

Betriebliche Stickstoffüberschüsse erst durch systemische Analyse zielführend absenkbar

Andrea Machmüller und Albert Sundrum*

Zusammenfassung

Als einer der Hauptemittenten reaktiver Stickstoff-(N)-Verbindungen ist auch die Landwirtschaft gefordert, ihre Produktionssysteme zu optimieren. Mit der vorliegenden Untersuchung sollte der Aussagegehalt von Bilanzierungen und der potenzielle Nutzen einer systemischen Betriebsdatenanalyse als Instrument zur Steuerung der N-Flüsse auf landwirtschaftlichen Betrieben ermittelt werden. Dazu wurden Daten von 16 Milchviehhaltenden Betrieben gesammelt und über eine hierarchische Strukturierung von betrieblichen Sub-Systemen ausgewertet. Zur Beschreibung des Gesamtsystems „landwirtschaftlicher Betrieb“ wurden vier voneinander abgrenzbare Sub-Systeme („Erntegut-/Futterlager“, „Tierbestand“, „Düngerlager“ und „Nutzflächen“) sowie vier System-Ebenen definiert. Die 1. und 2. System-Ebene stellen übergeordnete Kontextebenen dar. Durch das Zusammenführen aller betrieblichen N-Flüsse in der 2. System-Ebene konnte die Plausibilität der Daten überprüft werden. Die 3. und 4. System-Ebenen repräsentieren die Handlungsebenen der Betriebe. Anhand der Auswertungen konnte gezeigt werden, dass betriebliche N-Überschüsse sowie Optimierungspotenziale zur Reduzierung der N-Zufuhr vollumfänglich erst über eine Bilanzierung auf der 3. und 4. System-Ebene erkennbar sind. Zusätzlich wurde abgeschätzt, in welchem Ausmaß sich durch eine bedarfsangepasste Fütterung und Düngung die auf der 1. System-Ebene kalkulierten betrieblichen N-Überschüsse verringern sowie die N-Effizienz steigern ließen. Es wird geschlussfolgert, dass die systemische Analyse leicht zugänglicher Betriebsdaten als Instrument für die landwirtschaftliche Praxis belastbare Ergebnisse liefert, um über eine bessere Beurteilung der betrieblichen Nährstoffflüsse die Nährstoffeffizienz zu verbessern und die N-Austräge in die Umwelt zu minimieren.

Schlüsselworte: Stickstoff, N-Bilanz, N-Überschuss, N-Effizienz, systemischer Ansatz, Einsparpotenzial

Abstract

Farm nitrogen surpluses need systemic analysis to be lowered expediently

As one of the main emitters of reactive nitrogen-(N)-compounds, agricultural farms are called for to optimize their production systems. With the present investigation the prediction of balances and the potential benefit of a systemic analysis of farm process data as a tool to manage the N-flows on farms should be examined. For this purpose data of 16 dairy farms were collected and analysed using a hierarchical structuring of farm operational sub-systems. To describe the system “farm” four definable sub-systems (“crop/feed storage”, “livestock”, “fertilizer storage” and “farmland”) and four system levels were specified. The 1st and 2nd system level are overarching context levels. Through the merging of all farm N-flows at the 2nd system level the plausibility of the data could be checked. The 3rd and 4th system level represent the farm activity levels. On the basis of the analysis it could be shown that farm N-surpluses as well as optimization potentials for reducing the N-input are fully perceptible only through balances at the 3rd and 4th system level. In addition, for the 1st system level it was estimated to what extent a feeding and fertilization adjusted to the requirements would reduce the farm N-surpluses as well as improve the N-efficiency. It is concluded that as a tool for the agricultural practice the systemic analysis of easily accessible farm data will provide resilient results to increase the nutrient efficiency and minimize possible N-releases in the environment through a better evaluation of the farm nutrient flows.

Keywords: Nitrogen, N-balance, N-surplus, N-efficiency, systemic approach, saving potential

* Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Tierernährung und Tiergesundheit, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

1 Einleitung

In der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Bundesregierung, 2002) wurde der N-Überschuss als wichtiger Gradmesser für die Nachhaltigkeit der Landwirtschaft identifiziert und das Ziel gesetzt, den N-Überschuss in der Gesamtbilanz der deutschen Landwirtschaft bis 2010 auf 80 kg N/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche zu verringern. Nach heutigem Stand der Dinge wurde dieses Ziel nicht erreicht. Nach Angaben des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL, 2014a) ergab sich für 2010 in der Gegenüberstellung der N-Zufuhr und N-Abfuhr der deutschen Landwirtschaft (Nährstoffbilanz) ein N-Saldo bzw. N-Überschuss von 93,7 kg N/ha landwirtschaftlich genutzter Fläche. Der aktuellste vom BMEL veröffentlichte Wert wird für das Jahr 2012 ausgegeben und beläuft sich auf 98,4 kg N/ha.

Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) zeigt in seinem aktuellen Sondergutachten „Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem“ auf (SRU, 2015), dass im Jahr 2012 in Deutschland 94 % der Ammoniakemission und 77 % 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 % die größte Emissionsquelle darstellt. In Bezug auf die N-Einträge in Oberflächengewässer ist die Landwirtschaft in Deutschland mit einem Anteil von 79 % ebenfalls der Hauptverursacher (SRU, 2015) und ebenso hauptverantwortlich für die hohen Nitratkonzentrationen im oberflächennahen Grundwasser (BMU und BMELV, 2012). Auch im 7. Umweltaktionsprogramm der Europäischen Union (EU, 2014) wird darauf hingewiesen, dass der N-Kreislauf nachhaltiger und ressourceneffizienter gelenkt werden muss. Im Sinne des anvisierten Übergangs zu einer ressourceneffizienten und umweltschonenden Wirtschaftsweise in der Europäischen Union entsteht auch eine Verpflichtung der Landwirtschaft zur Minderung der N-Überschüsse sowie der damit verbundenen Verluste. Dies entspricht auch den Grundsätzen der europäischen Umweltpolitik (Art. 191 AEUV), die auf Vorsorge und Vorbeugung beruhen und dem Verursacher- und Ursprungsprinzip folgen (AEUV, 2012). Neben dem dringenden Handlungsbedarf im Bereich der Landwirtschaft sieht der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2015) dort aber auch ein erhebliches N-Minderungspotenzial und fordert vom landwirtschaftlichen Produzenten:

- (a) eine Erhöhung der „Effizienz“ durch Absenkung der N-Zufuhr; sowie
- (b) eine Verbesserung der „Konsistenz“ entsprechend einer nachhaltigen Bewirtschaftung durch Förderung der betrieblichen N-Kreislaufwirtschaft.

Der vorliegenden Untersuchung liegt die Hypothese zugrunde, dass der Verlust erheblicher Nährstoffmengen aus landwirtschaftlichen Betriebssystemen, insbesondere des Stickstoffs, vor allem darin begründet ist, dass die Betriebe eine unzureichende Kenntnis über die Nährstoffflüsse in ihren Betrieben besitzen. Durch diese unzureichende Kenntnis kommt es in der Folge zu keiner ausreichenden Abstimmung der Nährstoffflüsse zwischen den verschiedenen

Bereichen des landwirtschaftlichen Betriebes sowie zu keiner zielführenden Steuerung der Nährstoffflüsse. Um dies zu ermöglichen, ist es erforderlich, der landwirtschaftlichen Praxis entsprechende Instrumente zur Verfügung zu stellen, welche das Betriebsmanagement mit einer guten Aufwand-Nutzen-Relation darin unterstützen, sich einen Überblick über die betriebliche Nährstoffsituation zu verschaffen und dies insbesondere in Hinblick auf den betrieblichen N-Umsatz. Betriebliche N-Bilanzierungen können auf verschiedenen Betriebsebenen und unter Berücksichtigung unterschiedlicher Bilanzierungsglieder durchgeführt werden (Oenema et al., 2003; Baumgärtel et al., 2007). Mit der vorliegenden Untersuchung sollte festgestellt werden, inwieweit ein systemischer Ansatz, der das Gesamtsystem „landwirtschaftlicher Betrieb“ und seine Teilbereiche gleichzeitig betrachtet und bilanziert, in dieser Hinsicht zielführend ist.

Derzeit zeigt sich auch, dass das Datenvolumen über den einzelnen landwirtschaftlichen Betrieb, das digital gespeichert ist, immer mehr zunimmt (Digitalisierung der Landwirtschaft). Zum einen entstehen die Daten auf dem Betrieb (intern) durch den Einsatz unterschiedlicher, datenerzeugender Technologien und Softwareprogramme. Zum anderen werden auch außerhalb des Betriebes (extern) Betriebsdaten gesammelt und gespeichert. Allerdings unterscheiden sich landwirtschaftliche Betriebe substantiell hinsichtlich der über sie verfügbaren digitalen Datenquellen sowie hinsichtlich des Umfangs und der Güte der Daten. Insbesondere intern gesammelte Daten sind betriebsindividuell sehr verschieden, d. h. in Umfang und Nutzen in erster Linie davon abhängig, welche Technologien und Softwareprogramme auf den Betrieben eingesetzt und in welcher Detailliertheit sie genutzt werden. Unbestreitbar hat jedoch „Big Data“ auch die Landwirtschaft erreicht. Nun heißt es, wie vom Bundeslandwirtschaftsminister Schmidt (Schmidt, 2015) sinngemäß formuliert „das Potenzial dieser umfangreichen, digitalen Datenmengen sinnvoll zu nutzen“. Chancen sieht der Bundesminister in diesem Zusammenhang vor allem auch für ein besseres Betriebsmanagement und eine effizientere Nutzung landwirtschaftlicher Ressourcen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, betriebliche Daten, insbesondere die auf den Betrieben bereits vorhandenen digitalen Daten, zusammenzuführen, um die N-Mengenflüsse landwirtschaftlicher Betriebe mit hinreichender Detailtiefe abzubilden und anschließend Berechnungen durchzuführen, die relevante betriebliche Optimierungspotenziale sichtbar machen. Solch eine Zusammenführung von Daten kann auf unterschiedlichen Wegen erfolgen:

- (1) alle für die N-Mengenflüsse relevanten, auf dem Betrieb vorhandenen Technologien und Softwareprogramme werden untereinander vernetzt und kommunizieren miteinander;
- (2) es wird ein neues Softwareprogramm entwickelt, das relevante Daten kontinuierlich über Schnittstellen aus den auf dem Betrieb vorhandenen Technologien und Softwareprogrammen verrechnet.

Eine systemische Datenanalyse, die das Ganze als ein hierarchisches System von untereinander im Zusammenhang stehender Teilbereiche betrachtet, ist nur mit dem zweiten

Ansatz vollumfänglich zu erreichen. Um zu einer ersten Einschätzung zu gelangen und den möglichen Nutzen der systemischen Datenanalyse in Bezug auf die N-Bilanzierung erkennbar zu machen, wurden in der vorliegenden Untersuchung Daten aus dem Jahr 2012 von 16 milchviehhaltenden Praxisbetrieben händisch mit klassischen Methoden der Datenverarbeitung analysiert.

2 Material und Methoden

In Bezug auf die N-Bilanzierung landwirtschaftlicher Betriebe mit Nutztierhaltung ist eine Aufteilung in Stall- und Flächenbilanz ein in Deutschland gängiges Verfahren (Bach und Frede, 2005; Baumgärtel et al., 2007). Um einen realitätsnahen Überblick über die betrieblichen N-Mengenflüsse auf milchviehhaltenden Betrieben zu erlangen und konkrete Ansatzpunkte für betriebliche Optimierungspotenziale aufzuzeigen, erfolgte eine hierarchische Strukturierung der Betriebe in Anlehnung an das „Vier-Kompartimenten-Nährstoff-Managementmodell“ von Kohn et al. (1997). Abbildung 1 gibt die verwendete Strukturierung der Betriebe wieder. Der landwirtschaftliche Betrieb mit Nutztierhaltung kann in einer vertikalen Anordnung von vier System-Ebenen dargestellt werden. Auf der obersten (ersten) System-Ebene ist der gesamte landwirtschaftliche Betrieb zusammengefasst; diese System-Ebene entspricht der Ebene des Hoftors (Baumgärtel et al., 2007). Auf der zweiten System-Ebene können entsprechend der konzeptionellen Überlegungen von Kohn et al. (1997), vier horizontal voneinander abgrenzbare Sub-Systeme beschrieben werden:

- (1) Erntegut-/Futterlager;
- (2) Tierbestand;
- (3) Düngelager; und
- (4) Nutzflächen.

Die dritte und vierte System-Ebene können betriebsindividuell erheblich variieren. Jeder Betrieb besitzt eine unterschiedliche Anzahl von Erntegut-/Futterlagern und Düngelagern, die wiederum eine betriebsindividuelle Ausgestaltung aufweisen. Auch die weitere Aufgliederung des Tierbestandes in Tiergruppen sowie der Anbau von unterschiedlichen Kulturen auf den vorhandenen Nutzflächen sind in der Regel betriebspezifisch. Auf der untersten (vierten) System-Ebene sind die einzelnen Lager, die einzelnen Tiere und die einzelnen Schläge verortet.

Alle Bausteine dieses hierarchischen Systems haben eine quantifizierbare N-Zufuhr und N-Abfuhr. Die vier Sub-Systeme sind durch den innerbetrieblichen N-Umsatz miteinander verbunden (Abbildung 2). Die N-Abfuhr eines Sub-Systems ist gleichzeitig die N-Zufuhr des daran anschließenden Sub-Systems. In ihrer Gesamtheit bilden die vier Sub-Systeme den Kreislauf des Stickstoffs auf dem Betrieb ab und ermöglichen dadurch auch die Plausibilisierung der betrieblichen N-Mengenflüsse.

Der Abbildung 2 ist ferner zu entnehmen, welche möglichen digitalen Datenquellen auf den Betrieben für die Mengenflüsse von N-Zufuhr und N-Abfuhr bzw. deren Berechnung genutzt werden können. Digitale Datenquellen können u. a. folgende softwarebasierte Systeme sein: Herdenmanager, Futterrationsplaner, Ackerschlagkartei, Düngeverordnung (Software zur Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung) und Buchhaltungsprogramm. Softwareprogramme für den Bereich des Herdenmanagements beinhalten umfassende Betriebsdaten zum Tierbestand, zum Tierwechsel und zur Milchproduktion und dies von der zweiten bis zur vierten System-Ebene. Eine Futterrationsplanung mit Kopplung zum Futtermischwagen liefert in Bezug auf das Sub-System Tierbestand Informationen zur N-Zufuhr (Futter) und N-Abfuhr (Futterreste). Eine digitale Ackerschlagkartei enthält umfassende

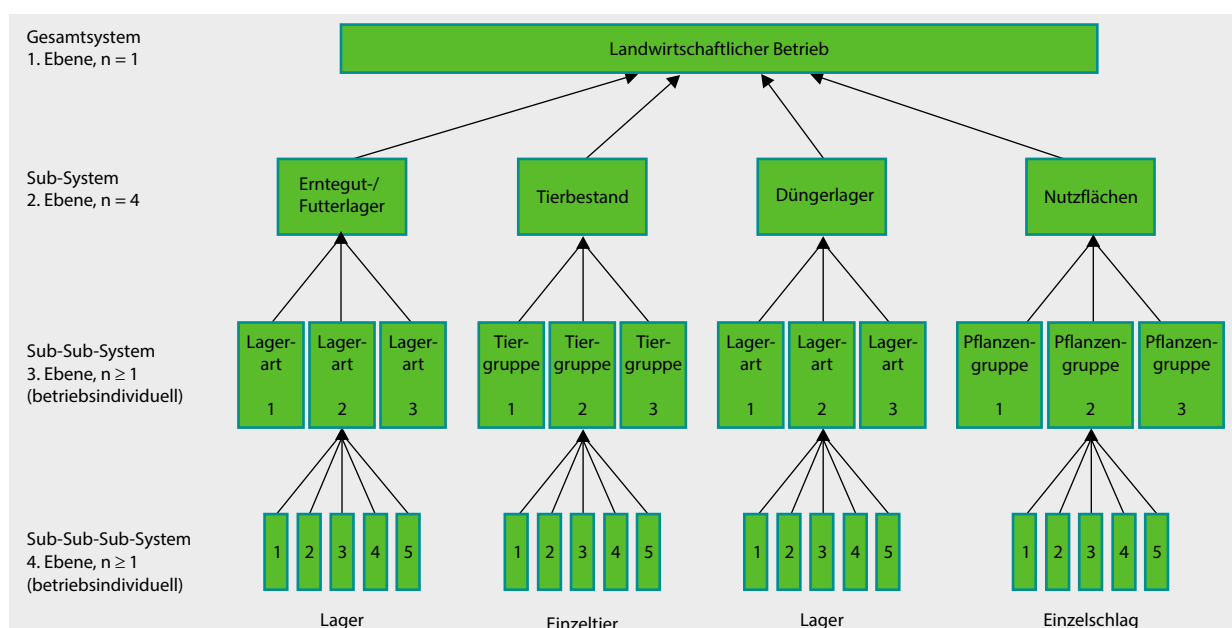


Abbildung 1

Hierarchische Struktur von Sub-Systemen in einem landwirtschaftlichen Betrieb mit Nutztierhaltung

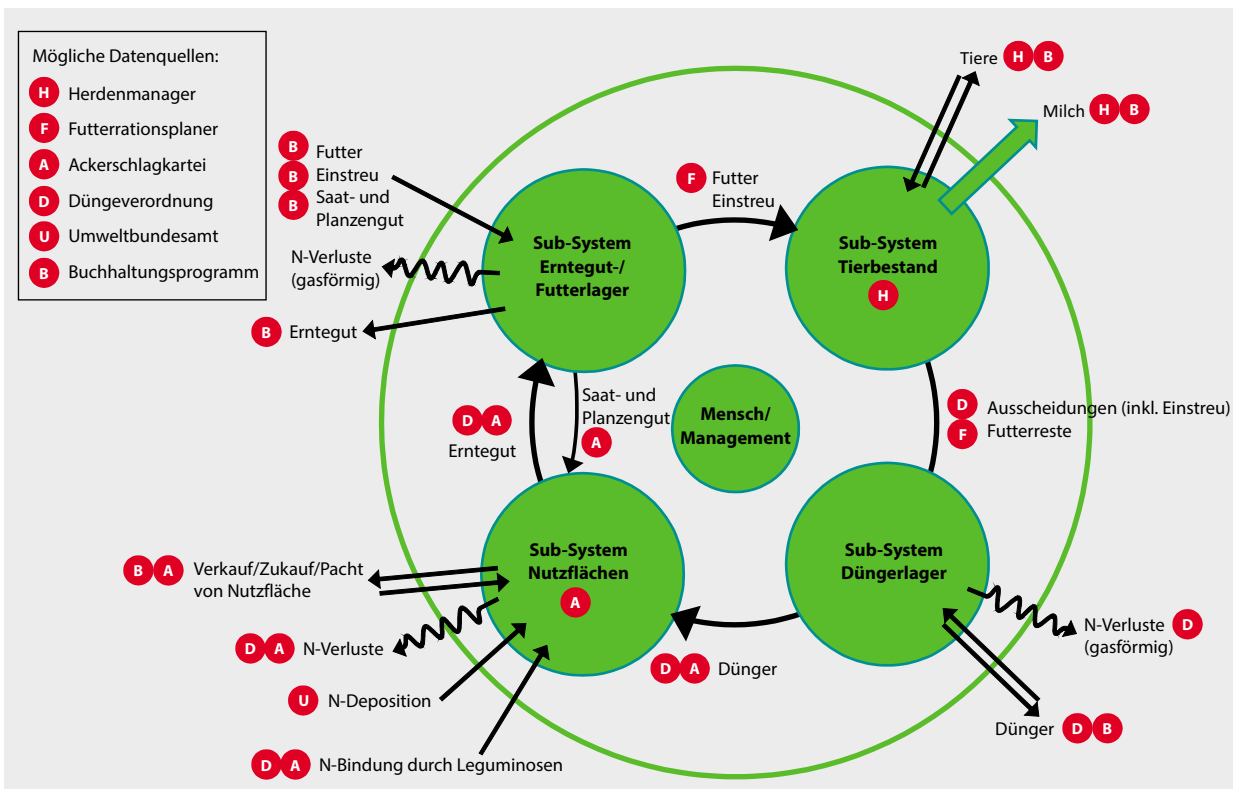


Abbildung 2

Stickstoffflüsse auf einem milchviehhaltenden Betrieb (1. und 2. System-Ebene) und mögliche Datenquellen

Informationen im Bereich der betrieblichen Pflanzenproduktion und somit detaillierte Betriebsdaten für das Sub-System „Nutzflächen“. Durch die Nutzung von Softwareprogrammen, mit denen der betriebliche Nährstoffvergleich gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007) erstellt werden kann, können verschiedene N-Mengen abgeschätzt werden:

- (1) die vom betrieblichen Tierbestand ausgeschiedenen N-Mengen;
- (2) die möglichen N-Verluste während einer Weidehaltung und während der Lagerung und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (Gülle, Festmist und Jauche) sowie anderen organischen Düngern;
- (3) die auf die Nutzflächen ausgebrachten N-Mengen an organischen und mineralischen Düngern;
- (4) die N-Bindung über angebaute Leguminosen; und
- (5) die von den Nutzflächen abgefahrenen N-Mengen mit dem geernteten Pflanzenmaterial.

Die betriebliche Buchhaltung enthält ferner alle Daten über N-Mengen, die zugekauft oder verkauft wurden. Über die Internetseite des Umweltbundesamtes sind Schätzwerte zur N-Deposition jeder Fläche Deutschlands online abrufbar (UBA, 2015). Da die Abschätzungen zur regionalen Gesamtdosition (Summe des N-Eintrages über trockene, nasse und feuchte Deposition), eine umfangreiche Datenaufbereitung und -modellierung erfordert, stehen die Daten für ein Bezugsjahr erst drei bis fünf Jahre später zur Verfügung (UBA, 2015; Erläuterungen zu den Daten, Stand: 3.2.2015).

Alle 16 milchviehhaltenden Betriebe, die der vorliegenden Untersuchung zugrunde lagen, verwendeten 2012 (Jahr

der Datenerhebung) für das Herdenmanagement das Softwareprogramm „Herde“ von dsp-Agrosoft GmbH (Paretz, Parkring 3, 14669 Ketzin). Sieben der 16 Betriebe verwendeten ebenfalls den Futterrationsplaner „Futter-R“ von dsp-Agrosoft GmbH. Eine digitale Ackerschlagkartei nutzten insgesamt 12 Betriebe, sechs Betriebe „AgroWIN“ und zwei Betriebe „AO5.0“, beides Ackerschlagkarteien von LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG (Rennbahnstr. 7, 84347 Pfarrkirchen) sowie vier Betriebe „Agrocom net“ von Claas KGaA mbH (Münsterstr. 33, 33428 Harsewinkel). Datensicherungen der entsprechenden Programme wurden von den Betrieben für die Auswertung zur Verfügung gestellt. Daten, die der Untersuchung digital nicht zur Verfügung standen bzw. digital auf den Betrieben nicht vorhanden waren, wurden erfragt. Um die betriebliche Datenlage für das Erhebungsjahr 2012 zu komplettieren und Rückfragen zu klären, wurden die Betriebe im Verlauf des Jahres 2013 insgesamt dreimal besucht.

Von allen Betrieben lagen Ausdrücke der betrieblichen Nährstoffvergleiche gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007) mit den dazugehörigen Rohdaten vor. Für die eigenen einheitlichen Verrechnungen zum betrieblichen Nährstoffvergleich bzw. Abschätzungen der betrieblichen N-Zufuhr- und N-Abfuhr-Mengen gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007), wurde die Software „AODüngeverordnung“ genutzt. AODüngeverordnung ist ein Teil von AOAgar-Office und somit ebenfalls ein Softwareprodukt der LAND-DATA Eurosoft GmbH & Co. KG. Für die vorliegenden Auswertungen wurde die Programmversion 1.13.12.926 mit dem Module Stand

vom 15.4.2013 verwendet. Zur besseren Vergleichbarkeit der Betriebe wurden die Rohdaten (Tierbestand, Zukauf/Verkauf bzw. Aufnahme/Abgabe Dünger, Anbau und Ernteguterträge) aller Betriebe im Programm AODüngeverordnung nach den länderspezifischen Vorgaben nur eines Bundeslandes ausgewertet (Baden-Württemberg).

Das grundsätzliche Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Darstellung der N-Mengenflüsse milchviehhaltender Betriebe über ein Jahr sowie die Gegenüberstellung der ermittelten N-Mengen in Form von Bilanzierungen. Nachfolgend sind die verwendeten Datenherkünfte zur Ermittlung der einzelnen Positionen der N-Zufuhr, N-Abfuhr und N-Verluste für die untersuchten System-Ebenen zusammengestellt:

Datenherkünfte für 1. System-Ebene (HofTOR):

- (1) aus betrieblicher Buchhaltung für N-Zufuhr über Futter und N-Abfuhr über Erntegut unter Verwendung eines Faktors von 6,25 zur Umrechnung von pflanzlichen Proteinmengen in N-Mengen;
- (2) wenn vorhanden aus Ackerschlagkartei ansonsten Abschätzungen über Rohdaten des betrieblichen Nährstoffvergleichs unter Verwendung der Software „AODüngeverordnung“ für N-Zufuhr über mineralischen und organischen Dünger sowie N-Zufuhr über N-Bindung und für N-Abfuhr über organischen Dünger;
- (3) über die Internetseite des Umweltbundesamtes „Kartendienst Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff – Bezugsjahr 2009“ (UBA, 2015) zur Abschätzung der N-Zufuhr über N-Deposition (angewählte Landnutzungsklasse „Ackerland“);
- (4) aus Herdenmanagementsoftware „Herde“ für gesamte N-Zufuhr über Tierzukaufe bzw. -zugänge und für gesamte N-Abfuhr über Tierverkäufe sowie über sonstige Tierabgänge inklusive Tierverluste unter Verwendung einer Kalkulationsgröße von 3,2 kg N/100 kg Lebendmasse für Kälber bis zum Alter von 4 Monaten und 2,56 kg N/100 kg Lebendmasse für alle anderen Tiere (Stein-Bachinger et al., 2004); und
- (5) aus monatlichen Molkereiabrechnungen für N-Abfuhr über Milch unter Verwendung eines Faktors von 6,38 zur Umrechnung von Milchproteinmenge auf Milch-N-Menge.

Bei den Abschätzungen zu den über das HofTOR zugeführten und abgeführten N-Mengen wurde nur beim Dünger durch die Verwendung der Verbrauchszahlen eine mögliche Bestandsveränderung berücksichtigt.

Datenherkünfte für 2. System-Ebene, Sub-System „Erntegut-/Futterlager“:

- (1) aus Sub-System „Nutzflächen“ für N-Zufuhr über Erntegut;
- (2) aus 1. System-Ebene für N-Zufuhr über Futterzukauf und N-Abfuhr über Erntegutverkauf;
- (3) wenn vorhanden betriebliche Futterverbrauchsdaten für N-Abfuhr zur Fütterung des Tierbestands ansonsten Abschätzung über den Durchschnittstier-

bestand aus dem Herdenmanagementsoftware „Herde“ unter Verwendung der Schätzgleichung von Schröder et al. (2005) für N-Abfuhr zur Fütterung der Milchkühe und unter Verwendung von Faustzahlen (DLG, 2005) für N-Abfuhr zur Fütterung aller anderen Tiere; und

- (4) aus Stofftagebuch der betrieblichen Biogasanlage für N-Abfuhr zur Versorgung der Biogasanlage, falls eine betriebliche Biogasanlage vorhanden war.

Datenherkünfte für 2. System-Ebene, Sub-System „Tierbestand“:

- (1) aus Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ für N-Zufuhr über Futter;
- (2) aus 1. System-Ebene für gesamte N-Zufuhr über Tiere, gesamte N-Abfuhr über Tiere und N-Abfuhr über Milch; und
- (3) Abschätzung über den Durchschnittstierbestand aus Herdenmanagementsoftware „Herde“ unter Verwendung der Schätzgleichung von Schröder et al. (2005) für N-Abfuhr über Ausscheidungen der Milchkühe und für die N-Ausscheidungen aller anderen Tiere unter Verwendung der Software „AODüngeverordnung“.

Datenherkünfte für 2. System-Ebene, Sub-System „Düngerlager“:

- (1) aus Sub-System „Tierbestand“ für N-Zufuhr über betriebseigenen, organischen Dünger (Ausscheidungen des Tierbestandes);
- (2) aus 1. System-Ebene für N-Zufuhr über mineralischen und organischen Dünger und N-Abfuhr über organischen Dünger;
- (3) Abschätzungen unter Verwendung der Software „AODüngeverordnung“ für gasförmige N-Verluste bei Lagerung von organischem Dünger (entspricht den Stall- und Lagerungsverlusten gemäß DÜV (2007), d. h. ohne Differenzierung in Bezug auf die Ausgestaltung der betrieblichen Lager); und
- (4) Berechnung aus „Summe der N-Zufuhr“ minus „N-Abfuhr durch Verkauf bzw. Abgabe“ minus „N-Verluste bei Lagerung von organischem Dünger“ für „N-Abfuhr Dünger“.

Zehn der untersuchten Betriebe besaßen selbst eine Biogasanlage oder kooperierten mit einem entsprechenden Betrieb. Auf fünf der zehn Betriebe war die Biogasanlage im Betrieb integriert. Bei diesen Betrieben wurde die Biogasanlage bilanzmäßig im Sub-System „Düngerlager“ angesiedelt. Bei den übrigen fünf Betrieben befand sich die Biogasanlage auf einem anderen Betrieb. In diesen Fällen wurde die N-Zufuhr zur Biogasanlage und gegebenenfalls die N-Rückführung in Form von organischem Dünger über den betrieblichen N-Außenumsatz in der Bilanzierung berücksichtigt. Gasförmige N-Verluste aus der Lagerung von Biogasgülle wurden für die betreffenden Betriebe mit pauschal 15 % berücksichtigt.

Datenherkünfte für 2. und 4. System-Ebene, Sub-System „Nutzflächen“:

- (1) aus Sub-System „Düngerlager“ für N-Zufuhr Dünger;
- (2) wenn vorhanden für N-Zufuhr als mineralisierter und pflanzenverfügbarer N aus dem Boden (N_{min}) zu Beginn der Vegetationsperiode nach betrieblichen Bodenprobenanalysen, ansonsten gemäß DüV (2007) nach Angaben der nach Landesrecht für die landwirtschaftliche Beratung der Betriebe zuständigen Stelle für das Erhebungsjahr 2012;
- (3) aus 1. System-Ebene für N-Zufuhr über N-Deposition und N-Bindung;
- (4) Abschätzungen unter Verwendung der Software „AODüngeverordnung“ für gasförmige N-Verluste bei Ausbringung von organischem Dünger und Weidehaltung (gemäß DüV, 2007) sowie nachfolgender Berücksichtigung eventueller betriebsindividuell eingesetzter, emissionsmindernder Ausbringungstechniken für den Flüssigmist durch Anwendung von Faustzahlen für die Emissionsminderung entsprechen der Minderungstechnik gemäß Döhler et al. (2002); und
- (5) wenn vorhanden für N-Abfuhr über Erntegut aus Ackerschlagkartei ansonsten Abschätzungen über Rohdaten des betrieblichen Nährstoffvergleichs unter Verwendung der Software „AODüngeverordnung“.

Für die Berechnungen in der 4. System-Ebene (Einzel-schlagebene, Abbildung 5) bildeten die Daten aus der Ackerschlagkartei des ausgewählten Betriebes die Datenbasis. Der ausgewählte Betrieb bot sich an, da er seine Ackerschlagkartei lückenlos führte und die in der Ackerschlagkartei angegebenen Daten in Übereinstimmung mit dem vom Betrieb vorgelegten Nährstoffvergleich gemäß DüV (2007) standen.

Datenherkünfte für 3. und 4. System-Ebene, Tiergruppe „laktierende Milchkühe“:

Der N-Bedarf der laktierenden Kühe wurde durch Anwendung einer Regressionsgleichung (GfE, 2001) abgeschätzt, die unter der Annahme einer durchschnittlichen Lebendmasse von 650 kg pro Tier den Bedarf an nutzbarem Rohprotein für Erhaltung und Leistung über die Milchleistung und den Milchproteingehalt der Tiere berechnet. Die N-Aufnahme der Tiere und die N-Ausscheidung über Kot und Harn wurden durch Anwendung der Regressionsgleichungen von Schröder et al. (2005) ermittelt, welche auf der Milchleistung, dem Milchprotein- und dem Milhharnstoffgehalt der Tiere basieren. Die N-Menge der von den Tieren erzeugten Milch beruhte für die 3. System-Ebene auf den monatlichen Molke-reiabrechnungen in Ergänzung einer Abschätzung der Milchmenge, die auf dem Betrieb verblieben war. Bei der Abschätzung der auf dem Betrieb verbliebenen Milchmenge wurde nach Angaben der Betriebe der Eigenverbrauch der Betriebe berücksichtigt, die Kolostralmilchmenge über die Anzahl der Kalbungen (Daten aus Herdenmanagementsoftware „Herde“) sowie die Hemmstoffmilchmenge über die Anzahl der gesperrten Tiere (Daten aus Herdenmanagementsoftware „Herde“). Für die Erstellung der Abbildung 3 wurden die

N-Verluste während der Lagerung von Kot und Harn durch Anwendung der Regressionsgleichung von Burgos et al. (2010) abgeschätzt, der eine enge Beziehung zwischen der Ammoniakemission der Kot- und Harn-Ausscheidungen und dem Milhharnstoffgehalt der Tiere zugrunde liegt. Für die Berechnungen auf der 4. System-Ebene (Einzeltierebene, Abbildung 4) wurden Daten der Milchleistungsprüfung (MLP) aus dem Erhebungsjahr 2012 verwendet.

Die auf den einzelnen System-Ebenen zugeführten und abgeführten N-Mengen wurden bilanziert bzw. miteinander verrechnet, um eine Beurteilung des N-Umsatzes der Betriebe durchführen zu können. Der N-Saldo bzw. N-Überschuss ist die Differenz zwischen der N-Zufuhr und der N-Abfuhr. Für einige der Sub-Systeme wurden gasförmige N-Verluste abgeschätzt. Dem Sub-System „Düngerlager“ sind die gasförmigen N-Verluste bei Lagerung von organischem Dünger gemäß DüV (2007) zugeordnet. Durch Verwendung der Düngerverbrauchszahlen bei der Ermittlung der Zufuhr und Abfuhr von N in diesem Sub-System, entspricht der Brutto-N-Saldo des Sub-System „Düngerlager“ den abgeschätzten N-Verlusten. Dem Sub-System „Nutzflächen“ sind die gasförmigen N-Verluste bei Ausbringung von organischem Dünger und Weidehaltung gemäß DüV (2007) zugeordnet. Die Differenz zwischen Brutto-N-Saldo und Netto-N-Saldo des Sub-System „Nutzflächen“ geben Auskunft über das Ausmaß dieser N-Verluste. Im Sub-System „Nutzflächen“ wurde entsprechend der Düngebedarfsermittlung (DüV, 2007) auch der N_{min} bei der N-Zufuhr berücksichtigt. Somit entspricht der Netto-N-Saldo allen weiteren N-Verlusten außer denen der Ausbringung von organischem Dünger und Weidehaltung sowie der N-Bestandsänderung im Boden. Für das Sub-System „Tierbestand“ werden keine gasförmigen N-Verluste in Ansatz gebracht, da die sogenannten „Stallverluste“ (DüV, 2007) bei Lagerung der tierischen Ausscheidungen im Stallbereich dem Sub-System „Düngerlager“ zugeordnet sind. Der Brutto-N-Saldo im Sub-System „Tierbestand“ weist die N-Bestandsänderung im Tierbestand im betrachteten Jahr aus. Für das Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ wurden mögliche gasförmige N-Verluste in der vorliegenden Untersuchung nicht abgeschätzt. Damit enthält der N-Saldo des Sub-Systems „Erntegut-/Futterlager“ neben den Bestandsänderungen auch die möglichen gasförmigen N-Verluste. Als zweite Bewertungsgröße wurde die N-Verwertung bzw. N-Effizienz abgeschätzt. Die N-Effizienz ergibt sich als Quotient zwischen der N-Abfuhr und der N-Zufuhr. Für die Kalkulation der N-Bedarfsdeckung wurde die N-Zufuhr dem N-Bedarf gegenübergestellt. Im Sub-System „Nutzflächen“ entsprach der N-Bedarf der N-Abfuhr über das Erntegut. N-Einsparungspotenziale ergaben sich aus der Differenz zwischen der N-Zufuhr und dem N-Bedarf sowie aus der Reduzierung der N-Verluste. Alle Tabellen und Abbildungen wurden mit Excel (Microsoft Excel 2010) erstellt.

Nicht alle in Abbildung 2 aufgeführten N-Zu- und -Abfuhr fanden bei der dargestellten Jahresbilanzierung Berücksichtigung. So wurde der Zukauf von Saat- und Pflanzgut nicht einbezogen, da nicht von allen Betrieben Daten vorlagen und sich bei den Betrieben, bei denen Daten vorhanden waren, N-Mengen als Zufuhr in das Sub-System

„Nutzflächen“ ergaben, die im Vergleich zur abgeführten N-Menge über das Erntegut zu vernachlässigen waren. Im Durchschnitt lag die N-Menge, die sich im Saat- und Pflanzgut befand, bei 0,5 % im Vergleich zur N-Menge, die über das Erntegut von den Anbauflächen abgeführt wurde. Da kaum ein Betrieb die Futterreste seines Tierbestandes mengenmäßig dokumentierte (nur zwei der 16 Betriebe), wurden diese N-Mengen im Innenumsatz der 16 untersuchten Betriebe ebenfalls nicht berücksichtigt (N-Abfuhr Sub-System „Tierbestand“). Die N-Zufuhr über Strohkauf wurde berücksichtigt. Für den N-Innenumsatz gab es bei den 16 Betrieben aber nur Informationen über die mengenmäßige Verwendung des Strohs als Futterkomponente, so dass die N-Mengenflüsse über die Verwendung des Strohs als Einstreu (N-Abfuhr Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ und N-Zufuhr Sub-System „Tierbestand“) bei der Jahresbilanzierung in der vorliegenden Auswertung keine Berücksichtigung fanden. Von den Betrieben lagen keine Lagerinventurdaten über die Sub-Systeme „Erntegut-/Futterlager“ und „Düngerlager“ vor.

3 Ergebnisse

Die der vorliegenden Untersuchung zugrundeliegenden Daten stammen von 16 milchviehhaltenden Betrieben. Im Bezugsjahr 2012 verfügten diese Betriebe im Durchschnitt über 409 ± 345 Milchkühe (Mittelwert \pm Standardabweichung; Min-Max 69-1.119 Milchkühe) und 800 ± 775 ha landwirtschaftliche Nutzflächen (Min-Max 61-2.612 ha). Der durchschnittliche Viehbesatz belief sich auf $1,23 \pm 0,55$ GV/ha (Min-Max 0,28-2,34 GV/ha, GV = Großvieheinheit). Umgerechnet in Dungeinheiten (DE) ergeben sich Werte von $0,86 \pm 0,39$ DE/ha (Min-Max 0,19-1,64 DE/ha) bzw. $68,7 \pm 31,0$ kg N/ha (Min-Max 15,4-130,9 kg N/ha) unter Verwendung der Umrechnungsfaktoren $1 \text{ GV} = 0,7 \text{ DE}$ und $1 \text{ DE} = 80 \text{ kg N}$ Anfall an tierischen Exkrementen.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die absoluten N-Mengenflüsse auf der 1. System-Ebene der Betriebe (Hof) für das Jahr 2012. Auf Seiten der dem Betrieb zugeführten N-Mengen wurden die N-Mengen in den zugekauften Gütern Futter, Tiere und Dünger (getrennt nach mineralischen und organischen) sowie die N-Bindung über angebaute Leguminosen und der N-Eintrag über den Eintrag aus der Atmosphäre (N-Deposition) berücksichtigt. Über alle Betriebe hinweg hatte mit 47 ± 18 % (Min-Max 2-74 %) der Zukauf an Mineraldünger den größten Anteil an der betrieblichen N-Zufuhr. Durchschnittlich 30 ± 10 % (Min-Max 9-52 %) der N-Zufuhr gelangten über den Zukauf von Futter in die Betriebe, 11 ± 16 % (Min-Max 0-51 %) über den Zukauf von organischem Dünger, 6 ± 2 % (Min-Max 3-9 %) über die N-Deposition, 6 ± 3 % (Min-Max 0-13 %) über die N-Bindung und weniger als 1 % ($0,2 \pm 0,4$ %; Min-Max 0,0-1,5 %) über den Zukauf von Tieren. In der Summe ergab sich im Durchschnitt der Betriebe eine N-Zufuhr von 264 ± 124 kg N/ha (Min-Max 137-649 kg N/ha). Dem gegenüber stand eine durchschnittliche N-Abfuhr von 139 ± 106 kg N/ha (Min-Max 54-448 kg N/ha). Bei der N-Abfuhr wurden abgeführte N-Mengen durch den Verkauf von Milch, Tieren, organischem Dünger und Erntegut berücksichtigt. Den größten Anteil an der

betrieblichen N-Abfuhr hatte mit 42 ± 32 % (Min-Max 0-87 %) der Verkauf von Erntegut. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Variation unter den 16 Betrieben sehr groß war. Bei vier der 16 Betriebe wurde sogar gar kein Erntegut verkauft. Durchschnittlich 33 ± 24 % (Min-Max 9-84 %) der N-Abfuhr verlief über den Verkauf der Milch den Betrieb, 19 ± 24 % (Min-Max 0-62 %) über den Verkauf bzw. die Abgabe von organischem Dünger und 6 ± 4 % (Min-Max 1-16 %) über den Verkauf von Tieren. Bei Gegenüberstellung der N-Zufuhr und N-Abfuhr auf der 1. System-Ebene kalkuliert sich ein gesamtbetrieblicher Brutto-N-Saldo und damit ein N-Überschuss von durchschnittlich 72.738 ± 71.802 kg N (Min-Max 11.558-258.417 kg N) bzw. 125 ± 58 kg N/ha (Min-Max 47-234 kg N/ha). In Bezug auf die gesamtbetriebliche N-Effizienz ergab sich unter Einbeziehung aller N-Abfuhrmengen eine N-Effizienz von 51 ± 18 % (Min-Max 23-84 %).

Die jährlichen N-Mengenflüsse auf der 2. System-Ebene der 16 Betriebe sind in Tabelle 2 wiedergegeben. Unterteilt in die vier Sub-Systeme „Erntegut-/Futterlager“, „Tierbestand“, „Düngerlager“ und „Nutzflächen“ sind die den jeweiligen Sub-Systemen zuzuordnenden N-Zufuhren, N-Abfuhrungen und N-Salden zusammengestellt. Der N-Saldo im Sub-System „Düngerlager“ entspricht den gasförmigen N-Verlusten über Lagerung von organischem Dünger. Im Sub-System „Nutzflächen“ wurde zusätzlich zu den N-Zufuhren von außen in den Betrieb die zu Beginn der Vegetationsperiode 2012 im Boden vorliegenden, mineralisierten N-Mengen (N_{min}) in die Bilanzierung mit aufgenommen. Die Differenz zwischen N-Saldo (brutto) und N-Saldo (netto) im Sub-System „Nutzflächen“ sind die gasförmigen N-Verluste über Ausbringung von organischem Dünger bzw. während der Weidehaltung von Tieren. Im Durchschnitt der Betriebe belief sich der N-Überschuss (Netto-N-Saldo) im Sub-System „Nutzflächen“ auf 64.567 ± 76.594 kg N (Min-Max 4.341-260.056 kg N) bzw. 77 ± 24 kg N/ha (Min-Max 40-126 kg N/ha). In Bezug auf den eingesetzten organischen Dünger ergaben sich im Durchschnitt der Betriebe N-Verluste während der Lagerung in Höhe von 13 ± 9 kg N/ha (Min-Max 0-26 kg N/ha) und N-Verluste während der Ausbringung und durch Weidehaltung in Höhe von 21 ± 17 kg N/ha (Min-Max 3-54 kg N/ha) sowie in der Summe N-Verluste in Höhe von insgesamt 34 ± 20 kg N/ha (Min-Max 5-67 kg N/ha). Summiert man die betrieblichen Brutto-N-Salden der vier Sub-Systeme (2. System-Ebene) auf, erhält man den betrieblichen Brutto-N-Saldo der 1. System-Ebene (Gesamtsystem). Bei der Summenbildung muss dann aber der N_{min} in Abzug gestellt werden, da der N_{min} auf der 1. System-Ebene nicht berücksichtigt wurde. Mit einem durchschnittlichen Anteil von 50 ± 23 % (Min-Max -8-91 %) besaß der N-Saldo aus dem Sub-System „Nutzflächen“ den größten Anteil am N-Saldo des Gesamtsystems. Die andere Hälfte verteilte sich auf die restlichen drei Sub-Systeme: „Erntegut-/Futterlager“ (21 ± 32 %, Min-Max -48-99 %); „Tierbestand“ (16 ± 21 %, Min-Max 2-88 %); und „Düngerlager“ (13 ± 11 %, Min-Max 0-48 %).

Tabelle 3 bilanziert die betrieblichen N-Mengenflüsse in der Gruppe der laktierenden Milchkühe (3. System-Ebene, Tiergruppenebene). Die N-Aufnahme der Tiere wurde dem N-Bedarf gegenübergestellt. Im Durchschnitt der Betriebe ergab sich eine N-Bedarfsdeckung der Tiere in der Größenordnung von 115 ± 7 % (Min-Max 99-127 %). Das

N-Einsparpotenzial der Betriebe ist die Differenz zwischen der N-Aufnahme und dem N-Bedarf. Für die 16 Betriebe kalkulierten sich ein durchschnittliches N-Einsparpotenzial von 8.330 ± 9.442 kg N (Min-Max -1.505-35.813 kg N) bzw. 24 ± 10 kg N/Kuh (Min-Max -2-42 kg N/Kuh). Die von den Tieren aufgenommene N-Menge verteilt sich auf die erzeugte Milchmenge, die Ausscheidungen über Kot und Harn sowie den N-Ansatz im Tier. Im Durchschnitt der untersuchten Betriebe wurden 30 ± 2 % (Min-Max 27-35 %) der von den Tieren aufgenommenen N-Mengen in der Milch wiedergefunden, 36 ± 3 % (Min-Max 32-44 %) mit dem Kot sowie 32 ± 5 % (Min-Max 19-39 %) mit dem Harn ausgeschieden und $3,3 \pm 0,5$ % (Min-Max 2,5-4,0 %) verblieben als N-Ansatz in den Kühen (N-Saldo).

Für die Gruppe der laktierenden Milchkühe (3. System-Ebene, Tiergruppenebene) wurden für die Erstellung der Abbildung 3 die N-Verluste während der Lagerung von Kot und Harn durch die Anwendung der Regressionsgleichung von Burgos et al. (2010) abgeschätzt und den Werten der N-Bedarfsdeckung gegenübergestellt. Zwischen dem kalkulierten N-Verlust und der N-Bedarfsdeckung zeigte sich ein linearer Zusammenhang ($y = 4,68x - 164,47$; $R^2 = 0,77$). Je mehr die N-Aufnahme den N-Bedarf der Tiergruppe überstieg, desto größer wurde der Anteil der N-Ausscheidungen, der während der Lagerung von Kot und Harn rechnerisch emittiert wurde. Der Wert für den Betrieb mit den höchsten N-Verlusten lag um 46 % über dem Wert des Betriebes mit den geringsten N-Verlusten.

Abbildung 4 zeigt beispielhaft für einen Betrieb und zu einem MLP-Termin des Jahres 2012 die Variabilität der N-Effizienz der Milchproduktion in Bezug zur N-Bedarfsdeckung auf Einzeltierebene (4. System-Ebene). Je näher die N-Aufnahme am eigentlichen N-Bedarf des Tieres liegt (100 % Bedarfsdeckung), desto mehr N lässt sich von der

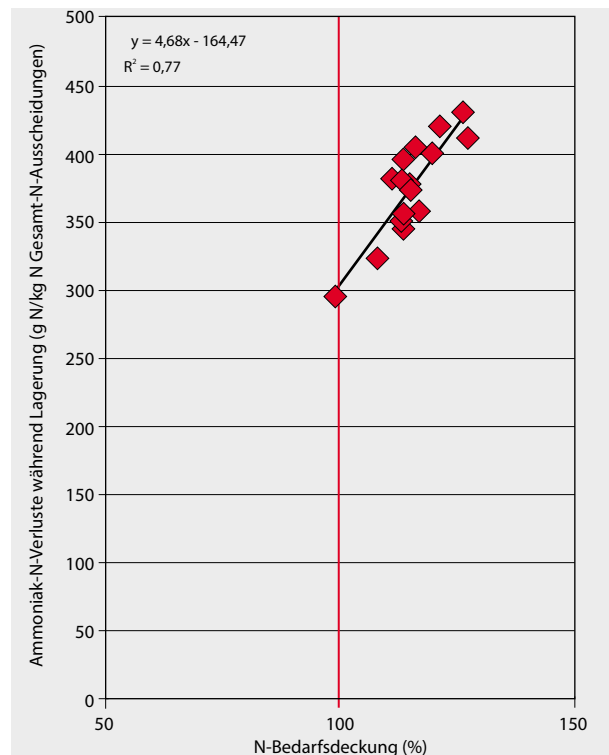


Abbildung 3

Ammoniak-N-Verluste (g N/kg N der Gesamt-N-Ausscheidungen) während Lagerung von Kot und Harn in Bezug zur N-Bedarfsdeckung auf Tiergruppenebene (3. System-Ebene, Sub-Sub-System „laktierende Milchkühe“ im Jahr 2012) der 16 Betriebe ($n = 16$) unter Verwendung nachfolgender Schätzgleichungen: N-Verluste (Burgos et al., 2010), N-Bedarfsdeckung (N-Aufnahme (Schröder et al., 2005) in Relation zum N-Bedarf (GfE, 2001))

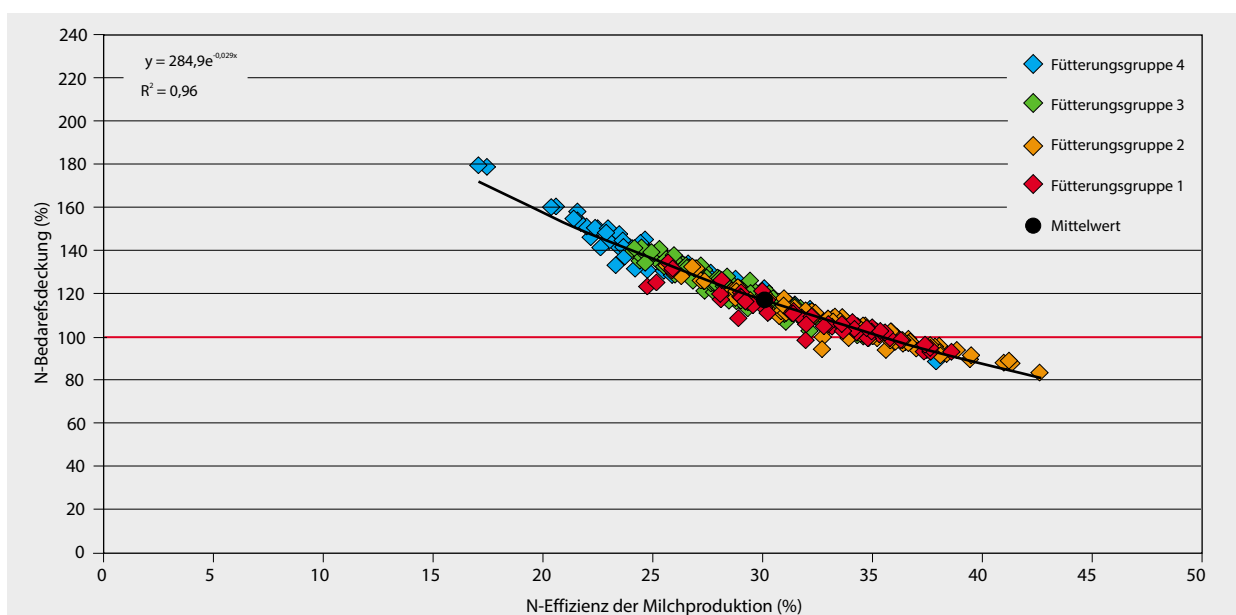


Abbildung 4

N-Effizienz der Milchproduktion in Bezug zur N-Bedarfsdeckung auf Einzeltierebene (4. System-Ebene) eines Betriebes (ein MLP-Termin des Jahres 2012, $n = 350$) unter Verwendung nachfolgender Schätzgleichungen: N-Aufnahme (Schröder et al., 2005), N-Bedarf (GfE, 2001)

Tabelle 1

N-Bilanzierung der 1. Ebene (Gesamtsystem „Landwirtschaftlicher Betrieb“) von 16 Betrieben über ein Jahr (Bezugsjahr 2012)^{1,2}

Landwirtschaftlicher Betrieb (1. Ebene, Gesamtsystem)																	
LF	Futter	N-Zufuhr				N-Abfuhr				N-Saldo, brutto							
		Mineraldünger	org. Dünger	N-Bindung	N-Deposition	Tiere	Milch	org. Dünger	Tiere		Erntegut	Summe	N-Effizienz				
ha	kg N	kg N	kg N	kg N	kg N	kg N/ha	kg N	kg N	kg N	kg N	kg N/ha	kg N	kg N	kg N/ha	%	kg N	kg N/ha
Betrieb 1	113	15.552	826	21.295	2.628	1.466	2	41.769	370	4.501	14.686	743	8.136	28.065	249	13.703	121
Betrieb 2	61	4.962	7.266	1.680	1.401	847	2	16.158	267	3.235	903	447	14	4.600	76	11.558	191
Betrieb 3	1.399	58.391	143.018	12.681	35.165	13.985	0	263.240	188	42.818	30.627	7.305	116.635	197.386	141	65.855	47
Betrieb 4	1.752	34.383	293.649	31.850	8.881	22.779	2.885	394.427	225	20.513	0	3.883	160.575	184.972	106	209.455	120
Betrieb 5	1.253	39.882	125.063	5.000	12.857	13.786	0	196.588	157	21.551	0	3.580	91.480	116.611	93	79.977	64
Betrieb 6	143	33.883	11.483	43.069	2.064	2.434	14	92.947	649	5.949	25.812	822	31.529	64.112	448	28.835	201
Betrieb 7	128	10.366	20.787	8.209	1.556	2.557	0	43.475	340	5.572	7.227	764	0	13.563	106	29.912	234
Betrieb 8	1.432	68.514	104.131	0	7.280	15.754	17	195.696	137	21.590	0	3.518	82.628	107.736	75	87.960	61
Betrieb 9	187	12.733	22.818	0	2.565	3.363	7	41.485	222	6.502	0	1.490	12.210	20.203	108	21.283	114
Betrieb 10	767	147.670	95.911	22.327	8.409	9.207	72	283.595	370	32.062	123.359	6.208	77.330	238.959	311	44.637	58
Betrieb 11	251	22.887	36.108	0	3.857	3.266	0	66.118	263	9.164	0	1.905	18.284	29.353	117	36.764	146
Betrieb 12	235	19.964	26.500	0	4.710	3.283	12	54.469	232	10.129	805	1.625	0	12.559	54	41.910	179
Betrieb 13	2.612	119.082	276.652	43.303	24.154	44.403	0	507.595	194	52.051	6.027	7.554	183.545	249.178	95	258.417	99
Betrieb 14	101	10.634	10.115	0	1.909	1.915	94	24.667	245	5.519	0	1.038	0	6.556	65	18.111	180
Betrieb 15	889	37.681	97.204	15.946	826	11.554	2.477	165.688	186	22.806	54.401	4.586	5.593	87.386	98	78.302	88
Betrieb 16	1.475	70.854	146.380	0	25.751	23.604	0	266.589	181	42.830	0	8.644	77.983	129.457	88	137.132	93

¹ Datenherkunft: (1) aus betrieblicher Buchhaltung für N-Zufuhr über Futter und N-Abfuhr über Erntegut; (2) wenn vorhanden aus Ackerschlagkartei ansonsten Abschätzungen über Rohdaten des betrieblichen Nährstoffvergleichs unter Verwendung der Software „AODüngerordnung“ für N-Zufuhr über mineralischen und organischen Dünger sowie N-Zufuhr über N-Bindung und für N-Abfuhr über organischen Dünger; (3) über die Internetseite des Umweltbundesamtes „Kartendienst Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff - Bezugsjahr 2009“ (UBA, 2015) die N-Zufuhr über N-Deposition; (4) aus Herdenmanagementsoftware „Herde“ für N-Zufuhr über Tiere und N-Abfuhr über Tiere; und (5) aus monatlichen Molkerieberechnungen für N-Abfuhr über Milch.

² Abkürzungen: LF: landwirtschaftliche Nutzfläche des Betriebes, org. Dünger: organischer Dünger

Tabelle 2

N-Bilanzierung der 2. Ebene von 16 Betrieben über ein Jahr (Bezugsjahr 2012)¹

	2. Ebene, Sub-Systeme														
	Erntegut-/Futterlager			Tierbestand			Düngerlager			Nutzflächen					
	N-Zu- fuhr	N-Ab- fuhr	N- Saldo ²	N-Zu- fuhr	N-Ab- fuhr	N- Saldo ²	N-Zu- fuhr	N-Ab- fuhr	N- Saldo ^{2,3}	Nmin	N-Zu- fuhr	N-Ab- fuhr	N- Saldo	N- Saldo, brutto	N- Saldo, netto ⁴
	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha	kg N/ha
Betrieb 1	306	261	45	189	177	12	326	304	23	32	210	168	73	40	
Betrieb 2	311	265	46	264	208	57	295	272	23	29	294	229	95	72	
Betrieb 3	245	268	-22	163	159	4	256	233	23	31	246	204	74	63	
Betrieb 4	176	155	21	50	42	8	228	223	5	45	241	156	131	126	
Betrieb 5	164	166	-2	93	77	16	161	152	9	29	174	132	71	64	
Betrieb 6	508	451	57	231	228	3	561	561	0	32	412	271	174	120	
Betrieb 7	328	232	97	232	217	15	394	368	26	32	343	247	128	106	
Betrieb 8	163	146	18	72	70	2	141	130	12	31	146	116	61	54	
Betrieb 9	270	265	5	200	187	13	266	251	15	32	283	202	113	79	
Betrieb 10	350	363	-13	262	211	51	315	315	0	62	177	157	82	78	
Betrieb 11	317	266	52	193	174	19	274	253	20	39	282	226	94	75	
Betrieb 12	298	236	62	237	210	27	273	259	14	32	289	213	109	68	
Betrieb 13	179	166	13	96	91	5	191	180	11	37	203	134	107	100	
Betrieb 14	345	284	61	285	269	15	305	287	17	31	325	239	118	67	
Betrieb 15	196	109	87	106	100	6	196	194	2	61	147	154	54	51	
Betrieb 16	222	210	11	152	134	18	203	188	16	34	221	173	81	72	

¹Berücksichtigte N-Zufuhr und N-Abfuhr: (1) Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ (a) N-Zufuhr: Erntegut und Futterzukauf, (b) N-Abfuhr: Erntegutverkauf, Futter für Tierbestand und Biogasanlage; (2) Sub-System „Tierbestand“ (a) N-Zufuhr: Futter und Tiere, (b) N-Abfuhr: Milch, Tiere und Ausscheidungen in Form von Kot und Harn (betriebs eigener organischer Dünger); (3) Sub-System „Düngerlager“ (a) N-Zufuhr: betriebseigener organischer Dünger und Zukauf bzw. Aufnahme von organischem und mineralischem Dünger, (b) N-Abfuhr: Verkauf bzw. Abgabe von organischem Dünger sowie Dünger, der für die Pflanzenproduktion zur Verfügung steht; (4) Sub-System „Nutzflächen“ (a) Nmin: mineralisierter N im Boden zu Beginn der Vegetationsperiode 2012, (b) N-Zufuhr: organischer und mineralischer Dünger, N-Deposition und N-Bindung, und (c) N-Abfuhr: Erntegut.

²Brutto-N-Salden

³N-Saldo entspricht den N-Verlusten durch Lagerung des organischen Düngers (Stall- und Lagerungsverluste gemäß DüV, 2007)

⁴N-Saldo (netto) ist N-Saldo (brutto) abzüglich der N-Verluste durch Ausbringung des organischen Düngers

aufgenommenen N-Menge in der erzeugten Milch wiederfinden. Im untersuchten Datensatz ($n = 350$) zeigte sich in der Trendlinie ein exponentieller Verlauf ($y = 284,9e^{0,029x}$; $R^2 = 0,96$). Auf dem Beispielbetrieb gab es für die Gruppe der laktierenden Milchkühe vier Fütterungsgruppen, die von jedem Tier von 1 nach 4 während einer Laktationsperiode durchlaufen wurden. Der durchschnittliche Melktag der Tiere zum dargestellten MLP-Termin steigerte sich über die Fütterungsgruppen 1 bis 4 vom 49., 130., 170. auf den 259. Melktag. Die durchschnittliche Milchleistung der Fütterungsgruppen lag bei 33, 37, 30 und 22 kg Milch pro Kuh und Tag. In Bezug auf die N-Bedarfsdeckung ergab sich für die Fütterungsgruppe 1 im Durchschnitt ein Wert von 110 %, für Fütterungsgruppe 2 von 106 %, für Fütterungsgruppe 3 von 121 % und für Fütterungsgruppe 4 ein Wert von 137 %. Für die Fütterungsgruppen errechneten sich hinsichtlich der N-Effizienz der Milchproduktion durchschnittliche Werte von 32 % (Fütterungsgruppe 1), 34 % (Fütterungsgruppe 2), 29 % (Fütterungsgruppe 3) und 25 % (Fütterungsgruppe 4). Im Durchschnitt aller Einzeltiere ergaben sich für den untersuchten MLP-Termin eine N-Bedarfsdeckung von 117 % sowie eine N-Effizienz von 30 %.

Die Variabilität des N-Saldos in Bezug zur N-Zufuhr auf Ebene der Einzelschläge wurde beispielhaft anhand eines Betriebes in Abbildung 5 dargestellt. Dieser Betrieb baute im Jahr 2012 auf 81 Einzelschlägen zehn verschiedene Kulturen an bzw. führte verschiedene Nutzungen der Kulturen durch. Auf den Ackerflächen wurden drei Getreidearten (Winterweizen, Winterroggen und Wintergerste), Raps, Ackergras und Luzerne angebaut sowie zwei Maisnutzungen (Silomais und Körnermais) durchgeführt. Die Grünlandflächen wurden als Mähweide und Wiese genutzt. Auf der Einzelschlagebene variierte die N-Zufuhr zwischen 40 bis 336 kg N/ha, im Durchschnitt lag die N-Zufuhr bei 164 ± 73 kg N/ha. Für den N-Saldo ergaben sich Werte, die zwischen -93 und 216 kg N/ha variierten und im Durchschnitt bei 53 ± 63 kg N/ha lagen. Elf der 81 Einzelschläge wiesen einen negativen N-Saldo auf und 28 hatten einen N-Saldo, der über 60 kg N/ha lag. Über die Summen der N-Zufuhren und N-Abfuhren berechnete sich für den gleichen Betrieb in der N-Zufuhr ein Mittelwert von 187 kg N/ha und ein N-Saldo von 61 kg N/ha. Die lineare Trendlinie über alle Wertepaare ($y = 0,57x - 40,32$; $R^2 = 0,45$) zeigt auf, dass mit steigender N-Zufuhr auch der N-Saldo der Einzelschläge ansteigt.

Tabelle 3

N-Bilanzierung der 3. Ebene (Sub-Sub-System „laktierende Milchkühe“) von 16 Betrieben über ein Jahr (Bezugsjahr 2012)¹

	Milchkühe (3. Ebene, Sub-Sub-System)										
	Milchkühe	N-Zufuhr				N-Abfuhr				N-Effizienz Milch- produktion	N-Saldo ³
		Anzahl ²	Bedarf kg N/Kuh	Aufnahme kg N/Kuh	N-Bedarfs- deckung %	N-Einspar- potenzial kg N/Kuh	Milch kg N/Kuh	Kot kg N/Kuh	Harn kg N/Kuh		
Betrieb 1	85	158,9	180,2	113	21,3	55,3	65,0	55,9	176,2	31	3,9
Betrieb 2	62	158,9	182,6	115	23,7	55,0	66,3	58,0	179,4	30	3,2
Betrieb 3	858	152,8	194,6	127	41,8	52,8	62,7	75,8	191,3	27	3,2
Betrieb 4	330	184,1	204,7	111	20,6	65,4	73,7	62,3	201,3	32	3,4
Betrieb 5	400	161,5	182,6	113	21,1	56,3	66,0	56,4	178,8	31	3,8
Betrieb 6	116	155,2	188,8	122	33,5	53,4	65,8	67,2	186,3	28	2,5
Betrieb 7	111	154,5	194,8	126	40,3	53,2	64,7	74,3	192,3	27	2,6
Betrieb 8	388	166,9	199,4	120	32,5	58,4	67,7	70,0	196,2	29	3,3
Betrieb 9	123	158,0	184,6	117	26,6	55,0	64,2	61,4	180,7	30	4,0
Betrieb 10	629	159,0	184,9	116	25,9	54,9	67,4	60,0	182,3	30	2,6
Betrieb 11	173	161,3	183,4	114	22,0	55,8	68,4	56,6	180,8	30	2,6
Betrieb 12	180	168,1	192,8	115	24,7	59,0	68,1	62,1	189,2	31	3,6
Betrieb 13	984	159,8	181,4	114	21,6	55,6	65,7	56,4	177,7	31	3,7
Betrieb 14	125	137,8	148,8	108	11,1	46,2	61,4	38,2	145,7	31	3,1
Betrieb 15	385	176,5	199,8	113	23,3	62,3	71,0	63,0	196,3	31	3,5
Betrieb 16	826	158,1	156,2	99	-1,8	54,4	68,3	30,3	153,0	35	3,3

¹unter Verwendung nachfolgender Schätzgleichungen: N-Bedarf (GfE, 2001), N-Aufnahme und N-Ausscheidung über Kot und Harn (Schröder et al., 2005), N-Bedarfsdeckung (N-Aufnahme in Relation zum N-Bedarf)

²Anzahl der Milchkühe bezieht sich auf die im Durchschnitt des Jahres laktierenden Milchkühen eines Betriebes

³N-Saldo entspricht dem N-Ansatz der Tiergruppe „laktierende Milchkühe“

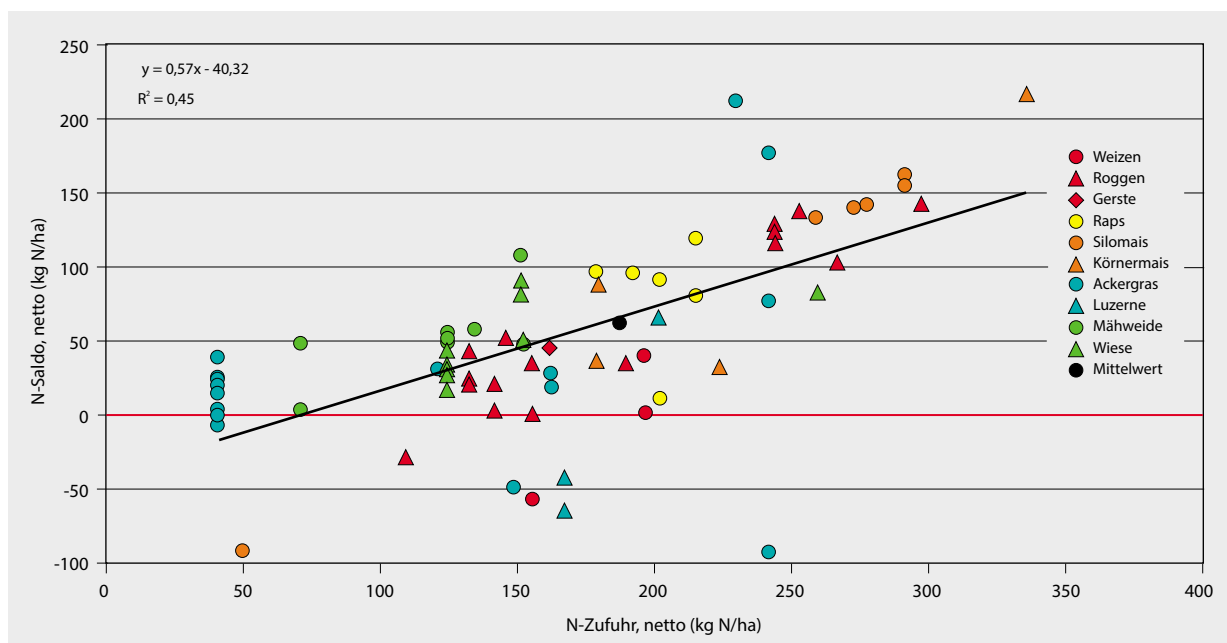


Abbildung 5:

N-Saldo (netto, kg N/ha) in Bezug zur N-Zufuhr (netto, kg N/ha) auf Einzelschlagenebene (4. System-Ebene) eines Betriebes (Anbau 2012, n = 81) mit Angabe des Mittelwerts für die gesamte Nutzfläche (2. System-Ebene) wobei N-Zufuhr: N_{min} plus organischer und mineralischer Dünger plus N-Deposition plus N-Bindung minus N-Verluste durch Ausbringung des organischen Düngers

4 Diskussion

4.1 Aussagekraft einer N-Bilanzierung in der 1. und 2. System-Ebene

Mit der Bilanzierung der N-Jahresmengen in der 1. System-Ebene wird der N-Jahresüberschuss des gesamten Betriebes ermittelt. Der vorliegenden Untersuchung lagen Daten von 16 milchviehhaltenden Betrieben aus dem Jahr 2012 zugrunde. Für die 16 Betriebe ergab sich im Durchschnitt ein betrieblicher Brutto-N-Saldo bzw. N-Überschuss von 125 kg N/ha, d. h. im Durchschnitt der Betriebe wurden 2012 bezogen auf jeden Hektar Nutzfläche des Betriebes 125 kg N mehr aufgenommen als abgegeben. Die N-Bilanzierung in der 1. System-Ebene entspricht der sogenannten Hoftorbilanz (Bach und Frede, 2005) und ist damit auch vergleichbar mit den Werten zur Gesamtbilanz der deutschen Landwirtschaft (BMEL, 2014a). Gemäß BMEL ergab sich für die deutsche Landwirtschaft im Jahr 2012 ein N-Saldo von 98 kg N/ha. Damit weisen die 16 milchviehhaltenden Betriebe der vorliegenden Untersuchung im Durchschnitt einen um 28 % höheren N-Saldo als der durchschnittliche, landwirtschaftliche Betrieb in Deutschland auf. Das Ziel gemäß Nationaler Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik (Bundesregierung, 2012) von 80 kg N/ha überschritten die 16 milchviehhaltenden Betriebe im Durchschnitt um 56 %. Betrachtet man die Einzelwerte der Betriebe zeigte sich aber auch, dass sechs der 16 Betriebe einen N-Saldo unter 98 kg N/ha aufwiesen und vier der 16 Betriebe sogar einen N-Saldo unter 80 kg N/ha, wobei der niedrigste Wert eines Einzelbetriebes bei 47 kg N/ha lag.

Um einen landwirtschaftlichen Betrieb bezüglich des betrieblichen Nährstoffeinsatzes beurteilen zu können, ist die Bilanzierung in der 1. System-Ebene (Gesamtsystem) als erste Einschätzung hilfreich und setzt gewissermaßen einen Eckpunkt. Der N-Außenumsatz ist in der betrieblichen Buchhaltung dokumentiert und daher relativ genau zu erfassen. Ferner handelt es sich um relativ zuverlässige, nicht leicht zu manipulierende Daten. Nach Ansicht von Baumgärtel et al. (2007) sichert nur die Hoftorbilanz objektive, reproduzierbare und justiziable Ergebnisse. Gemäß Verordnungsentwurf zur neuen deutschen Düngeverordnung (BMEL, 2014b) sollen die derzeitigen Anforderungen an den betrieblichen Nährstoffvergleich ab 2018 schrittweise durch einen „Vergleich der dem Betrieb zugeführten und vom Betrieb abgegebenen Nährstoffmengen“, d. h. durch eine Hoftorbilanz, abgelöst werden. In der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung wurde die Hoftorbilanz gleichwohl noch kontrovers diskutiert (Osterburg und Techen, 2012). Es blieb unklar, ob die juristischen Voraussetzungen erfüllt sind, um über die Düngeverordnung landwirtschaftlichen Betrieben eine Hoftorbilanz vorzuschreiben. Die DüV regelt die Düngung landwirtschaftlicher Flächen doch für eine Hoftorbilanz müssten auch „nicht direkt flächenbezogene Stoffströme“ erfasst werden. Dies gilt insbesondere für Betriebe mit Nutztierhaltung, so auch für die der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden 16 milchviehhaltenden Betriebe. Darüber hinaus wurde von der Bund-Länder-Arbeitsgruppe auch die Erfassung des Futterzukaufs und

des Verkaufs aller pflanzlichen und tierischen Produkte als sehr aufwändig angesehen (Osterburg und Techen, 2012). Dies würde zu zusätzlichen Problemen für eine belastbare, auf alle landwirtschaftlichen Betriebe anwendbare Bilanzierungsmethode führen. Im Anschluss an die Bund-Länder-Arbeitsgruppe hatten sich aber später alle relevanten Sachverständigenvereinigungen für eine Wiedereinführung der Hoftorbilanz ausgesprochen: 2012: Arbeitskreis Nachhaltige Nährstoffhaushalte des Verbands Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V. (VDLUFA, 2012); Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft e.V. (DBVW, 2012); 2013: Wissenschaftliche Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) (WBA/WBD/SRU, 2013); und 2014: Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) (UBA, 2014). Nach Ansicht des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU, 2015) entsteht durch die Abbildung der Nährstoffflüsse im Rahmen einer Brutto-Hoftorbilanz auch ein Anreiz zur gesamtbetrieblichen effizienten Stickstoffverwertung, da in der Hoftorbilanz sowohl der Zukauf von Mineraldüngern für die Landbewirtschaftung als auch der Zukauf von eiweißhaltigen Futtermitteln für die Nutztierhaltung in die Kalkulationen eingehen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Ermittlung des gesamtbetrieblichen N-Überschusses einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, um feststellen zu können, wie empfindlich der N-Überschuss auf eine Variation in der Abschätzung der verschiedenen Bilanzgrößen reagiert, da Unsicherheiten bei den zugrunde liegenden Daten nie auszuschließen sind. Auf Seiten der N-Zufuhr verändert eine Variation der einzelnen Bilanzgrößen um $\pm 10\%$ den gesamtbetrieblichen N-Überschuss um: $\pm 8,67\%$ Mineraldünger; $\pm 6,80\%$ Futter; $\pm 3,39\%$ organischer Dünger; $\pm 1,16\%$ N-Deposition; $\pm 1,13\%$ N-Bindung; oder $\pm 0,03\%$ Tiere. Die Ergebnisse zeigen auf, dass in Bezug auf die N-Zufuhr Fehleinschätzungen des betrieblichen Zukaufs von Mineraldünger und Futter das Ergebnis zum betrieblichen N-Überschuss am stärksten beeinflussen. Jedoch würde dieser Effekt im Durchschnitt immer unter 10% bleiben. Auf Seiten der N-Abfuhr verändert eine Variation der einzelnen Bilanzgrößen um $\pm 10\%$ den gesamtbetrieblichen N-Überschuss um: $\pm 4,84\%$ Erntegut; $\pm 3,16\%$ organischer Dünger; $\pm 2,70\%$ Milch; oder $\pm 0,47\%$ Tiere. Hier zeigt sich, dass eine Fehleinschätzung der Bilanzgrößen der N-Abfuhr im Vergleich zu den Bilanzgrößen der N-Zufuhr einen wesentlich geringeren Effekt hat. Auch die Bilanzgröße, die das Ergebnis zum betrieblichen N-Überschuss auf Seiten der N-Abfuhr am stärksten beeinflusst, der betriebliche Verkauf an Erntegut, würde bei Abweichungen von $\pm 10\%$ nur einen Effekt von unter 5% auf den ermittelten Wert des gesamtbetrieblichen N-Überschusses haben.

Auf der anderen Seite geben die Daten der 1. System-Ebene dem Betrieb selbst noch keinerlei Hinweis darauf, in welchen Bereichen des Betriebes der N-Überschuss entstand. Erst die weitergehende Aufgliederung unter Einbeziehung weiterer Systemebenen kann betriebliche Handlungsoptionen aufzeigen. In der vorliegenden

Untersuchung wurden der 2. System-Ebene vier betriebliche Bereiche bzw. Sub-Systeme zugeordnet:

- (1) „Erntegut-/Futterlager“;
- (2) „Tierbestand“;
- (3) „Düngerlager“; und
- (4) „Nutzflächen“.

Der jährliche N-Überschuss der 1. System-Ebene verteilt sich betriebsindividuell auf die vier Sub-Systeme der 2. System-Ebene. Die vier Sub-Systeme sind aufeinanderfolgend in einem Kreislauf miteinander verbunden (Abbildung 2). Die 2. System-Ebene zeigt neben dem N-Außenumsatz auch den betrieblichen N-Innenumsatz. Dies bedeutet, dass erst durch die 2. System-Ebene die gesamten N-Flüsse und Prozesse eines Betriebes abgebildet werden. Erst durch die vollständige Darstellung, Zusammenführung und Verknüpfung relevanter N-Flüsse auf dieser System-Ebene können die betrieblichen N-Mengenflüsse nachvollziehbar auf Plausibilität überprüft werden. Die Abbildung der N-Flüsse in der 2. System-Ebene eines landwirtschaftlichen Betriebes kann daher auch als Methode der Plausibilisierung bzw. Prüfung auf Plausibilität herangezogen werden. Auch im gegenwärtigen System der betrieblichen Nährstoffvergleiche (DüV, 2007) erfolgen die N-Bilanzierungen in der 2. System-Ebene der Betriebe. Eine Plausibilisierung ist damit aber nicht gegeben, da nicht alle betrieblichen N-Flüsse erfasst werden.

Für das Sub-System „Nutzflächen“ berechnete sich für die 16 landwirtschaftlichen Betriebe, die der vorliegenden Untersuchung zugrunde lagen, eine N-Bedarfsdeckung von 142 ± 16 % (Min-Max 127-181 %) bzw. ein durchschnittlicher Netto-N-Saldo von 77 kg N/ha. Der berechnete Netto-N-Saldo ist nicht mit dem Saldo eines betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß derzeitig gültiger Düngeverordnung (DüV, 2007) vergleichbar, da in der vorliegenden Untersuchung mit der Berücksichtigung der N-Deposition und der N_{min}-Menge zu Beginn der Vegetationsperiode zusätzliche N-Quellen in die N-Bilanzierung eingingen. Es wurde abgeschätzt, dass den Betrieben über die N-Deposition im Durchschnitt 14 kg N/ha zugeführt wurden und zu Beginn der Vegetationsperiode 2012 im Durchschnitt 37 kg N/ha als N_{min} im Boden vorlag. Nach Abzug dieser zusätzlich berücksichtigten N-Quellen ergibt sich für die 16 Betriebe der vorliegenden Untersuchung ein durchschnittlicher N-Saldo von 26 kg N/ha. Dieser ist vergleichbar mit einem Saldo kalkuliert nach Düngeverordnung (DüV, 2007) und zeigt auf, dass die Betriebe im Durchschnitt um 43 % unter den Vorgaben der Düngeverordnung (60 kg N/ha) lagen. Allerdings war die Spannweite im N-Saldo der Betriebe sehr groß und reichte von -23 kg N/ha bis 70 kg N/ha. Bei zwei der 16 Betriebe ergab sich ein negativer N-Saldo und bei zwei weiteren Betrieben ein N-Saldo, der über 60 kg N/ha lag.

Auch in Bezug auf die Ermittlung des N-Überschusses im Sub-System „Nutzflächen“ (Netto-N-Saldo) wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Auf Seiten der N-Zufuhr verändert eine Variation der einzelnen Bilanzgrößen um ± 10 % das ermittelte Ergebnis zum N-Überschuss im Sub-System „Nutzflächen“ um: $\pm 14,0$ % Mineraldünger; $\pm 12,0$ % organischer Dünger; $\pm 4,8$ % N_{min}; $\pm 1,9$ % N-Deposition;

oder $\pm 1,8$ % N-Bindung. In Bezug auf die N-Zufuhr wird deutlich, dass Fehleinschätzungen der betrieblichen Einsatzmengen an mineralischem und organischem Dünger das Ergebnis zum N-Überschuss am stärksten beeinflussen und dieser Effekt im Durchschnitt sogar über 10 % liegen kann. Auf Seiten der N-Abfuhr gibt es bei der Ermittlung des Netto-N-Saldos nur die Bilanzgröße „Erntegut“. Eine Variation der N-Abfuhr über das Erntegut um ± 10 % verändert den ermittelten N-Überschuss um $\pm 24,5$ %. Hier zeigt sich, dass eine Fehleinschätzung der von den Nutzflächen abgefahrenen Erntegut-N-Mengen im Durchschnitt einen doppelt so großen Effekt auf das Ergebnis zum N-Überschuss haben wird, wie die N-Zufuhr über mineralischen und organischen Dünger. In der vorliegenden Untersuchung sind die Angaben zu den von den Betriebsflächen abgeführten Erntegut-N-Mengen, bei Vorhandensein, der betrieblichen Acker Schlagkartei entnommen oder über die im betrieblichen Nährstoffvergleich angegebenen Erntegutmengen abgeschätzt worden. Damit kann der große Effekt der abgeschätzten Erntegut-N-Menge auch als Bestätigung der Aussage der Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung gesehen werden, dass von Betrieben mit Futterbauflächen „die Nährstoffabfuhr über das Grundfutter oftmals überschätzt wird“ (Osterburg und Techen, 2012). Daher empfiehlt die Bund-Länder-Arbeitsgruppe in ihrem Abschlussbericht (Osterburg und Techen, 2012), dass die Berechnung des Nährstoffvergleichs in solchen Betrieben zukünftig auf Basis einer plausibilisierten Flächenbilanz durch Anwendung Nutztierarten-spezifischer Grundfutfaktoren bei der Berechnung der Nährstoffabfuhr über das Grundfutter erfolgen soll. Diese Empfehlung fand auch schon Eingang in den Entwurf zur neuen deutschen Düngeverordnung (BMEL, 2014b), so dass erwartet werden kann, dass zukünftig die abgeschätzten Nährstoffabfuhr von betrieblichen Grundfutterflächen plausibler sind.

In Relation zur landwirtschaftlichen Nutzfläche der Betriebe wurden in der 1. System-Ebene (Hof) Brutto-N-Salden und auf der 2. System-Ebene (Sub-System „Nutzflächen“) Netto-N-Salden (N-Salden abzüglich N-Verluste über organischen Dünger) kalkuliert. Nach Ansicht der VDLUFA (2010) stellen Bruttosalden für die Bewertung der nährstoffbezogenen Umweltleistung landwirtschaftlicher Betriebe den besten Indikator dar. In ihrer Stellungnahme kritisiert der VDLUFA auch, dass in der derzeit rechtskräftigen Düngeverordnung (DüV, 2007) die Problematik der N-Verluste gänzlich ausgeklammert wird, da nur Nettosalden zu erfassen sind. Aus Sicht der VDLUFA ist eine Harmonisierung der unterschiedlichen Rechtsauffassung im landwirtschaftlichen Fachrecht und im Umweltrecht dringend einzufordern. Auch die Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngeverordnung empfiehlt Bruttosalden für den betrieblichen Nährstoffvergleich (Osterburg und Techen, 2012), da nur so die Transparenz erhöht und das Bewusstsein der Landwirte für die Höhe der entstehenden N-Überschüsse verbessert wird. Im derzeit vorliegenden Entwurf zur neuen deutschen Düngeverordnung (BMEL, 2014b) fand dies aber bislang noch keine Berücksichtigung.

Grundsätzlich kann sich bei einer N-Bilanzierung im kalkulierten N-Saldo ein Wert über Null („positiver“ N-Saldo), ein Wert unter Null („negativer“ N-Saldo) oder genau Null (ausgeglichener N-Saldo) ergeben. Positive N-Salden kennzeichnen einen N-Überschuss und negative N-Salden zeigen auf, dass in der Bilanzierung nicht alle N-Quellen berücksichtigt wurden. In Bezug auf eine Flächenbilanz (Sub-System „Nutzflächen“) kennzeichnen positive N-Salden die im Boden als Überschuss verbleibenden N-Mengen und negative N-Salden die dem Boden zusätzlich entzogenen, mineralisierten N-Mengen (Baumgärtel et al., 2007). In der vorliegenden Untersuchung ergaben sich auch im Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ für drei der 16 Betriebe negative N-Salden. Da bei der Bilanzierung im Sub-System „Erntegut-/Futterlager“ nur die N-Zufuhr und N-Abfuhr im Bezugsjahr 2012 berücksichtigt wurde, zeigt hier ein negativer N-Saldo auf, dass der Betrieb aus dem vorhergehenden Anbaujahr 2011 noch über Erntegut- bzw. Futterreserven verfügte.

Bei der Beurteilung des betrieblichen N-Einsatzes ist neben der Berechnung des N-Saldos die Berechnung der N-Effizienz (N-Verwertungsrate) ein zweites, aussagekräftiges Kriterium. Da die N-Effizienz der Quotient zwischen N-Abfuhr und N-Zufuhr ist, ergibt sich für einen N-Saldo von genau Null eine N-Effizienz von 100 %. Für positive N-Salden berechnen sich N-Effizienzen, die unter 100 % und für negative N-Salden eine N-Effizienz, die über 100 % liegen. In der vorliegenden Untersuchung ergab sich für die 1. System-Ebene (Hof) im Durchschnitt der 16 Betriebe eine N-Effizienz von 51 ± 18 % (alle N-Abfuhrmengen berücksichtigt). Auf der 2. System-Ebene wurde für das Sub-System „Tierbestand“ eine durchschnittliche N-Effizienz von 23 ± 3 % (N-Abfuhrmengen Milch und Tiere berücksichtigt) bzw. 20 ± 2 % (nur N-Abfuhrmengen über Milch berücksichtigt) kalkuliert und für das Sub-System „Nutzflächen“ eine durchschnittliche N-Effizienz der N-Abfuhr über Erntegut von 71 ± 7 % (N-Zufuhr abzüglich N-Verluste bei Ausbringung der organischen Dünger). Vom BMEL (BMEL, 2014a) werden jährliche Bilanzdaten zur gesamten deutschen Landwirtschaft als Gesamtbilanz (dort als Nährstoffbilanz bezeichnet) sowie in den Teilbilanzen Stall- und Flächenbilanz ausgegeben. In der Gesamtbilanz ergab sich für die deutsche Landwirtschaft im Jahr 2012 eine N-Effizienz von 48 %, in der Stallbilanz eine N-Effizienz von 20 % (N-Abfuhrmengen über tierische Produkte berücksichtigt) und in der Flächenbilanz eine N-Effizienz von 65 %. Die berücksichtigten Bilanzgrößen in der Gesamtbilanz zur deutschen Landwirtschaft entsprechen in etwa denen der betrieblichen Bilanz auf der 1. System-Ebene, wobei in der Gesamtbilanz zur deutschen Landwirtschaft keine N-Zufuhr über Tiere und keine N-Abfuhr über organischen Dünger vermerkt ist. Dafür beinhaltet sie aber zusätzlich die N-Zufuhr über Saat- und Pflanzgut (BMEL, 2014a). Die Stallbilanz zur deutschen Landwirtschaft berücksichtigt auf Seiten der N-Zufuhr die Futtermittel aus dem Inland und dem Import sowie auf Seiten der N-Abfuhr die tierischen Produkte und den Wirtschaftsdünger (BMEL, 2014a). Sie enthält damit mit Ausnahme der N-Zufuhr über Tiere die gleichen Bilanzgrößen, wie die betriebliche Bilanz für das Sub-System „Tierbestand“. Die Flächenbilanz zur deutschen Landwirtschaft

berücksichtigt auf Seiten der N-Zufuhr den Dünger (Mineraldünger, organische Düngestoff und Wirtschaftsdünger), die N-Deposition, die N-Bindung und das Saat- und Pflanzgut (BMEL, 2014a). Auf Seiten der N-Abfuhr wird das Erntegut erfasst, d. h. die pflanzlichen Marktprodukte sowie die Futterfrüchte und Nebenerzeugnisse. Damit beinhaltet die Flächenbilanz mit Ausnahme der N-Zufuhr über Saat- und Pflanzgut die gleichen Bilanzgrößen, wie die betriebliche Bilanz für das Sub-System „Nutzflächen“.

Schweigert und van der Ploeg (2002) zeigten über einen Zeitraum von 1951 bis 2000 die Entwicklung der N-Effizienz in der deutschen Landwirtschaft auf. Für das Jahr 1951 kalkulierten sie für die gesamte deutsche Landwirtschaft eine N-Effizienz von fast 80 %, wobei sich für das gleiche Jahr im Bereich der Pflanzenproduktion eine N-Effizienz von rund 140 % ergab und im Bereich der Tierproduktion eine N-Effizienz von nur 13 %. Bis zum Jahr 2000 halbierte sich dann die N-Effizienz für die gesamte deutsche Landwirtschaft auf 40 %. Im gleichen Zeitraum sank die N-Effizienz im Bereich der Pflanzenproduktion auf 80 % ab. Im Bereich der Tierproduktion ergab sich bis zum Jahr 2000 eine Erhöhung der N-Effizienz auf 17 %. Dass die N-Effizienz der Pflanzenproduktion bis zur Mitte der 1960iger Jahre über 100 % lag, führen Schweigert und van der Ploeg (2002) darauf zurück, dass von ihnen außer Handels- und Wirtschaftsdünger keine weiteren N-Zufuhren im Bereich der Pflanzenproduktion berücksichtigt wurden. Dass hier nicht alle N-Quellen bei der Bilanzierung Berücksichtigung fanden, bestätigt auch der negative N-Saldo in Höhe von -23 kg N/ha, der sich im Bereich der Pflanzenproduktion für das Jahr 1951 berechnen lässt.

Die Daten von Schweigert und van der Ploeg (2002) machen auch noch auf einen anderen Sachverhalt aufmerksam, nämlich dass es zwischen der Pflanzen- und Tierproduktion einen großen Unterschied in Hinblick auf die Höhe der N-Effizienz gibt, d. h. die N-Effizienzen dieser beiden Produktionsbereiche sind nicht direkt miteinander vergleichbar. In der vorliegenden Untersuchung unterscheidet sich die durchschnittliche N-Effizienz der Sub-Systeme „Tierbestand“ und „Nutzflächen“ um den Faktor 3,1 (23 vs. 71 %). Schweigert und van der Ploeg (2002) weisen darauf hin, dass Pflanzen den ihnen zugeführten Stickstoff nahezu vollständig in Protein umwandeln können (N-Effizienz von 100 %), wohingegen die stoffliche Verwertung von zugeführtem Stickstoff im Tier selbst bei optimalen Bedingungen nur in wesentlich geringerem Maße möglich ist und davon abhängt, welche Art von Protein im Tier gebildet wird. Nach ihren Angaben (Schweigert und van der Ploeg, 2002) kann in der Milchproduktion eine N-Effizienz von maximal 30 bis 40 % erwartet werden, wohingegen die N-Effizienz in der Rindfleischproduktion nur zwischen 5 bis 8 % liegen wird.

Zur Einschätzung des einzelbetrieblichen Ergebnisses bietet es sich für die N-Bilanzierung auf der 1. und 2. System-Ebene an, dem Betriebsergebnis einen Vergleichswert gegenüberzustellen, wie dies auch schon in der Bewertung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007) gemacht wird. Vergleichswerte können somit „Zielwerte“ (Vergleich mit Zielen der Bundesregierung

gemäß Düngeverordnung oder Nationaler Nachhaltigkeitsstrategie) aber auch „Orientierungswerte“ (Vergleich zum Mittelwert repräsentativer Betriebe) sein. In den Niederlanden wurde mit Beginn des Jahres 2015 die Software „KringloopWijzer“ (deutsch: „Kreislaufzeiger“) für milchviehhaltende Betriebe eingeführt. Diese ist nunmehr für die Hälfte der niederländischen Betriebe rechtsverbindlich (de Haan, 2015). Die Software (KringloopWijzer, 2015a) basiert auf dem Modell von DairyWise (Schils et al., 2007), macht Abschätzungen über die betriebsindividuellen Kreisläufe von Stickstoff, Phosphor und Kohlenstoff milchviehhaltender Betriebe über ein Jahr und leitet daraus Indikatoren zur Beurteilung des ressourceneffizienten und umweltschonenden Einsatzes der Nährstoffe auf dem Betrieb ab, denen dann Vergleichswerte gegenübergestellt werden (Aarts und de Haan, 2013). Im KringloopWijzer werden auch Abschätzungen zur N-Effizienz in der 1. und 2. System-Ebene der Betriebe gemacht. Die angegebenen Vergleichswerte (niederländische Referenzbetriebe) liegen hier bei 30 % für die 1. System-Ebene („Betrieb“) und bei 24, 83, 62 und 88 % für die Bereiche „Viehbestand“, „Dünger“, „Boden“ und „Pflanzen“ (KringloopWijzer, 2015b). Im Vergleich dazu ergaben sich im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für die 16 deutschen Milchviehbetriebe durchschnittliche Werte für die N-Effizienz in Höhe von 51 % (1. System-Ebene) und von 23, 94, 71 und 88 % für die Sub-Systeme „Tierbestand“, „Düngerlager“, „Nutzflächen“ und „Erntegut/Futtermittel“. Dies zeigt auf, dass die niederländischen Referenzbetriebe im Durchschnitt in Bezug auf die Bereiche Dünger und Boden höhere N-Verluste bzw. N-Überschüsse aufweisen. So wird für die niederländischen, milchviehhaltenden Referenzbetriebe auch ein betrieblicher N-Überschuss angegeben, der sich auf 209 kg N/ha beläuft, und ein N-Überschuss von 149 kg N/ha für den Bereich „Boden“ (KringloopWijzer, 2015b). Dies liegt weit über den N-Überschüssen, die in der vorliegenden Untersuchung für die 16 deutschen, milchviehhaltenden Betriebe ermittelt wurden (125 kg N/ha (Gesamtbetrieb) und 84 kg N/ha (Sub-System „Nutzfläche“)). In Bezug auf die Unterschiede in der N-Effizienz im Bereich der Düngerlagerung muss auch berücksichtigt werden, dass im Düngerlager organischer und Mineraldünger gelagert wird, aber die abgeschätzten gasförmigen N-Verluste nur aus der Lagerung des organischen Düngers stammen.

4.2 Aussagekraft einer N-Bilanzierung unter Einbeziehung aller System-Ebenen

Nach Aussage der VDLUFA (2012) ergeben sich schon durch die Aufgliederung der betrieblichen Gesamtbilanz in Stall- und Flächenbilanz wichtige Instrumente für die Fütterungs- und Düngeberatung. Mit den Daten der vorliegenden Untersuchung zeigte sich, dass für das Sub-System „Nutzfläche“ eine überhöhte N-Zufuhr bzw. eine grundsätzliche N-Überdüngung der landwirtschaftlichen Nutzflächen eines Betriebes schon mit der N-Bilanzierung auf der 2. System-Ebene sichtbar wird. Wie sich aber die Düngermengen auf die angebauten Kulturen oder die vorhandenen Schläge verteilen, wird auf diese Weise aber noch nicht erkennbar. Entsprechend

ist in der 2. System-Ebene im Sub-System „Tierbestand“ auch noch nicht erkennbar, wie sich die geschätzte Gesamtfuttermenge auf die im Betrieb gehaltenen Tiergruppen verteilt.

Im Sub-System „Tierbestand“, d. h. für den gesamten Tierbestand (2. System-Ebene), ergab sich für die Milchproduktion eine N-Effizienz, die bei den 16 untersuchten Betrieben zwischen 16 und 24 % lag. Die Unterschiede zwischen den Betrieben resultieren zum einen aus einer möglicherweise unterschiedlichen N-Bedarfsdeckung der Tiere und zum anderen daraus, dass mit dem Gesamttierbestand auch Tiere gefüttert werden, die keine Milch erzeugten bzw. von denen keine Milch an die Molkerei abgeliefert werden durfte. Folgende Parameter hatten daher für den einzelnen Betrieb einen Einfluss auf die N-Effizienz der Milchproduktion im Sub-System „Tierbestand“:

- Ausfallzeiten der laktierenden Kühe durch Krankheit (Anzahl Milchsperrern pro laktierende Kuh für alle Betriebe: $0,80 \pm 0,58$ % (Min-Max 0,16-2,37));
- Anteil trockenstehender Kühe am Gesamtbestand der Kühe: $11,86 \pm 1,86$ % (Min-Max 7,82-15,18 %);
- Anteil Nachzucht am Gesamttierbestand bzw. Anteil an Jungrindern unter 2 Jahren: 46 ± 11 % (Min-Max 18-62 %);
- Länge der Aufzuchtperiode bzw. Erstkalbealter: 26 ± 6 Monate (Min-Max 24-30 Monate); und
- Remontierungsrate bzw. Anteil an Erstkalbungen am Durchschnittskuhbestand: 37 ± 17 % (Min-Max 29-46 %).

Ryan et al. (2011) zeigten mit ihrer Datenanalyse von milchviehhaltenden Betrieben auf, welchen Einfluss die Einbeziehung der Nachzucht auf die Bestimmung der N-Effizienz hat. Wenn die N-Zufuhr bzw. der N-Bedarf für die Nachzucht (von Geburt bis zur ersten Abkalbung) einbezogen wurde, ergab sich im Durchschnitt der untersuchten Betriebe eine N-Effizienz von 23 %, wurde die N-Zufuhr für die Nachzucht nicht einbezogen, erhöhte sich der durchschnittliche Wert der N-Effizienz auf 28 %.

Ob die Unterschiede zwischen den Betrieben in der vorliegenden Untersuchung nun darauf beruhen, dass die Tiere über ihren Bedarf gefüttert wurden, konnte erst unter Zuhilfenahme der 3. und 4. System-Ebene des Betriebes erkannt werden. Erst auf diesen Ebenen zeigt sich, ob im Betrieb die Tier- und Fütterungsgruppen sowie letztendlich das Einzeltier bedarfsgerecht versorgt wird bzw. wo und in welcher Höhe es betriebliche Einsparpotenziale in der N-Zufuhr über die Rationsgestaltung gibt. In Tabelle 3 sind für alle 16 Betriebe die Einsparpotenziale in der Gruppe der laktierenden Milchkühe zusammengestellt (3. System-Ebene). Im Durchschnitt der Betriebe lag die N-Bedarfsdeckung in dieser Tiergruppe bei 115 %. Für alle Betriebe außer einem ergaben sich Einsparpotenziale, die zwischen 11 und 42 kg N pro laktierender Milchkuh und Jahr lagen bzw. zwischen 1.383 und 35.813 kg N pro Betrieb und Jahr.

Zur Abschätzung der N-Aufnahme und der N-Ausscheidung über Kot und Harn wurden die Schätzgleichungen von Schröder et al. (2005) verwendet. Diese boten sich an, da sie auf den drei Variablen erzeugte Milchmenge, Milchprotein- und Milchkharnstoffgehalt basieren. Dies sind Daten, die auf

allen milchviehhaltenden Betrieben über die Molkerei oder die Milchleistungsprüfung (MLP) zur Verfügung stehen. Die Schätzgleichung zur Bestimmung der N-Ausscheidung über Kot und Harn von Schröder et al. (2005) wird auch als geeignet erachtet, um im Rahmen der Düngeverordnung eine nährstoffangepasste Fütterung zu kontrollieren bzw. nachzuweisen (DLG, 2008; Spiekers und Obermaier, 2007). Auf Betrieben, auf denen auch Analysewerte zum Rohproteingehalt der an die Milchkühe verfütterten Rationen vorliegen, können für die Schätzung der Harn-N-Menge auch neuere, noch genauere Schätzgleichungen verwendet werden (Spek et al., 2013).

Am Beispiel eines MLP-Termins wurde in Abbildung 4 beispielhaft für einen Betrieb aufgezeigt, welche hohe Variabilität die N-Bedarfsdeckung auf der Einzeltier- bzw. Fütterungsgruppenebene haben kann (3. und 4. System-Ebene). Bezogen auf das Einzeltier ergab sich für die am MLP-Termin untersuchten 350 Milchkühe hinsichtlich der N-Bedarfsdeckung eine Spannweite von 84 bis 180 % und in Bezug auf die N-Effizienz der Milchproduktion von 17 bis 43 %. Gemäß der über den Datensatz gezogenen Trendlinie würde die N-bedarfsangepasste Fütterung (N-Bedarfsdeckung = 100 %) eine durchschnittliche N-Effizienz von 36 % erwarten lassen. Zum Zeitpunkt des MLP-Termins lag der Mittelwert aller Tiere des dargestellten Betriebes bei einer N-Bedarfsdeckung von 117 % und einer N-Effizienz von 30 %. Im Vergleich dazu ergaben sich im Rahmen einer Auswertung von Einzeltier-tagesbilanzen von Milchkühen (Bockmann et al., 1997) in Bezug auf die N-Effizienz der Milchproduktion ein Durchschnittswert von 30,5 % bei bedarfsangepasster Proteinversorgung der Tiere sowie Werte von 27,2 bzw. 33,1 %, wenn die Proteinversorgung 5 % über oder 5 % unter dem Bedarf der Tiere lag. Neueren Studien ist aber zu entnehmen, dass die N-Effizienz der Milchproduktion bei bedarfsangepasster Proteinversorgung bis auf Werte von 38 % (Higgs et al., 2012) und 40 % (Kluth et al., 2003) ansteigen kann.

Im vorliegenden Fallbeispiel auf Einzeltier- bzw. Fütterungsgruppenebene ergeben sich betriebliche Handlungsoptionen zur Verbesserung der N-Effizienz vor allem in der N-Bedarfsanpassung der Fütterungsgruppen 3 und 4 (Abbildung 4), da in diesen Fütterungsgruppen mit einer durchschnittlichen N-Bedarfsdeckung von 121 bzw. 137 % anscheinend Rationen verfüttert werden, die den durchschnittlichen N-Bedarf der Fütterungsgruppen deutlich übersteigt. Eine hohe Variabilität der N-Bedarfsdeckung innerhalb einer Fütterungsgruppe zeigt auch auf, dass gemäß Ihrer Milchleistung einzelne Tiere scheinbar nicht der richtigen Fütterungs- bzw. Leistungsgruppe zugeordnet sind. Dies gilt für Tiere, deren N-Bedarfsdeckung weit über 100 % liegt (zu hohe N-Zufuhr) als auch für Tiere, die eine N-Bedarfsdeckung unter 100 % haben (zu niedrige N-Zufuhr). In der Fütterung von Milchkühen belastet sowohl eine zu niedrige als auch eine zu hohe N-Bedarfsdeckung den Stoffwechsel der Tiere (Kirchgesser et al., 2014). Im ersten Fall wird ein Teil des N-Bedarfs aus der Körpersubstanz des Tieres mobilisiert, im zweiten Fall müssen die über den Bedarf aufgenommenen Protein- bzw. N-Mengen über Leber und Niere des Tieres energieaufwändig wieder ausgeschieden werden. In ihrer Übersichtsarbeit

zum Einfluss der Proteinzufuhr auf die Reproduktionsleistung von Milchkühen schlussfolgern Ferguson und Sklan (2005), dass die Fütterung von im Pansen abbaubarem Protein, das dem Bedarf der mikrobiellen Proteinsynthese übersteigt, auch mit einer reduzierten Fruchtbarkeit assoziiert ist.

Aus Abbildung 4 lässt sich darüber hinaus ableiten, dass sich der Verbrauch an Futter-N bzw. die Futter-N-Zufuhr durch eine N-bedarfsangepasste Fütterung der Milchkühe reduziert und gleichzeitig die N-Effizienz der Milchbildung in den Tieren verbessert wird. Beides, die reduzierte Futter-N-Zufuhr als auch die verbesserte N-Effizienz, reduziert die Menge an N-Ausscheidungen in Form von Kot und Harn. Die Menge an gasförmigen N-Verlusten während der Lagerung von Kot und Harn reduziert sich durch drei Effekte:

- (1) durch die reduzierte Menge an N-Ausscheidungen aufgrund der verringerten Futter-N-Zufuhr;
- (2) durch die reduzierte Menge an N-Ausscheidungen aufgrund der verbesserten N-Effizienz der Milchbildung; und
- (3) durch die Verschiebung der N-Ausscheidungen von Harn- zu Kot-N aufgrund der verringerten Futter-N-Zufuhr (Castillo et al., 2000).

In der vorliegenden Untersuchung wurden für die Tiergruppe „laktierende Milchkühe“ die N-Verluste während der Lagerung von Kot und Harn mit der Regressionsgleichung von Burgos et al. (2010) abgeschätzt, die eine enge Beziehung der Ammoniakverluste zum Milchharnstoffgehalt der Tiere aufzeigt. Die Ammoniak-Emissionsmessungen wurden von Burgos et al. (2010) unter standardisierten Laborbedingungen durchgeführt. Dies erklärt, weshalb die absolute Höhe der abgeleiteten Ammoniakverluste über denen in der Literatur zu findenden Werten liegen, die auf Ammoniak-Emissionsmessungen unter Feldbedingungen (Stallmessungen) basieren. In der vorliegenden Untersuchung berechnete sich bei Anwendung der Regressionsgleichung von Burgos et al. (2010) für die 16 Milchviehbetriebe im Durchschnitt ein Ammoniak-N-Verlust während der Lagerung von Kot und Harn in Höhe von 375 g N/kg N Gesamt-N-Ausscheidungen (Abbildung 3). Gemäß der über den Datensatz gezogenen Trendlinie würde eine N-bedarfsangepasste Fütterung der Milchkühe im Vergleich dazu die N-Verluste auf 304 g N/kg N Gesamt-N-Ausscheidungen reduzieren. Dies bedeutet, dass durch eine N-bedarfsangepasste Fütterung der Milchkühe im Durchschnitt der Betriebe eine Reduktion der Ammoniak-N-Verluste um 23 ± 12 % (Min-Max -3-42 %) möglich ist. Powell et al. (2014) sehen im Milchharnstoffgehalt eines der wichtigsten Managementtools in Bezug auf den betrieblichen N-Umsatz, mit dem nicht nur die N-Effizienz der Milchproduktion erhöht und damit die Milchproduktionskosten gesenkt, sondern zusätzlich auch die negativen Effekte einer Harn-N-Ausscheidung und damit der N-Emission reduziert werden können. In der vorliegenden Untersuchung ergaben sich im Mittel aller 16 Betriebe ein Milchharnstoffgehalt von 213 ± 47 ppm (Min-Max 110-280 ppm). Die niedrigsten Werte hatten Betrieb 14 und 16 mit einem Herdendurchschnitt von 127 bzw. 110 ppm. Betrieb 14 und 16 sind auch diejenigen Betriebe, die in der N-Bedarfsdeckung mit Werten von 108 und 99 % im Vergleich zu allen anderen Betrieben einer

bedarfsangepassten Fütterung von 100 % am nächsten kamen (Tabelle 3).

In Bezug auf das Sub-System „Nutzflächen“ wurden in Abbildung 5 beispielhaft für einen der 16 untersuchten Betriebe die N-Zufuhren und N-Salden auf der Einzelschlagenebene (4. System-Ebene) für das Anbaujahr 2012 zusammengestellt. Auf der Einzelschlagenebene variierte die N-Zufuhr auf diesem Betrieb zwischen 40 und 336 kg N/ha und die N-Salden zwischen -93 und 216 kg N/ha. Von den 81 Einzelschlägen des Betriebes hatten sechs Schläge gleiche Wertepaare (zwei Rapschläge, zwei Gerstenschläge und zwei Weizenschläge). An dem dargestellten Datensatz wird deutlich, dass

- (1) der N-Saldo innerhalb einer Kultur bzw. Pflanzengruppe (bei Anbau auf mehreren Einzelschlägen) und zwischen den Pflanzengruppen stark variieren kann; und
- (2) die N-Zufuhr auf Einzelschlagenebene und somit auch auf Pflanzengruppenebene nicht immer bedarfsgerecht ist.

Auch nach Aussage von Baumgärtel et al. (2007) lassen sich erst mit einer Schlagbilanz innerbetriebliche Mängel lokalisieren und die Düngung zielgerichtet optimieren. Die Darstellung der N-Salden auf Einzelschlagenebene zeigen für den Beispielbetrieb auf, dass er 2012 auf 70 seiner 81 Schläge einen N-Überschuss hatte (N-Saldo lag über 0 kg N/ha) und dass auf 28 der 81 Schläge der N-Überschuss sogar über dem Grenzwert der Düngverordnung (DüV, 2007) von 60 kg N/ha lag. Damit werden dem Betrieb erst auf der 4. System-Ebene die Schläge ausgewiesen, die zu viel N erhalten haben bzw. deren Kulturen überdüngt wurden. Im Fall des beispielhaften Betriebes, wäre es angebracht, dass der Betrieb sich sein Düngungsregime in Hinblick auf die drei angebauten Kulturen: Raps, Silomais, und Körnermais genauer anschaut bzw. es anpasst. N-Bilanzüberschüsse führen zu N-Verlusten und/oder zu Anreicherungen im Boden (VDLUFA, 2010). Derzeit kann aber für viele Regionen Deutschlands davon ausgegangen werden, dass die Kapazitätsgrenze der Bodennährstoffspeicherung erreicht ist (WBA/WBD/SRU, 2013; SRU, 2015). Entsprechend besteht bei Flächen mit einem N-Überschuss für die umgebende Umwelt die erhöhte Gefahr, dass überschüssig vorhandener Stickstoff in Form von Nitrat ins Grundwasser ausgewaschen wird (van Beek et al., 2003) oder in Form von Lachgas in die Luft entweicht. Die Aufsummierung dieser Verluste aus der deutschen Landwirtschaft beläuft sich nach Angaben des Sachverständigenrats (SRU, 2015) für Deutschland im Moment auf jährlich 547.000 t N (Eintrag in die Oberflächengewässer: 457.000 t N, Eintrag in die Luft über Lachgas 90.000 t N). Neben den umfangreichen Ammoniakverlusten (Eintrag in die Luft: 427.000 t N) sind dies dramatische Ressourcenverluste.

Die 4. System-Ebene (Einzelschlagenebene) ist die Ebene, auf der die meisten Betriebe ihre Düngbedarfsermittlung durchführen. Mögliche Gründe dafür, dass sich auf Einzelschlagenebene sehr hohe bzw. über 60 kg N/ha liegenden N-Salden ergeben, können darin begründet sein, dass

- (a) die Schläge in der Praxis nach zu hohen Ertragserwartungen gedüngt werden;

- (b) bei der betrieblichen Düngbedarfsermittlung nicht alle N-Quellen berücksichtigt wurden; oder aber
- (c) nach der Düngung unvorhersehbare Witterungsverhältnisse auftraten, die die Ertragsleistung der angebauten Kultur negativ beeinflussten.

Letztendlich ist eine gewisse Variabilität im N-Saldo auf Einzelschlagenebene innerhalb und zwischen Betrieben unvermeidbar. Auf der anderen Seite kann abgeleitet werden, dass je geringer die Variabilität im N-Saldo auf Einzelschlagenebene eines Betriebes ausfällt, desto besser ist das Betriebsmanagement in Hinblick auf eine bedarfsangepasste Düngung der angebauten Kulturen. Die Daten der vorliegenden Untersuchung zeigen auf, dass erst die N-Bilanzierung auf Einzelschlagenebene ein geeignetes Instrument zur betrieblichen Düngoptimierung darstellt. Dies bestätigt die gleichlautende Aussage von Baumgärtel et al. (2007).

In der vorliegenden Untersuchung zeigten alle 16 Betriebe in der 1. System-Ebene (Hoftor-Bilanz) und der 2. System-Ebene (Sub-System „Nutzflächen“) N-Salden, die über Null lagen. Wie in Abbildung 5 für den Beispielbetrieb aufgezeigt wurde, waren negative Salden (N-Salden, die einen Wert unter Null haben) im Sub-System „Nutzflächen“ erst auf der 3. und 4. System-Ebene erkennbar. Im Beispielbetrieb hatten 11 der 81 Schläge einen negativen N-Saldo, d. h. auf diesen Schlägen wurden 2012 über das Erntegut eine größere N-Menge abgefahren, als durch die in der Bilanzierung berücksichtigten N-Quellen im gleichen Jahr zugeführt wurde. Da in der vorliegenden Untersuchung neben der für die Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngverordnung (DüV, 2007) üblichen N-Quellen (Dünger und N-Bindung) zusätzlich die N-Deposition als auch die Nmin-Mengen zu Beginn der Vegetationsperiode 2012 berücksichtigt wurden, sind die negativen N-Salden für diesen Betrieb aller Wahrscheinlichkeit nach ein Zeichen für eine erhöhte N-Mineralisierungsrate bzw. N-Nachlieferung der Böden während der Vegetationsperiode 2012. Nieder et al. (2007) gehen davon aus, dass es zwischen 1970 und 2000 in deutschen Ackerböden neben einer Zunahme des Gesamt-N-Vorrates auch zu einer Zunahme an mineralisierbarem N gekommen ist.

In Hinblick auf die Abschätzung der betrieblichen N-Überschüsse sind die Autoren der vorliegenden Untersuchung der Meinung, dass ein negatives N-Saldo auf Schlagenebene dahingehend zu interpretieren ist, dass es auf diesem Schlag im Düngjahr keinen „überschüssigen“ Stickstoff gab. Ein negatives N-Saldo auf Schlagenebene wäre somit mit einem „N-Überschuss“ von Null gleichzusetzen. Bei der offiziell vertretenen Vorgehensweise zur Erstellung des betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß DüV über eine aggregierte Schlagbilanz (TLL, 2009) erfolgt die Ermittlung des betrieblichen N-Überschusses über eine Summenbildung der N-Zufuhr und N-Abfuhr auf der Ebene der Nutzflächen (2. System-Ebene), dies nivelliert eine mögliche Ungleichverteilung der N-Zufuhr über die Schläge (4. System-Ebene) oder Kulturen (3. System-Ebene). Sollte es aber auf der Einzelschlagenebene eines Betriebes nur einen einzigen Schlag geben, der ein negatives N-Saldo hat, berechnete sich über

eine Aufsummierung der N-Überschüsse auf Schlagebene und unter der Vorgabe, dass ein negatives N-Saldo unberücksichtigt bleibt bzw. als N-Überschuss auf null gesetzt wird, in der Summe ein betrieblicher N-Überschuss, der über dem liegt, der sich über eine N-Bilanzierung von Werten auf der 2. System-Ebene ableiten lässt. Das bedeutet, dass N-Bilanzierungen wie der betriebliche Nährstoffvergleich gemäß aktueller, deutscher Düngeverordnung (DüV, 2007), in den meisten Fällen das betriebliche Gefahrenpotenzial an N-Verlusten unterschätzen. Für den Beispielbetrieb aus Abbildung 5 ergab sich bei Aufsummierung der N-Überschüsse auf der Einzelschlagebene (4. System-Ebene) ein betrieblicher N-Überschuss, der um 6.110 kg N über dem lag, der sich bei einer N-Bilanzierung für das Sub-System „Nutzflächen“ auf der 2. System-Ebene berechnete. Dies steht in Übereinstimmung mit van Beek et al. (2003), die in ihren Untersuchungen feststellten, dass Abschätzungen zur N-Auswaschung, die nicht auf Einzelschlagebene sondern auf einer höheren Aggregationsebene basierten, die N-Auswaschung um 5 bis 46 % unterschätzten.

4.3 Szenarien zum Erreichen einer Absenkung im betrieblichen N-Überschuss (1. System-Ebene)

Zur Darstellung des betrieblichen aber auch gesamthaften Nutzens des vorgestellten Konzepts, wurden mit den Daten der 16 Betriebe zwei Szenarien zur Absenkung ihrer gesamtbetrieblichen N-Überschüsse durchgespielt. Szenario 1: Die Betriebe nutzen das in Tabelle 3 ausgewiesene N-Einsparpotenzial in der Milchviehfütterung und reduzieren entsprechend ihre N-Zufuhr über Futterzukaufe. Im Zusammenhang mit Szenario 1 wurde angenommen, dass die reduzierte Menge an zur Verfügung stehendem betriebseigenem, organischem Dünger den Verkauf bzw. Abgabe und die zur Düngung zur Verfügung stehende Menge dieser Düngerart senkt. Szenario 2: Die Betriebe reduzieren ihren N-Saldo in Bezug auf die Pflanzendüngung und kaufen in erster Linie weniger Mineraldünger zu. Als minimales N-Einsparpotenzial wurde hier der in Tabelle 2 für das Sub-System „Nutzflächen“ ausgewiesene Netto-N-Saldo der Betriebe abzüglich der N_{min}-Menge, die zu Beginn der nachfolgenden Vegetationsperiode 2013 im Boden vorlag, angenommen, d. h. im Durchschnitt der 16 Betriebe errechnete sich ein N-Einsparpotenzial von 42 ± 24 kg N/ha mit betrieblichen Min-Max-Werten von 3 bis 89 kg N/ha.

In der Ausgangssituation (Tabelle 1) ergaben sich für die 16 Betriebe im Durchschnitt ein gesamtbetrieblicher N-Überschuss von 125 kg N/ha und eine N-Effizienz von 51 %. Unter den Annahmen von Szenario 1 würden im Durchschnitt der Betriebe ein gesamtbetrieblicher N-Überschuss von 119 kg N/ha und eine N-Effizienz von 50 % resultieren. Unter Anwendung der Annahmen von Szenario 2 errechneten sich im Durchschnitt ein gesamtbetrieblicher N-Überschuss von 82 kg N/ha und eine N-Effizienz von 61 %. Bei Anwendung beider Szenarien gleichzeitig gäbe es kaum einen Unterschied zu Szenario 2. Der N-Überschuss bliebe bei 82 kg N/ha und die N-Effizienz ginge auf 60 %. Über diese groben Abschätzungen kann abgeleitet werden, dass durch eine

näher an den Bedarf angepasste Fütterung der Milchkühe sowie eine näher am Bedarf angepasste Düngung der Pflanzen der gesamtbetriebliche N-Überschuss abgesenkt werden kann. Für die der vorliegenden Untersuchung zugrunde liegenden Betriebe könnte so allein durch eine näher am Bedarf angepasste Düngung der Pflanzen (Szenario 2) im Durchschnitt der gesamtbetriebliche N-Überschuss um 34 % gesenkt und gleichzeitig die gesamtbetriebliche N-Effizienz um 20 % erhöht werden. Ein in dieser Form reduzierter, gesamtbetrieblicher N-Überschuss reduziert nicht nur die Umweltbelastung, sondern hat auch positive Effekte auf die betriebliche Ökonomie, da er sich bei Anwendung von Szenario 2 bei gleichbleibender gesamtbetrieblicher N-Abfuhr in erster Linie aus einem reduzierten N-Zukauf über Mineraldünger (-42 %) ableitet. Zusätzlich würde bei Szenario 2 die N-Zufuhr über organischem Dünger im Durchschnitt der Betriebe um 0,29 % reduziert werden. Auch wenn bei gleichzeitiger Anwendung von Szenario 1 und 2 sich der gesamtbetriebliche N-Überschuss nicht weiter absenken ließe, läge hier der Vorteil darin, dass sich neben einem reduzierten N-Zukauf über Mineraldünger (-37 %) und einer reduzierten N-Zufuhr über organischen Dünger (-0,29 %) auch der N-Zukauf über Futter (-22 %) reduzieren würde und zusätzlich die N-Abfuhr über organischen Dünger (-58 %). Eine Reduzierung der betrieblichen N-Abfuhr über organischen Dünger würde vor allem auch Betriebe mit hohem Viehbesatz entlasten, bei denen diese N-Abfuhr eher einer notwendigen Entsorgung gleichkommt und oftmals sogar mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Diese Berechnungen dokumentieren das enorme Minderungs- und Optimierungspotenzial im Bereich der Landwirtschaft, das auch vom Sachverständigenrat für Umweltfragen gesehen wird (SRU, 2015) und zeigt auf, dass milchviehhaltende Betriebe durch eine bedarfsangepasste Fütterung und Düngung das Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie (Hoftorbilanz von 80 kg N/ha; Bundesregierung, 2012) erreichen können. Darüber hinaus bestätigt es die Aussagen des Umweltbundesamtes (UBA, 2009), dass

- (1) Managementmaßnahmen und -instrumente zur Verbesserung der Düngeeffizienz ein hohes Reduktionspotenzial sowie eine hohe Kosteneffizienz besitzen; und
- (2) Managementmaßnahmen und -instrumente im Bereich der Landwirtschaft große Synergieeffekte zeigen, d. h. dass eine Steigerung der Stickstoffeffizienz sowohl in der Düngung als auch in der Fütterung zu einem reduzierten Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in den N-Kreislauf führt.

Daraus kann in Übereinstimmung mit Eckard et al. (2010) abgeleitet werden, dass durch die Interaktion der N-Zufuhren und N-Abfuhren im betrieblichen Kontext, ein betriebliches Minderungspotenzial erst durch eine Betrachtung des betrieblichen Gesamtsystems und über einen längeren Zeitraum demonstriert werden kann. Nur so können mögliche betriebliche Zielkonflikte identifiziert und ausbalanciert werden. Nach Aussage von Petersen et al. (2007) ist es gerade auch im Hinblick auf die Bestimmung der Kosteneffektivität von Strategien und Maßnahmen notwendig, die Gesamtheit eines landwirt-

schaftlichen Betriebes mit seinen Innen- und Außenumsätzen zu betrachten. So benötigen landwirtschaftliche Betriebe entsprechend ganzheitliche Bewertungsinstrumente, die alle innerbetrieblichen Nährstoffflüsse sowie Nährstoffexporte und -importe abschätzen können.

5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung am Beispiel von milchviehhaltenden Betrieben machen deutlich, dass landwirtschaftliche Betriebe bei Anwendung des Konzepts der N-Bilanzierung im systemischen Ansatz in die Lage versetzt werden können, ihre betrieblichen N-Flüsse effizient zu steuern und N-Überschüsse zielführend abzusenken. Aus den vorliegenden Ergebnissen wird abgeleitet, dass erst durch die Darstellung der kompletten N-Flüsse durch den gesamten landwirtschaftlichen Betrieb unter Einbeziehung aller betrieblichen Ebenen und in der Gegenüberstellung zum eigentlichen Bedarf wichtige betriebsspezifische Stell-schrauben in Hinblick auf eine Minimierung der N-Verluste und einer Optimierung der Nutzung betriebseigener und zugekaufter N-Ressourcen identifiziert werden können. In diesem Zusammenhang sind übergeordnete Ebenen, wie im vorliegenden Fall die Bilanzierung auf der 1. und 2. betrieblichen System-Ebene, Kontextebenen für die darunterliegenden Ebenen. Sie setzen Bilanzgrößen aus darunterliegenden Ebenen in einen übergeordneten Zusammenhang. Aber erst in den untersten System-Ebenen des Betriebes, in der vorliegenden Untersuchung die 3. und 4. System-Ebenen, werden die betrieblichen Handlungen sichtbar. Dies sind die Ebenen, auf denen im Betrieb die N-Mengen real bewegt werden. Somit können dem Betrieb erst durch die 3. und 4. System-Ebene das wirkliche Ausmaß des N-Einsparpotenzials bzw. die wichtigsten Handlungsoptionen erkennbar gemacht werden. Schlussendlich kann es auch nur ausgehend von diesen Ebenen für den einzelnen Betrieb eine nachvollziehbare und plausibilisierte Zusammenführung der Betriebsdaten für Bilanzierungen in höheren System-Ebenen geben.

Damit entspricht die systemische Analyse der betrieblichen N-Flüsse den nach Angaben des Sachverständigenrats für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU, 2015) auf Seiten des landwirtschaftlichen Produzenten wichtigsten Ansatzpunkte zur N-Verlustminderung, d. h. der Verbesserung der Effizienz und Konsistenz. Umgesetzt in ein anwenderfreundliches Softwareprogramm (das auch Hilfen zur Ergebnisinterpretation und Entscheidungsfindung beinhalten sollte) kann die Anwendung des systemischen Konzepts die landwirtschaftliche Praxis maßgeblich darin unterstützen, eine nachhaltige, ressourcen- und umweltschonende Bewirtschaftungsweise zu etablieren. Durch die weiter fortschreitende Digitalisierung der Landwirtschaft ist zu erwarten, dass die Zusammenführung der notwendigen Datensätze für eine systemische Betriebsanalyse zukünftig sukzessiv erleichtert wird.

Gemäß Verordnungsentwurf zur neuen deutschen Düngeverordnung (BMEL, 2014b) zeichnet sich in der Legislative ab, dass es ab 2018 für die landwirtschaftlichen Betriebe in

Deutschland wahrscheinlich zu einer Wiedereinführung der Hoftorbilanz kommen wird (BMEL, 2014b). Die Düngeverordnung ist das zentrale Instrument des deutschen Aktionsprogramms zur Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Europäische Kommission, 2013). Die vorliegenden Auswertungen von betrieblichen Praxisdaten zeigen auf, dass eine N-Bilanzierung auf der 1. betrieblichen System-Ebene, wozu auch die Hoftorbilanz gehört, keine Bilanzierung ist, die Art und Umfang betrieblicher N-Verluste offenlegt oder Hinweise auf einen betrieblichen Optimierungsbedarf geben könnte. Dies bestätigten auch schon frühere Untersuchungen niederländischer Wissenschaftler in Bezug auf betriebliche N-Verluste generell (Schröder et al., 2003) und die Abschätzung von Nitratauswaschungen insbesondere (van Beek et al., 2003). Um letztendlich das eigentliche Ziel der Düngeverordnung, der Schutz der Umwelt vor übermäßigen N-Einträgen, zu erreichen, wird aus den Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung abgeleitet, dass sich die gesamtbetrieblichen N-Überschüsse nur über die Bilanzierung in der Einzelschlagebene realistisch abschätzen lassen.

Die vorliegenden Auswertungen und Schlussfolgerungen basieren auf Daten von milchviehhaltenden Betrieben (Futterbaubetrieben), die über ein einzelnes Jahr erhoben wurden. Für eine weitere Validierung des Konzepts der N-Bilanzierung im systemischen Ansatz wäre es daher wichtig, auch Datenauswertungen anderer, spezialisierter Betriebstypen wie Veredelungsbetriebe und reine Marktfruchtbetriebe (Betriebe ohne Nutztierhaltung) durchzuführen sowie Datenauswertungen über mehrere Jahre. Die vorliegende Untersuchung beschäftigt sich mit den betrieblichen Mengenflüssen von Stickstoff. Wünschenswert wäre natürlich auch eine Erweiterung der betrachteten Nährstoffe um Phosphat entsprechend des derzeit gültigen betrieblichen Nährstoffvergleichs gemäß Düngeverordnung (DüV, 2007).

Danksagung

Die vorliegenden Auswertungen wurden im Rahmen 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. Im Rahmen des Projektes 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 16 Praxisbetrieben aussprechen. Die Betriebsdaten, die sie den Autoren zur Verfügung gestellt haben, waren die Grundlage für die vorliegenden, konzeptionellen Auswertungen.

Literatur

- Aarts HFM, de Haan MHA (2013) Project "Annual Nutrient Cycling Assessment (ANCA)" [online]. Zu finden in <<http://www.wageningenur.nl/de/Publicatie-details.htm?publicationId=publication-way-343430363135>> [zitiert am 10.11.2015]
- AEUU (2012) Konsolidierte Fassung des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union 26.10.2012 [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A12012E/TXT>> [zitiert am 10.11.2015]
- Bach M, Frede H-G (2005) Methodische Aspekte und Aussagemöglichkeiten von Stickstoff-Bilanzen. Bonn : Ges Förderung Integrierten Landbaus, 56 p, Schr Inst Landwirtsch Umwelt 9
- Baumgärtel G, Breitschuh G, Ebertseder T, Eckert H, Gutser R, Hege U, Herold L, Wiesler F, Zorn W (2007) Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb [online]. Zu finden in <<http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/10-Naehrstoffbilanzierung.pdf>> [zitiert am 12.11.2015]
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014a) Nährstoffbilanz insgesamt/Flächenbilanz/Stallbilanz jeweils von 1990 bis 2012 - in kg N/ha, Aktualisierungen vom 30.04.2014 [online]. Zu finden in <<http://www.bmelv-statistik.de/de/daten-tabellen-suche/>> [zitiert am 18.03.2015]
- BMEL - Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014b) Verordnungsentwurf des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) : Verordnung zur Neuordnung der guten fachlichen Praxis beim Düngen ; Stand 18.12.2014 [online]. Zu finden in <http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Service/Rechtsgrundlagen/Entwurf/EntwurfDuengeverordnung.pdf?__blob=publicationFile> [zitiert am 11.11.2015]
- BMU, BMELV (2012) Nitratbericht 2012 (September 2012) : Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) [online]. Zu finden in <http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Klima-und-Umwelt/Nitratbericht-2012.pdf?__blob=publicationFile&v=3> [zitiert am 11.11.2015]
- Bockmann H-C, Lang R, Jensen N, Junge W, Kalm E (1997) Analyse der Stickstoffbilanzen von Milchkühen. Züchtungskunde 69(2):95-111
- Bundesregierung (2002) Perspektiven für Deutschland : Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung [online]. Zu finden in <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3> [zitiert am 11.11.2015]
- Bundesregierung (2012) Nationale Nachhaltigkeitsstrategie : Fortschrittsbericht 2012 [online]. Zu finden in <http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/2012-05-21-fortschrittsbericht-2012-barrierefrei.pdf?__blob=publicationFile&v=1> [zitiert am 11.11.2015]
- Burgos SA, Embertson NM, Zhao Y, Mitloehner FM, de Peters EJ, Fadel JG (2010) Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen : Relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. J Dairy Sci 93:2377-2386
- Castillo AR, Kebreab E, Beever DE, France J (2000) A review of efficiency of nitrogen utilisation in lactating dairy cows and its relationship with environmental pollution. J Anim Feed Sci 9:1-32
- DBVW - Deutscher Bund der verbandlichen Wasserwirtschaft (2012) Vorschläge zur Novellierung der Düngverordnung [online]. Zu finden in <http://www.wasserverbandstag.de/main/2012-09-06_Vorschlaege_Novellierung_Duengeverordnung_DBVW.pdf> [zitiert am 11.11.2015]
- de Haan MHA (2015) schriftliche Mitteilung vom 12.01.2015
- DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2005) Bilanzierung der Nährstoffausscheidungen landwirtschaftlicher Nutztiere. Frankfurt a M : DLG-Verl, 69 p, Arb DLG 199
- DLG - Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (2008) Abschätzung der Stickstoffausscheidung bei der Milchkühe auf Basis von Milchnährstoffgehalt und Milchleistung [online]. Zu finden in <<http://2015.dlg.org/fileadmin/downloads/fachinfos/futtermittel/02AbschaetzungStickstoffausscheidungMilchkueh.pdf>> [zitiert am 11.11.2015]
- 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. Berlin : Umweltbundesamt, 307 p, Texte / Umweltbundesamt 05/02
- DüV, Düngverordnung (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 S. 221), die zuletzt durch Artikel 5 Absatz 36 des Gesetzes vom 24. Februar 2012 (BGBl. I S. 212) geändert worden ist [online]. Zu finden in <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/d_v/gesamt.pdf> [zitiert am 11.11.2015]
- Eckard RJ, Grainger C, de Klein CAM (2010) Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production : A review. Livest Sci 130:47-56
- EU - Europäische Union (2014) Allgemeines Umweltaktionsprogramm der Union für die Zeit bis 2020 : Gut leben innerhalb der Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten [online]. Zu finden in <<http://bookshop.europa.eu/de/allgemeines-umweltaktionsprogramm-der-union-fuer-die-zeit-bis-2020-pbKH0113833/>> [zitiert am 12.11.2015]
- Europäische Kommission (2013) Bericht der Kommission an den Rat und das Europäische Parlament über die Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG des Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen auf der Grundlage der Berichte der Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2008-2011 : SWD(2013) 405 final [online]. Zu finden in <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52013DC0683&rid=11>> [zitiert am 12.11.2015]
- Ferguson JD, Sklan D (2005) Effects of dietary phosphorus and nitrogen on cattle reproduction. In: Pfeffer E, Hristov AN (eds) Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle : Reducing the environmental impact of cattle operations. Cambridge : CAB, pp 233-253
- GfE - Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (2001) Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Frankfurt a M : DLG-Verl, 136 p. Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere 8
- Higgs RJ, Chase LE, van Amburgh ME (2012) CASE STUDY : Application and evaluation of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System as a tool to improve nitrogen utilization in commercial dairy herds. Professional Anim Scientist 28:370-378
- Kirchgessner M, Stangl GI, Schwarz FJ, Roth FX, Südekum K-H, Eder K (2014) Tierernährung : Leitfaden für Studium, Beratung und Praxis. Frankfurt a M : DLG-Verl, 659 p
- Kluth H, Engelhard T, Rodehutschord M (2003) Zur Notwendigkeit eines Überschusses in der Stickstoffbilanz im Pansen von Kühen mit hoher Milchleistung. J Anim Physiol Anim Nutr 87:280-291
- Kohn RA, Dou Z, Ferguson JD, Boston RC (1997) A sensitivity analysis of nitrogen losses from dairy farms. J Environ Manage 50:417-428
- KringloopWijzer (2015a) Download KringloopWijzer [online]. Zu finden in <<http://www.koeienenkansen.nl/nl/mijnkringloopwijzer/KringloopWijzer-6.htm>> [zitiert am 20.03.2015]
- KringloopWijzer (2015b) Handleiding KringloopWijzer [online]. Zu finden in <<http://www.koeienenkansen.nl/nl/mijnkringloopwijzer/KringloopWijzer-6.htm>> [zitiert am 20.03.2015]
- Nieder R, Köster W, Kersebaum K-C (2007) Beitrag der Landwirtschaft zu diffusen N-Einträgen. Wasserwirtschaft 1-2:53-57
- Oenema O, Kros H, de Vries W (2003) Approaches and uncertainties in nutrient budgets : Implications for nutrient management and environmental policies. Eur J Agron 20:3-16
- Osterburg B, Techen A (2012) Evaluierung der Düngverordnung - Ergebnisse und Optionen zur Weiterentwicklung : Abschlussbericht, Bund-Länder-Arbeitsgruppe zur Evaluierung der Düngverordnung ; Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. Braunschweig : Johann Heinrich von Thünen-Institut, 245 p

- Petersen SO, Sommer SG, Béline F, Bernal M-P, Burton C, Böhm R, Dach J, Dourmad J-Y, Juhász C, Leip A, Mihelic R, Misselbrook T, Nicholson F, Poulsen HD, Provolo G, Sørensen P, Vinnerås B, Weiske A (2007) Recycling of livestock wastes in a whole-farm perspective. *Livest Sci* 112:180–191
- Powell JM, Rotz CA, Wattiaux MA (2014) Potential use of milk urea nitrogen to abate atmospheric nitrogen emissions from Wisconsin dairy farms. *J Environ Qual* 43:1169–1175
- Ryan W, Hennessy D, Murphy JJ, Boland TM, Shalloo L (2011) A model of nitrogen efficiency in contrasting grass-based dairy systems. *J Dairy Sci* 94:1032–1044
- Schils RLM, de Haan MHA, Hemmer JGA, van den Pol-van Dasselaar A, de Boer JA, Evers AG, Holshof G, van Middelkoop JC, Zom RLG (2007) DairyWise : A whole-farm dairy model. *J Dairy Sci* 90:5334–5346
- Schmidt C (2015) Innovationen und technischen Fortschritt im Bereich Big Data für die Landwirtschaft nutzen und sichern : Bundeslandwirtschaftsminister zu Gast bei der DLG-Wintertagung [online]. Zu finden in <<http://www.bmel.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/2015/004-SC-DLG-Wintertagung.html>> [zitiert am 12.11.2015]
- Schröder JJ, Aarts HFM, ten Berge HFM, van Keulen H, Neeteson JJ (2003) An evaluation of whole-farm nitrogen balances and related indices for efficient nitrogen use. *Eur J Agron* 20:33–44
- Schröder J, Bannink A, Kohn R (2005) ^A Improving the efficiency of nutrient use on cattle operations. In: Pfeiffer E, Hristov AN (eds) *Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle : Reducing the environmental impact of cattle operations*. Cambridge : CAB, pp 255–280
- Schweigert P, van der Ploeg RR (2002) N-Effizienz der landwirtschaftlichen Produktion in der Bundesrepublik Deutschland nach 1950 : Fakten und Bewertung. *Ber Landwirtsch* 80(2):185–212
- Spek JW, Dijkstra J, van Duinkerken G, Hendriks WH, Bannink A (2013) Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America : A meta-analysis. *J Dairy Sci* 96:4310–4322
- Spiekers H, Obermaier A (2007) Milchharnstoffgehalt und N-Ausscheidung. *Schule Beratung* (4-5):III4-III9
- SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2015) Stickstoff : Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem ; Sondergutachten ; Hausdruck [online]. Zu finden in <http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2012_2016/2015_01_SG_Stickstoff_HD.pdf;jsessionid=36B20D520ABA1221791C1264B093E88E.1_cid325?__blob=publicationFile> [zitiert am 12.11.2015]
- Stein-Bachinger K, Bachinger J, Schmitt L (2004) Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau : Ein Handbuch für Beratung und Praxis ; Berechnungsgrundlagen, Faustzahlen, Schätzverfahren zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ; Handlungsempfehlungen zum effizienten Umgang mit innerbetrieblichen Nährstoffressourcen, insbesondere Stickstoff. Münster : Landwirtschaftsverl, 136 p, KTBL-Schr 423
- TLL - Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2009) Anlage 4 : Aggregierte Schlagbilanz für Stickstoff und Nmin-Werte für KULAP W1. [online]. Zu finden in <<http://www.tll.de/ainfo/pdf/anlage4-w1.pdf>> [zitiert am 12.11.2015]
- UBA - Umweltbundesamt (2009) Integrierte Strategie zur Minderung von Stickstoffemissionen [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/integrierte-strategie-zur-minderung-von>> [zitiert am 12.11.2015]
- UBA - Umweltbundesamt (2014) Novellierung der Düngeverordnung : Kurzstellungnahme der Kommission Landwirtschaft beim Umweltbundesamt (KLU) [online]. Zu finden in <<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/novellierung-der-duengeverordnung>> [zitiert am 11.11.2015]
- UBA - Umweltbundesamt (2015) Kartendienst Hintergrundbelastungsdaten Stickstoff : Bezugsjahr 2009 [online]. Zu finden in <<http://gis.uba.de/website/depo1/>> [zitiert am 12.11.2015]
- van Beek CL, Brouwer L, Oenema O (2003) The use of farmgate balances and soil surface balances as estimator for nitrogen leaching to surface water. *Nutr Cycl Agroecosyst* 67:233–244
- VDLUFA - Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (2010) Stellungnahme des AK „Nachhaltige Nährstoffhaushalte“ im VDLUFA zur Methode der Nährstoffbilanzierung im landwirtschaftlichen Betrieb [online]. Zu finden in <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Fachgruppen/AKNachhaltigeNaehrstoffhaushalte/VDLUFA_Stellungnahme_Hofterbilanz.pdf> [zitiert am 12.11.2015]
- VDLUFA - Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten / Arbeitskreis Nachhaltige Nährstoffhaushalte (2012) Vorschlag zur Novellierung der Düngeverordnung [online]. Zu finden in <http://www.vdlufa.de/download/AK_Nachhaltige_Naehrstoffhaushalte.pdf> [zitiert am 12.11.2015]
- WBA/WBD/SRU (2013) Novellierung der Düngeverordnung : Nährstoffüberschüsse wirksam begrenzen ; Kurzstellungnahme der Wissenschaftlichen Beiräte für Agrarpolitik (WBA) und für Düngungsfragen (WBD) beim Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und des Sachverständigenrates für Umweltfragen der Bundesregierung (SRU) zur Novellierung der „Düngeverordnung“ (DüV) vom 23.08.2013 [online]. Zu finden in <<http://www.bmelv.de/Shared-Docs/Downloads/Ministerium/Beiraete/Duengungsfragen/NovelleDuengeverordnung.html>> [zitiert am 12.11.2015]

^A Nach Angaben von Bannink (schriftlicher Bestätigung vom 03.03.2015) enthält die Schätzgleichung zur N-Aufnahme einen Tippfehler. Der Operator für die Variable Milchmenge muss, wie in den anderen beiden Schätzgleichungen, ein Minuszeichen sein.

