50,9	0,0
Futter für Biogasanlage	(%)	2,3	±	4,3	0,0	19,8	0,0
<b>N-Austrag</b>							
Mineraldünger für Nutzflächen	(%)	42,6	±	13,8	0,9	68,6	42,6
Organischer Dünger für Nutzflächen	(%)	41,8	±	11,6	12,2	59,9	43,4
Verkauf organischer Dünger	(%)	9,5	±	16,7	0,0	69,5	2,2
N-Verluste Lagerung organischer Dünger	(%)	6,1	±	2,7	0,0	10,5	6,4
<b>Sub-System Nutzflächen</b>							
<b>N-Eintrag</b>							
Organischer Dünger für Nutzflächen	(%)	38,2	±	11,0	16,6	66,4	37,5
Mineraldünger für Nutzflächen	(%)	37,8	±	10,6	1,2	57,1	37,8
N <sub>min</sub> im Boden	(%)	12,3	±	4,1	5,8	24,5	12,2
Symbiotische N-Bindung	(%)	6,4	±	4,4	1,0	19,9	4,7
N-Deposition	(%)	5,1	±	1,4	3,3	9,2	4,9
Saat-/Pflanzgut	(%)	0,3	±	0,2	0,0	0,8	0,3
<b>N-Austrag</b>							
Erntegut	(%)	87,9	±	3,6	80,6	95,2	88,5
N-Verluste Ausbringung organischer Dünger	(%)	9,7	±	4,2	3,0	18,2	9,2
N-Verluste Ausbringung Mineraldünger	(%)	2,4	±	2,1	0,0	8,4	1,6

Quelle: Eigene Datenerhebung und Darstellung.

## 4 Diskussion

### 4.1 Stickstoffmengenflüsse und Bilanzierungen milchviehhaltender Betriebe zeigen eine hohe Variabilität

Die 36 milchviehhaltenden Betriebe repräsentieren in Hinblick auf Größe der Milchkuhherde, zur Verfügung stehende landwirtschaftliche Nutzfläche, Milchleistungsniveau, Viehbesatzdichte, Grünlandanteil und Anteil des verkauften Ernteguts, die große Bandbreite der in Deutschland vorhandenen betrieblichen Produktionsstrukturen bei Milchviehbetrieben.

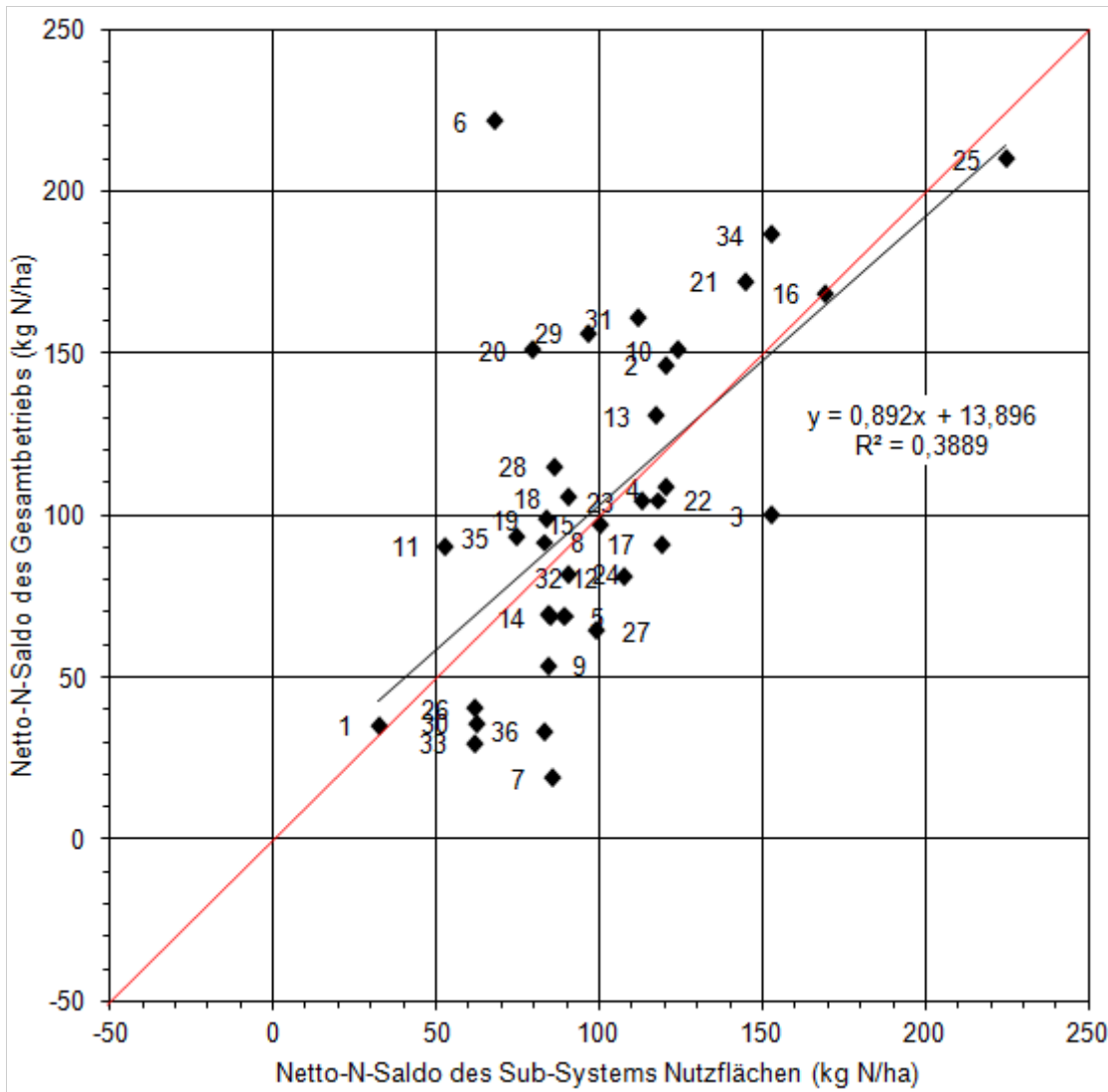
Im Durchschnitt aller 36 Betriebe ergab sich in der Hoftorbilanz (Gesamtbetriebsebene) ein Brutto-N-Saldo von 146 kg N/ha und ein Netto-N-Saldo von 104 kg N/ha. Diese Werte entsprechen den Ergebnissen anderer Studien. SCHERINGER (23, Seite 28) ermittelte für 39 milchviehhaltende Betriebe einen durchschnittlichen Brutto-N-Saldo von 146 kg N/ha. Im "Grünlandprojekt van Bruchem" (LHV, 19, Seite 36) ergab sich für 16 milchviehhaltende Betriebe ein durchschnittlicher Brutto-N-Saldo von 141 kg N/ha. KELM et al. (14, Seite 30) veröffentlichten für acht milchviehhaltende Betriebe einen durchschnittlichen Netto-N-Saldo von 117 kg N/ha. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelte gesamtbetriebliche Brutto-N-Effizienz in Höhe von 52 Prozent lag aber um einiges über den Werten von SCHERINGER (23, Seite 28), LHV (19, Seite 36) oder KELM et al. (14, Seite 30), welche Durchschnittswerte von 25, 30 beziehungsweise 34 Prozent wiedergaben. Auch in Bezug auf den Netto-N-Saldo der landwirtschaftlichen Nutzflächen (Flächenbilanz) ergaben sich unterschiedliche Durchschnittswerte: 101 kg N/ha (vorliegende Untersuchung) und 134 kg N/ha (14, Seite 25). Die von SCHERINGER (23, Seite 13) veröffentlichten Ergebnisse basierten auf Daten aus den Jahren 1995 bis 1998 und die vom LHV (19, Seite 36) und von KELM et al. (14, Seite 30) analysierten Daten aus den Jahren 2003 bis 2005. Damit handelt es sich folglich um Betriebsdaten, die acht bis 18 Jahre älter sind als die in der vorliegenden Untersuchung zusammengeführten Betriebsdaten. Ferner wird als relevant erachtet, dass SCHERINGER (23, Seite 11), LHV (19) und KELM et al. (14) ihre Daten nur in einer Region beziehungsweise einem Bundesland (Niedersachsen oder Schleswig-Holstein) mit vergleichsweise homogenen Betriebsstrukturen erhoben.

Entsprechend der großen Spannweite in der Anzahl an gehaltenen Tieren pro Betrieb und der für die Pflanzenproduktion zur Verfügung stehenden betrieblichen Nutzfläche gab es in der vorliegenden Untersuchung auch große Unterschiede in den N-Mengenflüssen und Bilanzierungswerten zwischen den Betrieben. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden sowohl für den Gesamtbetrieb als auch für die vier betrieblichen Sub-Systeme die N-Einträge und N-Austräge auf die einzelbetrieblich zur Verfügung stehende Nutzfläche bezogen. Auf gesamtbetrieblicher Ebene variierte der N-Eintrag der Betriebe zwischen 100 und 1020 kg N/ha und der N-Austrag (ohne Berücksichtigung der N-Verluste) zwischen 39 und 821 kg N/ha. Die daraus resultierenden großen Spannweiten im betrieblichen N-Saldo (41 und 287 kg N/ha, Brutto-N-Saldo) und der N-Effizienz (23 und 81 Prozent, Brutto-N-Effizienz) zeigen auf, dass die Betriebe mit der Ressource Stickstoff recht unterschiedlich wirtschafteten. Dies wurde auch sehr deutlich über die Bilanzierungswerte im Sub-System "Nutzflächen" erkennbar. Hier variierte der Brutto-N-Saldo zwischen 57 und 273 kg N/ha und die Brutto-N-Effizienz zwischen 47 und 73 Prozent. Die großen Spannweiten machen sehr deutlich, dass die N-Austräge in die Umwelt und damit das Potenzial zur verbesserten Nutzung der Ressource Stickstoff zwischen den Betrieben breit gestreut sind. Aus dem vorliegenden Datensatz wurde kalkuliert, dass in Bezug auf den N-Saldo des Gesamtbetriebs die 25 Prozent schlechtesten Betriebe im Mittel einen Brutto-N-Saldo von 230 kg N/ha aufwiesen und die 25 Prozent besten Betriebe in ihrem Brutto-N-Saldo im Mittel bei 67 kg N/ha lagen. Für das Sub-System "Nutzflächen" ergaben sich für die 25 Prozent besten Betriebe ein Brutto-N-Saldo von durchschnittlich 83 kg N/ha und für die 25 Prozent schlechtesten Betriebe ein Wert von 182 kg N/ha. Folglich überfrachten auch die scheinbar besten Betriebe ihre landwirtschaftlichen Nutzflächen mit beträchtlichen N-Mengen.

## 4.2 Eine Hoftorbilanzierung benachteiligt milchviehhaltende Betriebe

Gemäß Verordnungsentwurf zur neuen, deutschen Düngeverordnung (4, Seite 22) sollen die derzeitigen Anforderungen an den betrieblichen Nährstoffvergleich ab dem Jahr 2018 schrittweise durch eine Hoftorbilanz abgelöst werden. In der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung (2) wurde eine mögliche Einführung der Hoftorbilanz kontrovers diskutiert. Die DüV regelt die Düngung landwirtschaftlicher Flächen, während für eine Hoftorbilanz auch "nicht direkt flächenbezogene Stoffströme" erfasst werden müssen (2, Seite 40). Dies gilt insbesondere für Betriebe mit Nutztierhaltung, so auch für die, der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden, 36 milchviehhaltenden Betriebe. Darüber hinaus wurde von der BLAG (2, Seite 40) auch die Erfassung des Futterzukaufs und des Verkaufs aller pflanzlichen und tierischen Produkte als sehr aufwändig angesehen. Dies würde zu zusätzlichen Problemen für eine belastbare, auf alle landwirtschaftlichen Betriebe anwendbare, Bilanzierungsmethode führen.

Wenn betriebliche Teilbilanzen erstellt werden, die den Gesamtbetrieb komplett beschreiben, ergibt sich die Gesamtbilanz aus der Summe der Teilbilanzen (1, Seite 14). In der vorliegenden Untersuchung wurden entsprechend der vier definierten innerbetrieblichen Sub-Systeme vier Teilbilanzierungen durchgeführt. In der Gegenüberstellung der betrieblichen Netto-N-Salden auf Ebene des Gesamtbetriebs (Hoftorbilanz) und der Netto-N-Salden auf Ebene des Sub-Systems "Nutzflächen" (Flächenbilanz) zeigte sich daher in der vorliegenden Untersuchung ein weiterer, wichtiger Aspekt in Bezug auf eine mögliche Einführung einer betrieblichen Hoftorbilanz. Abbildung 2a stellt dar, dass es zwischen dem Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs und dem Netto-N-Saldo des Sub-Systems "Nutzflächen" eine positive Korrelation gab ( $r = 0,624$ ; Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Die Punktwolke der 36 Betriebe um die Trendlinie zeigt aber eine relativ große Streuung. So lag bei Betrieb 6 der Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs bei 222 kg N/ha, während sich auf Ebene des Sub-Systems "Nutzflächen" nur ein Netto-N-Saldo von 68 kg N/ha ergab. Auf der anderen Seite fiel bei Betrieb 7 der Netto-N-Saldo auf Ebene des Gesamtbetriebs um einiges geringer aus als der Netto-N-Saldo, der sich für das Sub-System "Nutzflächen" berechnen ließ (19 kg N/ha versus 57 kg N/ha). Betrieb 6 und 7 unterschieden sich vor allem im N-Saldo des Sub-Systems "Erntegut-/Futterlager". Betrieb 6 wies im betrachteten Jahreszeitraum im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" mit 176 kg N/ha den größten N-Saldo auf und bei Betrieb 7 errechnete sich mit -40 kg N/ha der geringste N-Saldo. Im Gegensatz zu Betrieb 6 entnahm Betrieb 7 dem Sub-System "Erntegut-/Futterlager" mehr N als er im gleichen Zeitraum hineingab. Im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" kann es rechnerisch zu negativen N-Salden kommen. Durch die Anwendung von Konservierungsverfahren (insbesondere Trocknung und Silierung) wird das im bilanzierten Jahreszeitraum geerntete, betriebseigene Futter auf Futterbaubetrieben, wie den vorliegenden Milchviehbetrieben, oft nicht im selben Jahreszeitraum dem eigenen Tierbestand verfüttert. Auf solchen Betrieben existieren in der Regel Lagerstätten aus vorhergehenden Erntejahren.



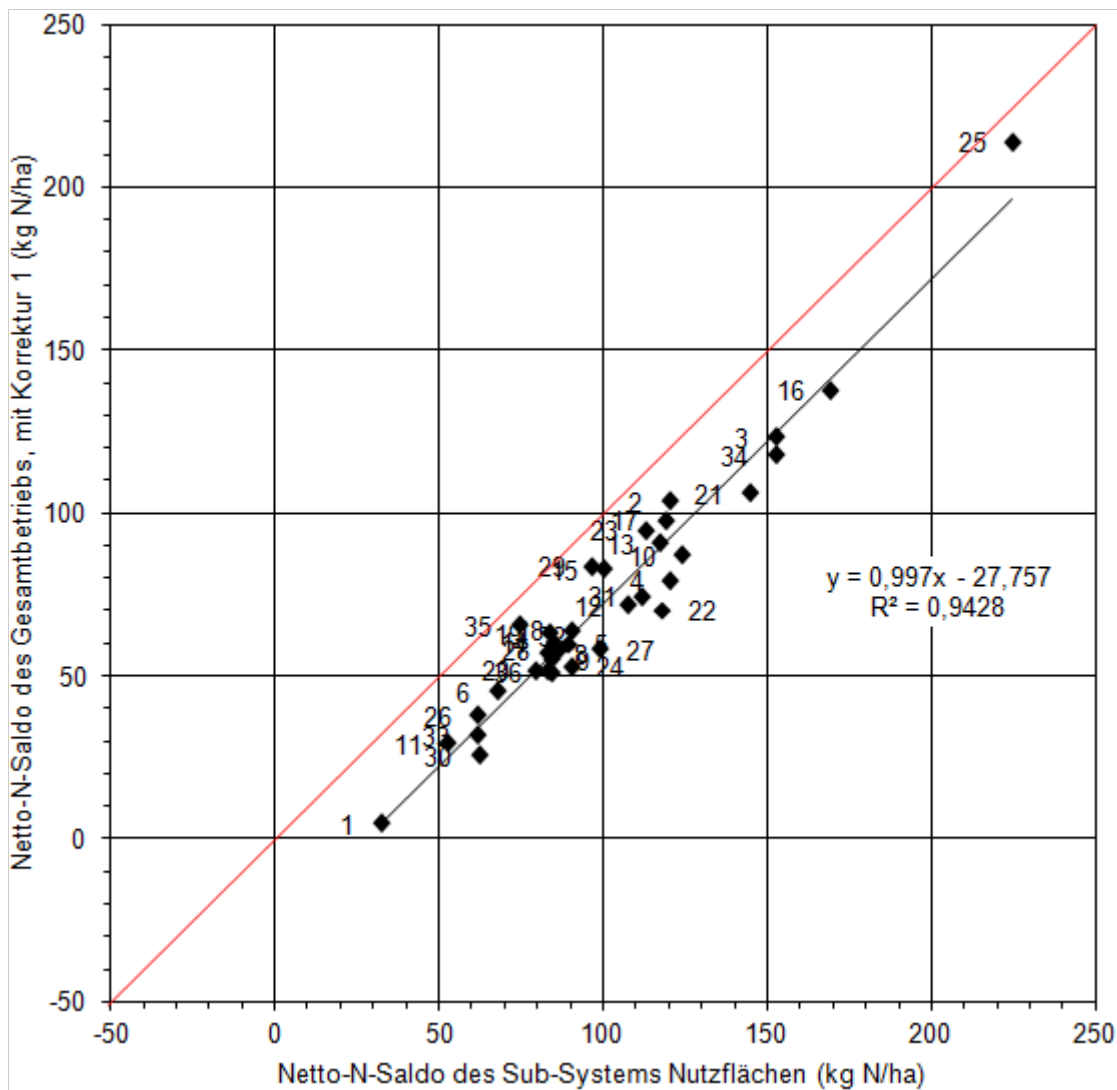
**Abbildung 2a:** Relationen zwischen den Netto-N-Salden auf Ebene des Gesamtbetriebs und des Sub-Systems Nutzflächen (n = 36). Die rote Linie zeigt die 1:1 Diagonale auf. Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs in Relation zum Netto-N-Saldo des Sub-Systems Nutzflächen.

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellungen.

Die möglichen Unterschiede in den Eintrags- und Austragsmengen im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" und den daraus resultierenden positiven oder negativen N-Salden fanden in der Abbildung 2b eine Berücksichtigung. Für die Abbildung 2b wurde der Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs um den N-Saldo des Sub-Systems "Erntegut-/Futterlager" korrigiert und anschließend wieder dem Netto-N-Saldo des Sub-Systems "Nutzflächen" gegenübergestellt. Durch diese Korrektur des N-Saldos auf Ebene des Gesamtbetriebs verbesserte sich die Korrelation zwischen den N-Salden auf einen Wert von  $r = 0,971$  (Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Entsprechend verkleinerte sich die Punktwolke der Betriebe um die Trendlinie. Für alle Betriebe galt nun, dass der Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs kleiner war als der Netto-N-Saldo des Sub-Systems "Nutzflächen". Im Gegensatz zur Bilanzierung im Sub-System "Nutzflächen" wurden N-Einträge über  $N_{\min}$  auf der Ebene des Gesamtbetriebs nicht berücksichtigt. Für Abbildung 2c wurde daher bei allen Betrieben der Netto-N-Saldo für das Sub-System "Nutzflächen" ohne den N-Eintrag  $N_{\min}$  berechnet. Die Korrelation zwischen den beiden Netto-N-Salden Gesamtbetrieb und Sub-System "Nutzflächen" erhöhte sich nochmals und erreichte nun einen Wert von  $r = 0,989$  (Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Der Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs lag nun für alle Betriebe über dem des Netto-N-Saldos für das Sub-System "Nutzflächen". Schließlich wurde für die Abbildung 2d bei allen Betrieben der Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs neben der Korrektur um den N-Saldo des Sub-Systems "Erntegut-/Futterlager" zusätzlich um den N-Saldo des

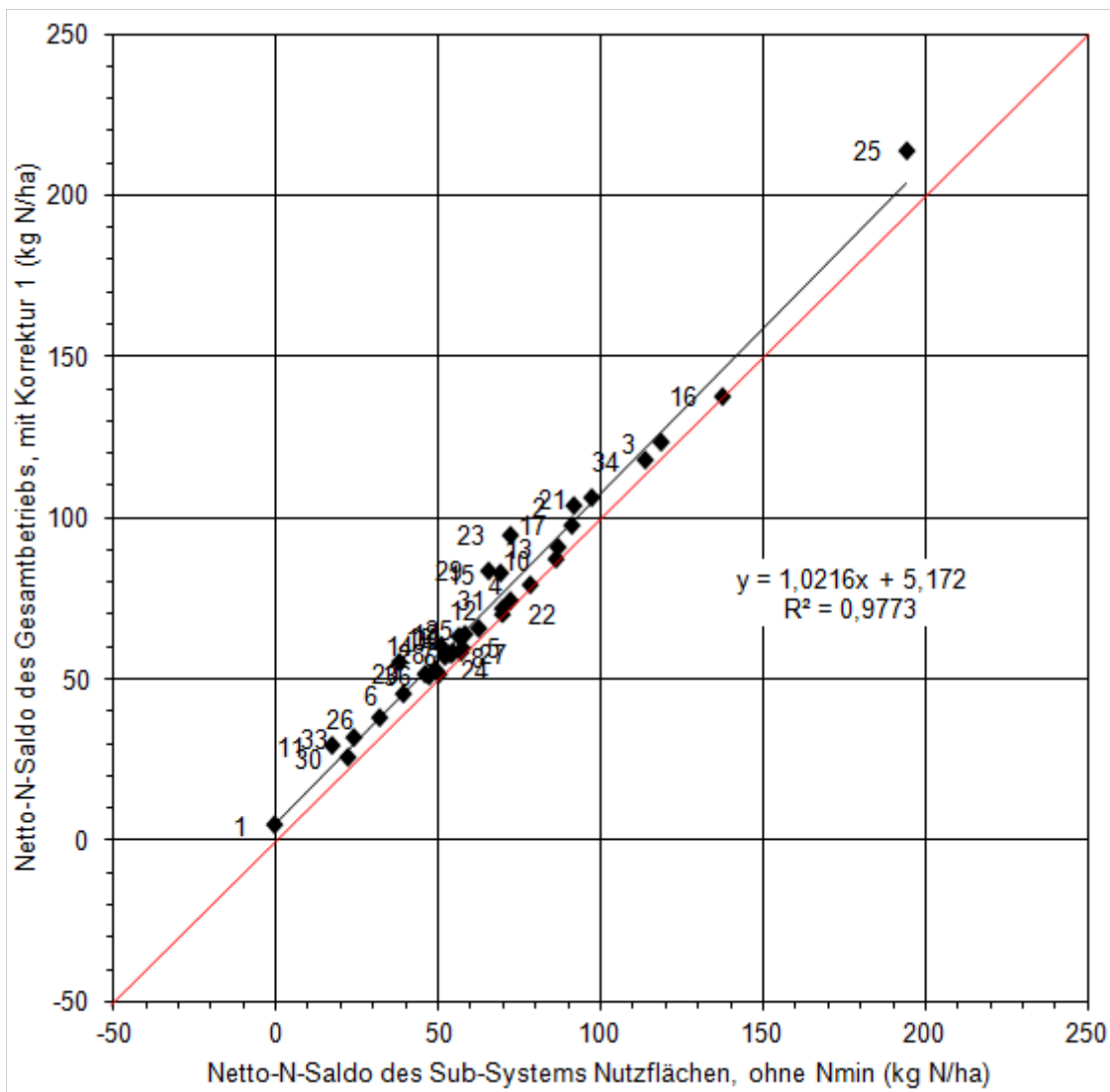


Sub-Systems "Tierbestand" korrigiert. Durch diese Verrechnung verschwanden die Unterschiede zwischen dem Netto-N-Saldo auf Ebene des Gesamtbetriebs und dem Netto-N-Saldo auf Ebene des Sub-Systems "Nutzflächen" ( $r = 1,000$ ; Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Eine Korrektur um den N-Saldo des Sub-Systems "Düngerlager" war nicht erforderlich, da hier entsprechend des betrieblichen Nährstoffvergleichs (10) mit einem über einen Jahreszeitraum ausgeglichenen Netto-N-Saldo gerechnet wurde, das heißt die Jahresverbrauchswerte verwendet wurden.



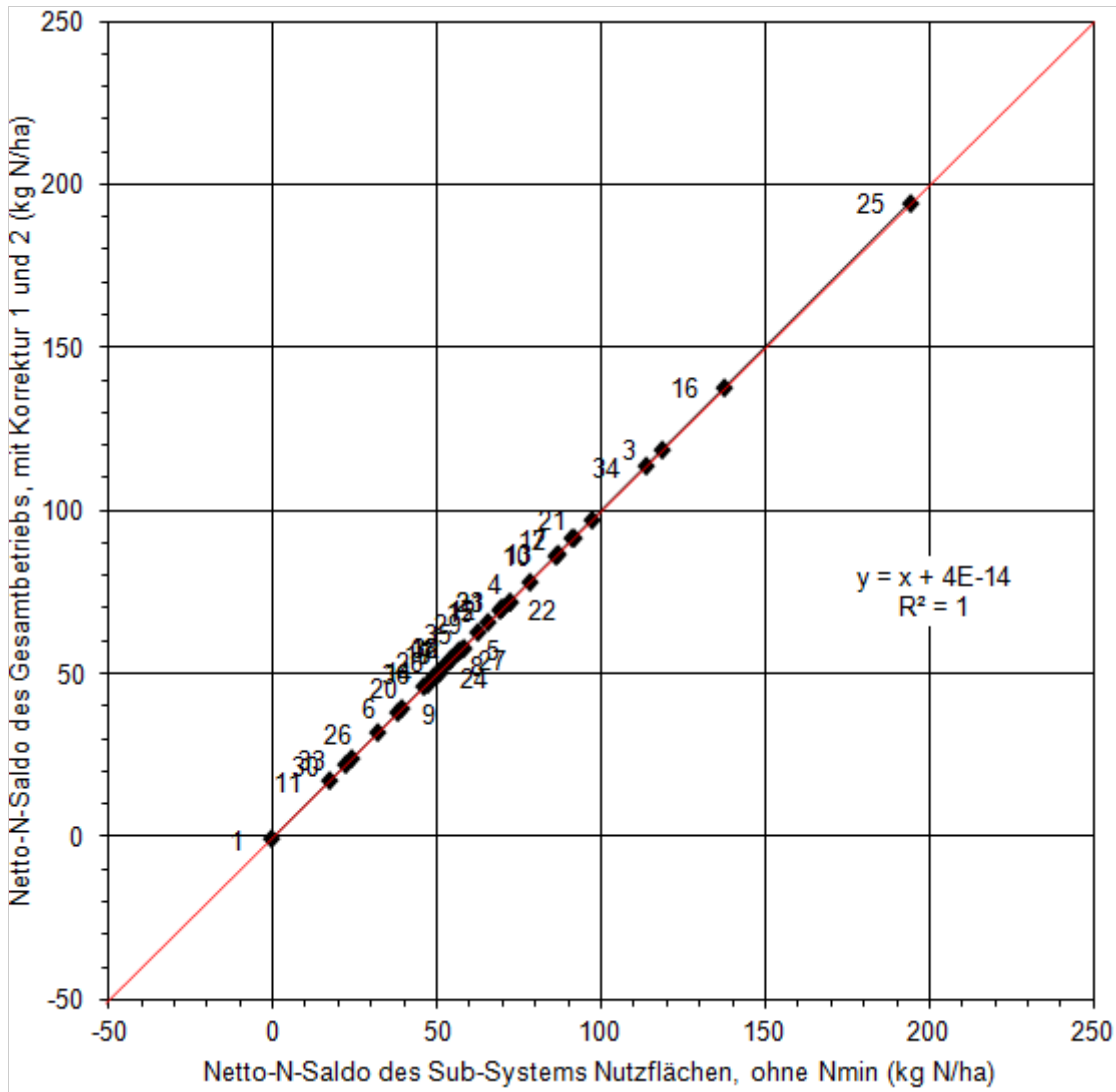
**Abbildung 2b:** Relationen zwischen den Netto-N-Salden auf Ebene des Gesamtbetriebs und des Sub-Systems Nutzflächen ( $n = 36$ ). Die rote Linie zeigt die 1:1 Diagonale auf. Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs korrigiert um den N-Saldo des Sub-Systems Erntegut-/Futterlager (Korrektur 1) in Relation zum Netto-N-Saldo des Sub-Systems Nutzflächen.

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellungen.



**Abbildung 2c:** Relationen zwischen den Netto-N-Salden auf Ebene des Gesamtbetriebs und des Sub-Systems Nutzflächen (n = 36). Die rote Linie zeigt die 1:1 Diagonale auf. Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs korrigiert um den N-Saldo des Sub-Systems Erntegut-/Futterlager (Korrektur 1) in Relation zum Netto-N-Saldo des Sub-Systems Nutzflächen, ohne N<sub>min</sub>.

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellungen.



**Abbildung 2d:** Relationen zwischen den Netto-N-Salden auf Ebene des Gesamtbetriebs und des Sub-Systems Nutzflächen (n = 36). Die rote Linie zeigt die 1:1 Diagonale auf. Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs korrigiert um den N-Saldo des Sub-Systems Erntegut-/Futterlager (Korrektur 1) sowie korrigiert um den N-Saldo des Sub-Systems Tierbestand (Korrektur 2) in Relation zum Netto-N-Saldo des Sub-Systems Nutzflächen, ohne  $N_{\min}$ .

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellungen.

Im Durchschnitt der 36 Betriebe wurde für das Sub-System "Erntegut-/Futterlager" ein N-Saldo von 31 kg N/ha ermittelt und für das Sub-System "Tierbestand" ein N-Saldo von 7 kg N/ha. In der Summe waren so durchschnittlich 38 kg N/ha des gesamtbetrieblichen N-Überschusses in den Sub-Systemen "Erntegut-/Futterlager" und "Tierbestand" verortet und damit nicht auf den betrieblichen Nutzflächen (Sub-System "Nutzflächen"). Ähnliche Bilanzüberschüsse wurden auch von BACH und FREDE (1) in einer "Stallbilanz" für die gesamtdeutsche Landwirtschaft, im Mittel der Jahre 1991 bis 2000, abgeschätzt. Danach ergab sich für die Stallbilanz ein Saldo, das zwischen 29 und 43 kg N/ha lag (1, Seite 29). Für die Gesamtbilanz eines Betriebs (Hoftorbilanz), die sich aus den beiden Komponenten Stall- und Flächenbilanz zusammensetzt, resultierte für die gesamtdeutsche Landwirtschaft im Durchschnitt ein gesamtbetrieblicher N-Überschuss von 113 kg N/ha, wobei 77 kg N/ha des N-Überschusses den landwirtschaftlichen Flächen und 36 kg N/ha dem Stallbereich zugerechnet wurden (1, Seite 29).

Stickstoff, der sich zum Zeitpunkt der Bilanzierung noch in den verschiedenen Lagerstätten des landwirtschaftlichen Betriebs befindet (das heißt in den Sub-Systemen "Erntegut-/Futterlager", "Tierbestand"

oder "Düngerlager"), kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht als "düngungsrelevant" betrachtet werden. In einer Bilanzierung sollten daher diese N-Mengen auch nicht einem düngungsrelevanten, betrieblichen N-Überschuss zugeordnet werden. In seiner Publikation "Anwendung betriebs- und schlagbezogener Nährstoffbilanzen in der landwirtschaftlichen Beratung vor dem Hintergrund der Düngeverordnung" machte FRITSCH (11, Seite 109) zwei in diesem Zusammenhang bedeutsame Aussagen: "Die Hoftor-Bilanz unterscheidet sich von der Feld-Stall-Bilanz dadurch, dass die innerbetrieblich erzeugten und verwerteten Futtermittel und Wirtschaftsdünger nicht berücksichtigt werden." und "Ohne Viehhaltung (Futterbau und Wirtschaftsdünger) sind Hoftor- und Feld-Stall-Bilanz ohnehin identisch." Die Feld-Stall-Bilanz entspricht der Feld- beziehungsweise Flächenbilanz (29).

Mit den vorhandenen Daten der 36 milchviehhaltenden Betriebe wurden "Betriebe ohne Viehhaltung" simuliert, das heißt es wurden auf Ebene des Gesamtbetriebs aus den N-Mengenflüssen zum einen die N-Mengen herausgenommen, die die Tierhaltung betrafen und zum anderen die N-Mengen entsprechend angepasst, die die Pflanzenproduktion betrafen. Im Detail bedeutete dies: (a) es werden keine Tiere, kein Futter und keine Einstreu zugekauft; (b) es werden keine Tiere, tierischen Produkte (Milch, Wolle) oder Wirtschaftsdünger verkauft; (c) das Düngungsregime auf den betrieblichen Nutzflächen bleibt aber gleich (gleicher Einsatz organischer und mineralischer Düngemittel); (d) das auf den Nutzflächen produzierte Erntegut wird komplett verkauft; und (e) der  $N_{\min}$ -Wert der Böden zu Beginn der Vegetationsperiode gilt ebenfalls als N-Eintrag in den Betrieb. Durch diese Simulation von "Betrieben ohne Viehhaltung" würde für die 36 vorliegenden Betriebe kein Unterschied mehr zwischen dem N-Saldo des Gesamtbetriebs (Hoftorbilanz) und dem N-Saldo für das Sub-System "Nutzflächen" (Flächenbilanz) resultieren. Im Durchschnitt aller 36 Betriebe würden dann beide N-Salden bei  $66 \pm 36$  kg N/ha liegen.

Wie viel N in Form von Futtermitteln zugekauft wird und wie viel N im Sub-System "Erntegut-/Futterlager" gelagert ist, ist bei Futterbaubetrieben davon abhängig, wie groß der Tierbestand des Betriebs ist. Mit dem vorliegenden Datensatz der 36 milchviehhaltenden Betriebe ergab sich zwischen Tierbestand (VE) und zugekauftem Futter (kg N) eine Korrelation von  $r = 0,896$  (Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ) und zwischen Tierbestand (VE) und N-Saldo Sub-System "Erntegut-/Futterlager" (kg N) eine Korrelation von  $r = 0,443$  (Signifikanzniveau  $p < 0,01$ ). Daraus kann geschlossen werden, dass vor allem Betriebe mit einem großen Tierbestand beziehungsweise Betriebe mit großen Reserven an betriebseigenem Futter in Hinblick auf eine Hoftorbilanzierung zur Beurteilung ihres wirtschaftlichen Umgangs mit der Ressource Stickstoff schlechter abschneiden. Dies spiegelt sich auch in den Unterschieden der beiden Korrelationen zwischen Tierbestand (VE/ha) und Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs (kg N/ha) sowie zwischen Tierbestand (VE/ha) und Netto-N-Saldo des Sub-Systems "Nutzflächen" (kg N/ha) wider. Der Korrelationskoeffizient zum Netto-N-Saldo des Gesamtbetriebs betrug  $r = 0,421$  (Signifikanzniveau  $p < 0,05$ ), jedoch bestand keine signifikante Korrelation zum Netto-N-Saldo des Sub-Systems "Nutzflächen" ( $r = 0,232$ ;  $p = 0,17$ ).

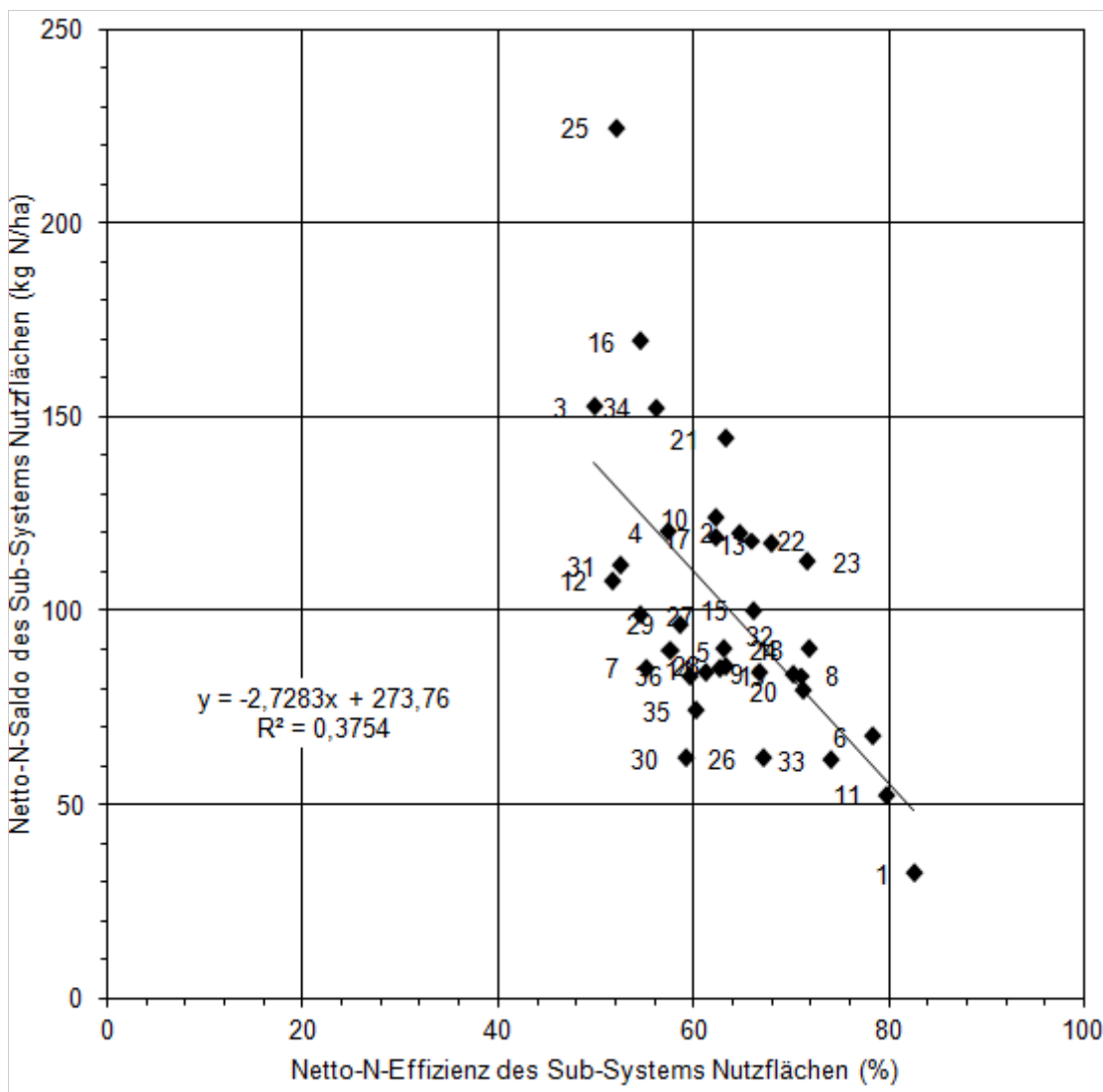
Gemäß VDLUFA (29) berücksichtigt das Bilanzierungsverfahren auf Ebene des Hoftors Bestandsänderungen der zugekauften Futtermittel und der verkauften Marktprodukte. Gänzlich unberücksichtigt bleiben jedoch bei dieser Vorgehensweise die N-Mengen, die den nur innerbetrieblich erzeugten und verwerteten Futtermitteln zuzuordnen sind (11, Seite 109). In den meisten Fällen werden betriebseigene Futtermittel wie zum Beispiel Mais- und Grassilagen von den Betrieben nicht gehandelt. Deshalb gehören sie üblicherweise nicht zu den Futtermitteln, die das Hoftor passieren und bleiben damit bei einer Bilanzierung auf dieser Ebene außer Betracht. Von den 36 milchviehhaltenden Betrieben verkauften nur 31 Prozent betriebseigene Maissilage und 19 Prozent betriebseigene Grassilage, obwohl 35 der 36 Betriebe Maissilage und alle 36 Betriebe Grassilage produzierten. Die fehlende Berücksichtigung der ausschließlich innerbetrieblich genutzten N-Lagerstätten betriebseigener Futtermittel könnte auch einen Teil der von GUTSER (12, Seite 134) beschriebenen Unstimmigkeiten zwischen den für Betriebe mit Rinderhaltung berechneten Netto-Salden nach Hoftor- und Feld/Stall-Methode erklären.

### **4.3 Das betriebliche Düngungsmanagement entscheidet über die Höhe des betrieblichen N-Überschusses**

Bei einer Gegenüberstellung betrieblicher Nährstoffvergleiche, die gemäß DüV (10) erstellt wurden, zeigte sich, dass Futterbaubetriebe (zu denen insbesondere die milchviehhaltenden Betriebe gehören), genauso gut oder schlecht düngen wie Marktfruchtbetriebe und dass der Anteil derjenigen Betriebe, die einen Netto-

N-Saldo über 60 kg N/ha hatten, bei knapp 15 Prozent (Futterbaubetriebe) beziehungsweise 25 Prozent (Marktfruchtbetriebe) lag (2, Seite 187). In der vorliegenden Untersuchung wurde bezüglich der gemäß DüV (10) berechneten Netto-N-Salden bei zehn der 36 milchviehhaltenden Betriebe (das entspricht 28 Prozent der Betriebe) ein Wert über 60 kg N/ha ermittelt.

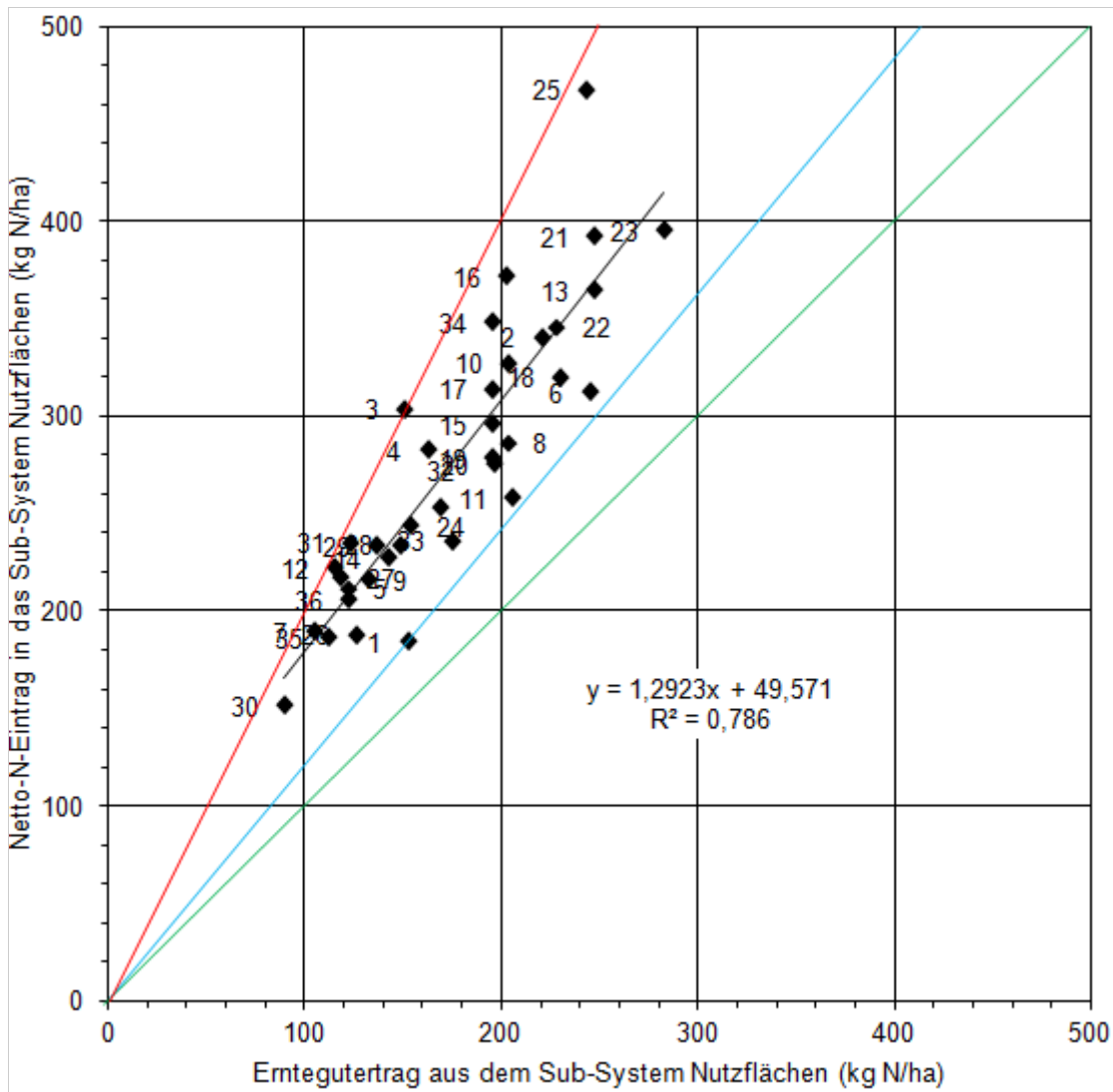
Die Düngung der landwirtschaftlich genutzten Betriebsflächen ist in der vorliegenden Untersuchung dem Sub-System "Nutzflächen" zugeordnet. In Abbildung 3 wurde hierfür dem Netto-N-Saldo die Netto-N-Effizienz gegenübergestellt. Es zeigte sich, dass mit steigender N-Effizienz der N-Saldo und damit der N-Überschuss auf den betrieblichen Nutzflächen sank ( $r = -0,613$ ; Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Für die untersuchten Betriebe wurden für die N-Effizienz Werte ermittelt, die zwischen 50 und 83 Prozent lagen. Dies stimmt mit dem Schwankungsbereich überein, den JARVIS et al. (13, Seite 215) ausmachte zwischen dem, was technisch möglich ist und dem, was derzeit in der Praxis noch anzutreffen ist: 53 bis 76 Prozent N-Effizienz. Anhand der Abbildung 3 wird ebenfalls ersichtlich, dass trotz gleicher N-Effizienz der N-Saldo zwischen den Betrieben sehr stark variieren kann. So ergab sich für den Betrieb 25 eine N-Effizienz von 52 Prozent und ein N-Saldo in Höhe von 224 kg N/ha. Für Betrieb 12 war eine gleichhohe N-Effizienz wie für Betrieb 25 mit einem N-Saldo von 108 kg N/ha gekoppelt. Entsprechend sollte neben einer betrieblichen Verbesserung der N-Effizienz auch weiterhin der N-Saldo im Blick bleiben, der die absolute Menge an überschüssigem Stickstoff ausweist.



**Abbildung 3:** Netto-N-Saldo des Sub-Systems Nutzflächen in Relation zur Netto-N-Effizienz des Sub-Systems Nutzflächen (n = 36).

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellung.

Gründe dafür, dass sich die beiden Betriebe 12 und 25 bei gleichhoher N-Effizienz im N-Saldo so stark unterschieden, können anhand der Abbildung 4 erläutert werden. Hier wurde der Netto-N-Eintrag in das Sub-System "Nutzflächen" dem Erntegutertrag der Betriebe (Netto-N-Austrag des Sub-Systems "Nutzflächen") gegenübergestellt. Betrieb 12 und 25 unterschieden sich im betrachteten Jahreszeitraum sowohl im Erntegutertrag (115 versus 243 kg N/ha) als auch im Netto-N-Eintrag (222 versus 467 kg N/ha). Mit steigendem Ernteertrag der Betriebe erhöhte sich auch der Netto-N-Eintrag auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen ( $r = 0,910$ ; Signifikanzniveau  $p < 0,001$ ). Die schwarze Trendlinie der Daten entfernt sich aber bei höheren Ernteguterträgen immer weiter von der idealen Linie (grüne Linie = 100 Prozent N-Effizienz). Folglich verschlechtert sich die Überführungsrate vom Netto-N-Eintrag in das Erntegut (N-Effizienz) mit steigendem Erntegutertrag. Dies wird auch daran erkennbar, dass die Steigung der Trendlinie über 1 liegt.



**Abbildung 4:** Netto-N-Eintrag in das Sub-System Nutzflächen in Relation zum Erntegutertrag aus dem Sub-System Nutzflächen ( $n = 36$ ). Die grüne Linie markiert die Diagonale (N-Effizienz = 100 Prozent), die blaue Linie schneidet den Betrieb mit der höchsten N-Überführungsrate (N-Effizienz = 83 Prozent) und die rote Linie den Betrieb mit der niedrigsten N-Überführungsrate (N-Effizienz = 50 Prozent).

**Quelle:** Eigene Berechnungen und Darstellung.

Jedoch auch bei annähernd gleichem Erntegutertragsniveau ergaben sich unterschiedliche betriebliche N-Effizienzen (Bereich zwischen blauer (beste betriebliche N-Effizienz, Betrieb 1 mit 83 Prozent) und roter Linie (schlechteste betriebliche N-Effizienz, Betrieb 3 mit 50 Prozent)). Durch ihr Düngungsmanagement überführten die untersuchten Betriebe den N-Eintrag auf ihre Nutzflächen unterschiedlich "erfolgreich" in das

darauf wachsende Erntegut beziehungsweise unterschieden sich in der notwendigen Synchronisation des N-Eintrags mit dem Pflanzenbedarf (6). Somit entscheidet neben der Höhe des Erntegutertragsniveaus vor allem das Düngungsmanagement der Betriebe über den betrieblichen N-Überschuss. Ein Beispiel für ein nicht erfolgreich umgesetztes Düngungsmanagement und der Notwendigkeit einer Optimierung ist Betrieb 25. Betrieb 25 hatte einen Tierbesatz von 3,0 VE/ha und stand somit unter einem gewissen Druck, den eigenen Wirtschaftsdünger entsprechend unterzubringen. In Hinblick auf eine Überdüngung der eigenen Flächen sollte für solche Betriebe aber die Abgabe von Wirtschaftsdünger an andere Betriebe die bessere Alternative sein.

#### **4.4 Mit dem derzeitigen Berechnungsverfahren werden betriebliche N-Überschüsse unterschätzt**

Die von der Düngung ausgehenden betrieblichen N-Überschüsse fallen auf der Schlagebene an. Stickstoff, der nicht im Boden oder den angebauten Pflanzen gebunden wird, läuft Gefahr: (a) in Form von Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen zu werden; oder (b) in Form von Lachgas in die Luft zu entweichen. Nach Angaben des SRU (25) belaufen sich die N-Mengen, die auf diese Weise in Deutschland den landwirtschaftlichen Nutzflächen entweichen beziehungsweise verloren gehen, in der Summe auf jährlich 557.000 t N (Eintrag in die Oberflächengewässer: 457.000 t N (25, Seite 175), Eintrag in die Luft über Lachgas 90.000 t N (25, Seite 79)). Zusammen mit den ebenfalls sehr umfangreichen Ammoniakverlusten (Eintrag in die Luft: 427.000 t N; 25, Seite 79), die bei der Lagerung und Ausbringung von Düngemitteln in der Landwirtschaft entstehen, kennzeichnet dies einen dramatischen Ressourcenverlust für die deutsche Landwirtschaft sowie eine erhebliche Belastung für die Umwelt.

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung wird geschlossen, dass die betrieblichen N-Überschüsse mit dem derzeitigen Berechnungsverfahren zur Bestimmung des einzelbetrieblichen N-Überschusses (10) unterschätzt werden. Dies resultiert zum einen aus der Tatsache, dass nicht alle jährlichen, flächenbezogenen N-Einträge berücksichtigt werden und zum anderen daraus, dass negative N-Salden auf Schlagebene durch eine übergeordnete Summenbildung nicht korrekt verrechnet werden. Negative N-Salden auf Schlagebene sollten dahingehend interpretiert werden, dass (a) es auf diesen Schlägen im Düngjahr keinen "überschüssigen" Stickstoff gab; und (b) somit der aus diesen negativen N-Salden abzuleitende N-Überschuss gleich Null war. Ein für die Berechnung des betrieblichen N-Überschusses relevanter N-Saldo liegt per Definition des Begriffs "Überschuss" immer über Null.

Um eine mögliche Unterschätzung des betrieblichen N-Überschusses zu veranschaulichen, wurden schlagbezogene Daten eines Betriebs zusammengestellt und miteinander verrechnet. Der ausgewählte Betrieb bot sich an, da er zu den wenigen Betrieben gehörte, welche die Ackerschlagkartei lückenlos führten. Zudem standen die in der Ackerschlagkartei angegebenen Daten in Übereinstimmung mit dem vom Betrieb vorgelegten Nährstoffvergleich gemäß DüV (10). Im betrachteten Jahreszeitraum bewirtschaftete der beispielhafte Betrieb insgesamt 1.242,7 ha landwirtschaftliche Nutzfläche, aufgeteilt auf 258 Schläge, wovon 195 Schläge Grünland und 63 Schläge Ackerland waren. Die mittlere Größe der Schläge lag bei  $4,8 \pm 5,1$  ha, mit einer Spannweite von 0,1 bis 28,8 ha pro Schlag. Bei einer Berechnung gemäß DüV (10) ergaben sich für den Betrieb schlagbezogene Netto-N-Salden, die zwischen -151 und +154 kg N/ha lagen, wobei sich für 185 (176 Grünland- und 9 Ackerlandschläge) der 258 Schläge ein negativer Netto-N-Saldo ergab. Wurden bei der Schlagbilanzierung weitere N-Einträge berücksichtigt ( $N_{\min}$  zu Beginn der Vegetationsperiode, jährliche N-Deposition sowie Saat- und Pflanzgut), lagen die schlagbezogenen Netto-N-Salden zwischen -96 und +209 kg N/ha. Ferner ergaben sich nur noch für 50 (43 Grünland- und 7 Ackerlandschläge) der 258 Schläge negative Netto-N-Salden.

Unter Verwendung von vier unterschiedlichen Berechnungsverfahren in der aggregierten Schlagbilanz gibt Tabelle 7 Ergebnisse zum einzelbetrieblichen N-Überschuss des ausgewählten Betriebs wieder. Die vier angewendeten Berechnungsverfahren unterschieden sich dahingehend, welche N-Einträge berücksichtigt wurden und ob negative N-Salden einem N-Überschuss von Null gleichgesetzt wurden oder nicht. Dabei ist anzumerken, dass es sich hierbei um die Netto-N-Überschüsse handelt und somit die gasförmigen N-Verluste, die während der Lagerung und Ausbringung der eingesetzten Düngemittel entstanden, schon abgezogen wurden. Für den beispielhaften Betrieb beliefen sich diese bereits entstandenen, gasförmigen N-Verluste auf insgesamt 25.347 kg N.

**Tabelle 7: Betrieblicher Netto-N-Überschuss eines beispielhaften Betriebes unter Anwendung von vier verschiedenen Berechnungsverfahren für eine aggregierte Schlagbilanz\***

berücksichtigte N-Einträge	negative N-Salden	betrieblicher Netto-N-Überschuss	
		kg N	%
organischer Dünger, Mineraldünger und N-Bindung (gemäß aktueller DüV)	N-Überschuss < 0	10.187	12
	N-Überschuss = 0	31.611	38
organischer Dünger, Mineraldünger und N-Bindung sowie $N_{\min}$	N-Überschuss < 0	79.419	96
N-Deposition und Saat-/Pflanzgut	N-Überschuss = 0	82.821	100

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

*Anmerkungen:* \* Die Berechnungsverfahren unterschieden sich in Hinblick darauf, welche N-Einträge berücksichtigt wurden und ob negative Netto-N-Salden einem N-Überschuss von Null gleichgesetzt wurden oder nicht.

Tabelle 7 zeigt auf, dass bei Anwendung der derzeit gemäß DüV (10) zu berücksichtigenden N-Einträge und der offiziell vertretenen Vorgehensweise zur Erstellung der Bilanzierung eines Betriebes über eine aggregierte Schlagbilanz (27, Seite 3), sich für den beispielhaften Betrieb ein Netto-N-Überschuss in Höhe von 10.187 kg N berechnen lässt. Wurden die für den Betrieb auf der Schlagebene zu ermittelnden, negativen Netto-N-Salden einem N-Überschuss von Null gleichgesetzt, ergab sich ein um mehr als das Dreifache erhöhter betrieblicher Netto-N-Überschuss von 31.611 kg N. Neben den in der DüV (10) berücksichtigten N-Einträge gibt es auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen weitere ebenfalls vorhandene schlagbezogene N-Einträge:  $N_{\min}$  zu Beginn der Vegetationsperiode, jährliche N-Deposition sowie Saat- und Pflanzgut. Werden diese zusätzlichen N-Einträge berücksichtigt, berechnete sich, abhängig davon, wie die negativen Netto-N-Salden auf Schlagebene betrachtet wurden, ein Netto-N-Überschuss von 79.419 kg N beziehungsweise 82.821 kg N. Folglich ergeben sich je nach angewandtem Berechnungsverfahren für denselben Betrieb sehr unterschiedliche betriebliche Netto-N-Überschussmengen. Trotz der beträchtlichen Diskrepanz zum mittels DüV (10) berechneten Wert von 10.187 kg N wird angenommen, dass ein Netto-N-Überschuss von 82.821 kg N dem eigentlichen betrieblichen Wert am nächsten kommt, da hier zum einen durch Einbeziehung weiterer N-Quellen der jährliche N-Eintrag pro Schlag annähernd realistisch abgeschätzt wurde und zum anderen schlagbezogene, negative Netto-N-Salden den positiven Netto-N-Salden nicht als Abzug gegenübergestellt wurden. Damit zeigte sich für den Beispielbetrieb, dass mit dem derzeitigen Berechnungsverfahren gemäß DüV (10) schlussendlich nur zwölf Prozent des eigentlichen betrieblichen Netto-N-Überschusses erkannt wurden. Dies ist darin begründet, dass mit dem derzeitigen Berechnungsverfahren (a) nicht alle jährlichen, flächenbezogenen N-Einträge berücksichtigt werden; und (b) durch die übergeordnete Summenbildung des N-Eintrags und N-Austrags auf der Ebene der Nutzflächen eine in Bezug auf die Bedarfsdeckung mögliche Ungleichverteilung des N-Eintrags über die Schläge oder Kulturen nivelliert wird.

Die Daten des Beispielbetriebs zeigen, dass die Verteilung der N-Einträge auf die betrieblichen Flächen, Kulturen beziehungsweise Schläge nicht immer bedarfsgerecht erfolgt. Tabelle 8 gibt für den beispielhaften Betrieb einen Überblick darüber, wie sich der betriebliche Netto-N-Überschuss aus Tabelle 7 über die verschiedenen Anbaukulturen im betrachteten Jahreszeitraum verteilte. Die über aggregierte Schlagbilanzen berechneten Netto-N-Überschüsse für die auf dem Betrieb angebauten Kulturen divergierten beträchtlich. Für den Betrieb fiel auf, dass bezogen auf die betriebliche Anbaufläche: (a) die auf den Ackerflächen angebauten



Kulturen höhere Netto-N-Überschüsse aufwiesen als das Grünland; (b) Winterkulturen einen höheren Netto-N-Überschuss hatten als Sommerkulturen; und (c) Winterraps die Kultur mit dem höchsten Netto-N-Überschuss war.

**Tabelle 8: Kulturbezogene Aufteilung des betrieblichen Netto-N-Überschusses auf die angebauten Kulturen im Beispielbetrieb\***

Kultur	kulturbezogener Netto-N-Überschuss			
	Berücksichtigung		Berücksichtigung	
	der N-Einträge gemäß aktueller DüV		weiterer N-Einträge	
	kg N	kg N/ha	kg N	kg N/ha
Winterraps	8.354	74	14.582	129
Wintergerste	4.362	59	8.622	117
Silomais	3.722	44	8.394	100
Sommergerste	3.465	40	8.271	96
Sommerhafer	1.590	33	4.398	91
Triticale	2.763	33	7.520	90
Klee gras	1.166	16	4.132	57
Grünland	6.189	9	26.901	39
<b>Summe</b>	<b>31.611</b>		<b>82.820</b>	

**Quelle:** Eigene Datenerhebung und Darstellung.

*Anmerkungen: \* Zur Bestimmung des kulturbezogenen Netto-N-Überschusses kamen zwei Berechnungsverfahren für eine aggregierte Schlagbilanz zur Anwendung, zum einen wurden nur N-Einträge gemäß aktueller DüV berücksichtigt, zum anderen weitere N-Einträge (N<sub>min</sub>, N-Deposition und Saat- und Pflanzgut). Bei beiden Berechnungsverfahren wurde ein mögliches negatives Netto-N-Saldo einem N-Überschuss von Null gleichgesetzt.*

## 5 Schlussfolgerungen

Die im Zusammenhang mit der Datenerhebung auf den 36 milchviehhaltenden Praxisbetrieben gesammelten Erfahrungen unterstützen die bereits von der VDLUFA (29, Seite 5) und vom WBA (30, Seite 332) gemachte Aussage, dass in Bezug auf einen betrieblichen Nährstoffvergleich wohl nur eine Hoftorbilanz reproduzierbare und justiziable Ergebnisse hervorzubringen vermag. Jedoch legen die Ergebnisse der vorliegenden Auswertungen nahe, dass bei der Einführung der Hoftorbilanz, insbesondere für Futterbaubetriebe, wie milchviehhaltende Betriebe, bei der jährlichen Bilanzierung zu berücksichtigen ist, dass sich wesentliche N-Mengen im Lager der wirtschaftseigenen Futtermittel befinden können. Diese N-Mengen würden bei der alleinigen Erfassung des N-Außenumsatzes gemäß Hoftorbilanz unberücksichtigt bleiben, sodass die N-Bilanz solcher Betriebe gegenüber anderen Betrieben wie zum Beispiel Marktfruchtbetrieben nachteilig beeinflusst wäre.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung, dass auch bei Berücksichtigung der innerbetrieblichen N-Lager in der Berechnung der Hoftorbilanz, der betriebliche N-Überschuss auf Ebene der Hoftorbilanz beträchtlich unterschätzt werden kann. Dies ist dem Effekt geschuldet, dass auf dieser Ebene die tatsächliche Verteilung des düngungsrelevanten N-Eintrags auf die landwirtschaftlich genutzten Betriebsflächen unerkannt bleibt. Deshalb sollte eine Hoftorbilanz sinnvollerweise mit Informationen aus der Schlagbilanz kombiniert werden. Eine Kombination aus Hoftor- und Schlagbilanz wurde auch schon von der VDLUFA (29, Seite 9) mit den Argumenten empfohlen, dass sich nur so "die zunehmenden Anforderungen an die Kontrollfähigkeit ... erfüllen ..., innerbetrieblich festgestellte Mängel lokalisieren ... und die Düngung

zielgerichtet optimieren" lassen. Ein erster Schritt in diese Richtung kann darin gesehen werden, dass die Düngebedarfsermittlung, die gemäß DüV (10, Seite 2) für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit durchzuführen ist, im Verordnungsentwurf zur neuen DüV (4, Stand: 18. Dezember 2014) zukünftig der Pflicht zur schriftlichen Aufzeichnung und Aufbewahrung für mögliche Kontrollen unterliegen soll (§ 10 Absatz 1). Nur auf diese Weise kann in der landwirtschaftlichen Praxis ein größeres Bewusstsein für das erforderliche "Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf und der Nährstoffversorgung" (10, § 3 Absatz 1) geschaffen werden, das für alle Flächen eines Betriebes angestrebt werden sollte.

Nach einer Etablierung einer solchen vom Gesetzgeber geforderten schriftlichen Dokumentation der schlag- beziehungsweise kulturbezogenen Düngebedarfsermittlung in der landwirtschaftlichen Praxis, könnte der nächste, logische Schritt darin bestehen, zukünftig den Kontrollwert gemäß DüV in Bezug auf den tolerierbaren N-Überschuss ebenfalls auf der Ebene der Schläge beziehungsweise Kulturen anzuwenden. Die Tatsache, dass der reale betriebliche N-Überschuss erst auf dieser Ebene bestimmt werden kann, machen die vorliegenden Untersuchungsergebnisse hinreichend deutlich. Die korrekte Bestimmung des betrieblichen N-Überschusses wird insbesondere dann relevant, wenn der Forderung des SRU (25, Seite 349) nach einer Überschussabgabe entsprochen würde.

---

## Zusammenfassung

Die Grundlage der vorliegenden Untersuchung waren umfangreiche Betriebsdatensätze zum N-Umsatz eines Jahres auf 36 milchviehhaltenden Betrieben. Aus den daraus ermittelten, betrieblichen N-Mengenflüssen und Bilanzierungen können nachfolgende Aussagen abgeleitet werden:

- Die N-Mengenflüsse und N-Bilanzen milchviehhaltender Betriebe zeigen eine hohe Variabilität.
- Eine Hoftorbilanz benachteiligt einen Großteil der milchviehhaltenden Betriebe beziehungsweise Futterbaubetriebe.
- In Bezug auf die Düngung der landwirtschaftlichen Nutzflächen wirtschaften milchviehhaltende Betriebe beziehungsweise Futterbaubetriebe genauso gut oder schlecht wie reine Marktfruchtbetriebe.
- Neben einer Verbesserung der betrieblichen N-Effizienz muss die Höhe des betrieblichen N-Überschusses weiterhin im Blickfeld bleiben.
- Über die Höhe des betrieblichen N-Überschusses entscheiden vor allem das Niveau der betrieblichen Ernteguterträge sowie das betriebliche Düngungsmanagement.
- Mit dem derzeitigen Berechnungsverfahren werden die betrieblichen N-Überschüsse und damit das Gefahrenpotenzial für die Umwelt für viele Betriebe wahrscheinlich erheblich unterschätzt.

## Summary

### **Nitrogen-mass flows and balances of dairy farms in the context of the German fertilizer application ordinance**

The present investigation is based on extensive operation records regarding annual N turnover on 36 dairy farms. The following statements can be derived from the N-mass flows and balances calculated:

- Dairy farm N-mass flows and balances show a high variability.

- A farm-gate balance is to the detriment of a large proportion of dairy farms respectively feed-production farms.
- Where fertilization of arable land is concerned, dairy farms respectively feed-production farms operate as well or as badly as cash crop farmers.
- In addition to the improvement of the farm-N efficiency, the amount of the farm-N surplus still needs to be continuously monitored.
- The amount of the farm-N surplus is mostly determined by the farm's harvest yields and fertilization management.
- Given the current calculation methods, many the farm-N surpluses and their inherent environmental dangers tend to be considerably underestimated.

## Résumé

### **Les flux de quantité d'azote et la comptabilisation d'exploitation de consacrant à l'élevage de bétail laitier dans le contexte de l'ordonnance relative aux engrais**

La présente étude est basée sur des vastes séries de données sur la transformation annuelle d'azote dans 36 entreprises laitières. L'analyse des flux opérationnels d'azote et des bilans mène aux conclusions suivantes:

- Les flux et les bilans d'azote des entreprises laitières sont hautement variable.
- Un bilan à partir de l'exploitation (farmgate balance) s'avère être au détriment d'une grande partie des exploitations laitières ou fourragères.
- En ce qui est de la fertilisation des superficies agricoles, les exploitations laitières ou fourragères gèrent aussi bien ou mal que les exploitations d'aliments destinés à la vente.
- Outre une amélioration de l'efficacité d'azote, un regard attentif sera à jeté sur l'ampleur de l'excédent d'azote dégagé par l'exploitation.
- L'ampleur de l'excédent d'azote de chaque exploitation est déterminée surtout par le niveau de rendements des récoltes ainsi que le gestion des fertilisants.
- Pour beaucoup d'entreprises et avec la méthode de calcul actuelle, les excédents d'azote des exploitations et alors les dangers potentiels pour l'environnement risquent d'être considérablement sous-estimés.

## LITERATUR

1. BACH, M.; FREDE, H.-G., 2005: Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoff-Bilanzen. Fördergemeinschaft Nachhaltige Landwirtschaft e.V. (FNL), Bonn, Heft 9/2005.
2. BLAG (Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung), 2012: Evaluierung der Düngeverordnung – Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung. Abschlussbericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. ► [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dn051542.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dn051542.pdf), aufgerufen am 2. September 2015.
3. BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft), 2015a: Beitrag: Düngen nach guter fachlicher Praxis. Stand: 30 Juni 2015. ► [http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/\\_Texte/Duengung.html](http://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html), aufgerufen am 27. August 2015.
4. BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft), 2015b: Düngeverordnung, Verordnungsentwurf, Stand: 18. Dezember 2014. ► [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwuerfe/EntwurfDuengeverordnung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwuerfe/EntwurfDuengeverordnung.pdf?__blob=publicationFile), aufgerufen am 27. August 2015.
5. BMU UND BMELV (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz), 2012: Nitratbericht 2012 – Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. ► [http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Nitratbericht-2012.pdf?\\_\\_](http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Nitratbericht-2012.pdf?__), aufgerufen am 16. November 2015.
6. CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B., 2005: Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? A review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 72, 101–129.
7. DÄMMGEN, U.; HAENEL, H.-D.; RÖSEMANN, C.; HAHNE, J.; EURICH-MENDEN, B.; GRIMM, E.; DÖHLER, H., 2013: Landwirtschaftliche Emissionen – Teilbericht zum F&E-Vorhaben "Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung – RAREST". Texte/Umweltbundesamt 39/2013, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.
8. DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.), 2014: Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Arbeiten der DLG Band 199, 2. Auflage, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main.
9. DÖHLER, H.; EURICH-MENDEN, B.; DÄMMGEN, U.; OSTERBURG, B.; LÜTTICH, M.; BERGSCHMIDT, A.; BERG, W.; BRUNSCH, R., 2002: BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der Deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahr 2010. Texte/Umweltbundesamt 05/02, Umweltbundesamt, Berlin.
10. DÜV (Düngeverordnung), 2007: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. Februar 2007 (BGBl. I Seite 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I Seite 212) geändert worden ist.
11. FRITSCH, F., 1997: Anwendung betriebs- und schlagbezogener Nährstoffbilanzen in der landwirtschaftlichen Beratung vor dem Hintergrund der Düngeverordnung. In Tagungsberichte Band 20 des österreichischen Umweltbundesamtes, "Stoffbilanzierung in der Landwirtschaft – Ein Instrument für den Umweltschutz?", Workshop 20. bis 21. Juni 1996, Wien.
12. GUTSER, R., 2006: Bilanzierung von Stickstoffflüssen im landwirtschaftlichen Betrieb zur Bewertung und Optimierung der Düngungsstrategien. *Acta agriculturae Slovenica*, 87, 129–141.

13. JARVIS, S.; HUTCHINGS, N.; BRENTROP, F.; OLESEN, J. E.; VAN DER HOEK, K. W., 2011: Nitrogen flows in farming systems across Europe. In "The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives". 211–228, Herausgeber: SUTTON, M. A.; HOWARD, C. A.; ERISMAN, J. W.; BLEEKER, A.; GREENFELT, P.; VAN GRINSVEN, H.; GRIZZETTI, B., Cambridge University Press, Cambridge.
14. KELM, M.; TAUBE, F.; HÜWING, H.; KEMPER, N.; NEUMANN, H., 2007: Wissen, wo man steht. Ergebnisse des Projektes COMPASS. 2. Auflage, Breitschuh & Kock GmbH, Kiel. ► <http://www.uni-kiel.de/phytomed/pdf/COMPASS%20Ergebnisse.pdf>, aufgerufen am 3. September 2015.
15. KLU (Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt), 2014: Novellierung der Düngeverordnung – Kurzstellungnahme der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU). ► [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/klu\\_kurzstellungnahme\\_zur\\_novellierung\\_der\\_duengeverordnung\\_november\\_2014.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/klu_kurzstellungnahme_zur_novellierung_der_duengeverordnung_november_2014.pdf), aufgerufen am 16. November 2015.
16. KOHN, R. A.; DOU, Z.; FERGUSON, J. D.; BOSTON, R. C., 1997: A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. *Journal of Environmental Management* 50, 417–428.
17. KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.), 2009: Faustzahlen für die Landwirtschaft. 14. Auflage, KTBL, Darmstadt.
18. KÜSTERMANN, B.; CHRISTEN, O.; HÜLSBERGEN, K.-J., 2010: Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135, 70–80.
19. LHV (Landwirtschaftlicher Hauptverein für Ostfriesland e.V.), 2006: Grünlandprojekt van Bruchem. Endbericht 2006, Aktenzeichen II/80225003, Projektträger Landwirtschaftlicher Hauptverein für Ostfriesland e.V., Aurich.
20. LKP (Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung in Bayern e.V.), 2007: LKP Nährstoffvergleich 4.0. ► [http://www.er-suedbayern.de/database/dbfiles/partner-0/Handbuch\\_LKP\\_N%C3%A4hrstoffvergleich\\_4.0.pdf](http://www.er-suedbayern.de/database/dbfiles/partner-0/Handbuch_LKP_N%C3%A4hrstoffvergleich_4.0.pdf), aufgerufen am 12. Oktober 2015.
21. MACHMÜLLER, A.; SUNDRUM, A., 2015: Betriebliche Stickstoffüberschüsse erst durch systemische Analyse zielführend absenkbar. *Landbauforsch. Appl. Agric Forestry Res.* 65(3/4): 171–192  
► [http://literatur.thuenen.de/digbib\\_extern/dn056098.pdf](http://literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn056098.pdf).
22. ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P.; FOLEY, J. A., 2009: A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472–475.
23. SCHERINGER, J., 2002: Nitrogen on dairy farms: balances and efficiency. *Göttinger Agrarwissenschaftliche Beiträge*. Band 10.
24. SCHRÖDER, J.; BANNINK, A.; KOHN, R., 2005: Improving the Efficiency of Nutrient Use on Cattle Operations. In: *Nitrogen and Phosphorus Nutrition of Cattle*, Herausgeber: PFEFFER, E.; HRISTOV, N., CABJ Publishing, Oxfordshire, 255–280 [Nach Angaben von Bannink (schriftliche Bestätigung vom 3. März 2015) enthält die Schätzgleichung zur N-Aufnahme einen Tippfehler. Der Operator für die Variable Milchmenge muss, wie in den anderen beiden Schätzgleichungen, ein Minuszeichen sein.]
25. SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen), 2015: Sondergutachten "Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem". ► [http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02\\_Sondergutachten/2012\\_2016/2015\\_01\\_SG\\_Stickstoff\\_HD.html](http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.html), aufgerufen am 18. März 2015.

26. STEIN-BACHINGER, K.; BACHINGER, J.; SCHMITT, L., 2004: Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau – Ein Handbuch für Beratung und Praxis. KTBL-Schrift 423, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt.
27. TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft), 2009: Anlage 4, Aggregierte Schlagbilanz für Stickstoff und  $N_{\min}$ -Werte für KULAP W1. ► <http://www.tll.de/ainfo/pdf/anlage4-w1.pdf>, aufgerufen am 28. August 2015.
28. UBA (Umweltbundesamt), 2015: Kartendienst Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff – Bezugsjahr 2009. ► <http://gis.uba.de/website/depo1/>, aufgerufen am 17. Februar 2015.
29. VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 2007: Standpunkt "Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb" – VDLUFA Fachgruppe I Pflanzenernährung, Produktqualität und Ressourcenschutz. ► <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/10-Naehrstoffbilanzierung.pdf>, aufgerufen am 4. September 2015.
30. WBA (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik beim Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft), 2015: Gutachten "Wege zu einer gesellschaftlich akzeptierten Nutztierhaltung". ► [http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/\\_Texte/AgrBeirGutachtenNutztierhaltung.html](http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/_Texte/AgrBeirGutachtenNutztierhaltung.html), aufgerufen am 16. September 2015.

## Danksagung

Die vorliegenden Auswertungen wurden als Teil des Projekts Nährstoffeffizienz (Projektlangtitel: Tool zur systemischen Erfassung und Optimierung der Nährstoffeffizienz in der Milchviehhaltung, Förderkennzeichen: 2817401411) durchgeführt. Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Industriepartner im Projekt war die Softwarefirma dsp-Agrosoft GmbH, bei der sich die Autoren für die Vermittlung der Kontakte zu den Praxisbetrieben sowie dem Zugang zur kompletten Softwarepalette der Firma bedanken. Während des Projekts erhielten die Autoren auch dankenswerterweise kostenfreien Zugang zu Softwareprodukten der Firmen LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG und CLAAS KGaA mbH. Einen besonderen Dank möchten die Autoren auch den 36 Praxisbetrieben aussprechen, die ihre Betriebsdaten für die vorliegenden Auswertungen zur Verfügung gestellt haben.

## Autorenanschrift

Dr. Andrea Machmüller  
Prof. Dr. Albert Sundrum  
Universität Kassel  
Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften  
Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit  
Nordbahnhofstr. 1a  
37213 Witzenhausen

Email:

- [andreamachmueller@yahoo.de](mailto:andreamachmueller@yahoo.de)
- [sundrum@uni-kassel.de](mailto:sundrum@uni-kassel.de)