



Berichte über Landwirtschaft

Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft

BAND 101 | Ausgabe 2

Agrarwissenschaft
Forschung

Praxis

Dreijährige Stoffstrombilanzierung auf Milchviehbetrieben in Nordwest-Niedersachsen unter Anwendung der Novellierungsvorschläge aus dem Evaluierungsbericht der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV)

Von Friederike Sieve, Frerich Wilken, Johannes Iselstein, Manfred Kayser

Abkürzungen

BLAG	Bund-Länder-Arbeitsgruppe
BLE	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
DüV	im Jahr 2020 aktualisierte Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECM	Energie-korrigierte Milch, 4,0 % Fett, 3,4% Eiweiß
GFL	Grundfutterleistung in %
GVE	Großvieheinheit [500 kg Lebendmasse]
ha	Hektar
LfL	Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche in ha
MW	arithmetisches Mittel
N	Stickstoff
P	Phosphor (P_2O_5)
R^2	Statistisches Bestimmtheitsmaß
SD	Standardabweichung
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
StoffBilV	Stoffstrombilanzverordnung (2017, zuletzt geändert am 10.08.2021)

1 Einleitung

Stickstoff (N) ist ein elementarer Nährstoff in der landwirtschaftlichen Produktion. Sein Einsatz trägt essenziell zur Produktion von Nahrungsmitteln und damit zur Versorgung der Weltbevölkerung bei (CAMPBELL ET AL., 1995; SMIL, 1999). Gleichzeitig stellen Überschüsse und eine ineffiziente Nutzung von N eine Bedrohung für das ökologische Gleichgewicht, die Biodiversität und das Klima dar (SUTTON UND BLEEKER, 2013). Der weltweite Einsatz von Stickstoff in der Landwirtschaft ist von gut 84 Mio. t im Jahr 2002 auf mehr als 113 Mio. t im Jahr 2020 gestiegen (FAO, 2022).

Bereits im Jahr 1991 wurde mit der EU Nitrat Richtlinie 97/676/EWG die gesetzliche Grundlage geschaffen, die Belastung von Gewässern durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen zu begrenzen (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1991). Am 21. Juni 2018 hat der Europäische Gerichtshof zum zweiten Mal bestätigt, dass die damalige Düngeverordnung (DÜV, 2017) in der Bundesrepublik Deutschland nicht ausreichte, um die Nitratbelastung der Gewässer zu reduzieren (EUROPÄISCHER GERICHTSHOF, 2018). Auch die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung sieht eine Verminderung des N Überschusses aus der Landwirtschaft bis 2030 auf 70 kg N ha⁻¹ vor (BUNDESREGIERUNG, 2021).

Stoffstrombilanzierung

An dieser Stelle setzt die Stoffstrombilanz an, indem sie Nährstoffflüsse für Stickstoff und Phosphor auf landwirtschaftlichen Betrieben unter Beachtung der guten fachlichen Praxis transparent abbildet (TAUBE ET AL., 2020). Dazu müssen alle dem Betrieb innerhalb eines Bezugsjahres zugeführten und abgegebenen Mengen an Stickstoff und Phosphor aufgeführt und ein Bilanzsaldo für beide Nährstoffe errechnet werden (BMEL, 2017). Bilanzglieder auf der Input-Seite sind: mineralischer Dünger, Aufnahme von betriebsfremdem Wirtschaftsdünger, Futtermittel, Saatgut, landwirtschaftliche Nutztiere und biologische N-Fixierung. Dem gegenüber stehen folgende Output-Größen: pflanzliche Erzeugnisse, tierische Erzeugnisse, Abgabe von betriebseigenem Wirtschaftsdünger, Futtermittel, Saatgut und landwirtschaftliche Nutztiere. Die Differenz aus Zufuhr und Abfuhr pro Hektar [ha] landwirtschaftlicher Nutzfläche ergibt so den Brutto-Stoffstrombilanzsaldo. Bis zum 31. Dezember 2022 galten folgende Bewertungsmaßstäbe der Salden: für Stickstoff musste sichergestellt sein, dass im Durchschnitt der letzten drei Bezugsjahre der zulässige Brutto-Bilanzwert von 175 kg ha⁻¹ nicht überschritten wird, für Phosphor gab es bisher keinen Bewertungsmaßstab (BMEL, 2017). Anlage 4 der StoffBilV (2017) gibt die Möglichkeit der Berechnung eines für den einzelnen Betrieb individuellen, zulässigen Bilanzwertes für Stickstoff. Dabei werden Stickstoffverluste, die bei der Lagerung von Wirtschaftsdüngern oder Gärsubstraten, bei der Ausbringung von betriebseigenen und aufgenommenen organischen Düngemitteln, bei der Lagerung von Grobfutter und bei der

Weidehaltung entstehen, berücksichtigt und ein Netto-Stoffstrombilanz-Saldo erstellt. Der Betriebsinhaber kann entscheiden, welcher der beiden Bewertungsmaßstäbe (Brutto 175 kg N ha^{-1} oder betriebsindividuelle Netto-Berechnung) zugrunde gelegt werden soll (BMEL, 2017).

Evaluierung der StoffBiV und Novellierungsvorschlag

Aufgrund der verstrichenen Frist ist eine Novellierung der StoffBiV notwendig. Hierzu wurde bereits eine ausführliche Evaluierung der geltenden StoffBiV durch eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe (BLAG) und eine ExpertInnengruppe, bestehend aus VertreterInnen der Wissenschaft, Praxisberatung und Politikberatung, in Abstimmung zwischen dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) veröffentlicht (BMEL, 2021). Dieser Bericht enthält zum einen die bisherigen Erfahrungen zur Umsetzung der StoffBiV der zuständigen Länderbehörden und zum anderen drei neu erarbeitete Vorschläge für die Bewertung der zulässigen N-Bilanzsalden und zwei für die Bewertung der P-Bilanzsalden. Einigkeit zwischen der BLAG und der ExpertInnengruppe besteht darüber, dass die Stoffstrombilanz grundsätzlich ein geeignetes Instrument darstellt, um Nährstoffflüsse und Stickstoffüberschüsse aus der Landwirtschaft abzubilden. Zu dieser Einschätzung kommen auch LÖW ET AL. (2021) in einem Methodenvergleich zur Regulierung von N-Ausbringungsmengen in Deutschland. Doch um das in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie formulierte Ziel, den Stickstoffüberschuss in der deutschen Gesamtbilanz auf 70 kg N ha^{-1} zu senken, zu erreichen, müssten weitergehende Änderungen vorgenommen werden. So schätzen auch LÖW ET AL. (2021) die Wirksamkeit des bisherigen generellen Brutto-N-Grenzwertes von 175 kg ha^{-1} als gering ein und sehen besonders für tierhaltende Betriebe eine potenzielle Steigerung der Stickstoffausnutzungseffizienz im Gebrauch der betriebsspezifischen Netto-N-Salden. Die Einschätzung der ExpertInnen im Evaluierungsbericht lautet, dass die Vorschläge 2 und 3 (für Stickstoff) die Zielerreichung der Nachhaltigkeitsstrategie in stärkerem Maße absichern als Vorschlag 1 (BMEL, 2021). Im Folgenden werden die drei Stickstoff-Vorschläge zur Bewertung des Stoffstrombilanzsaldos auf Praxisdaten angewendet. Eine detaillierte Beschreibung zur Berechnung der Vorschläge findet sich in Kapitel 2.5.

Auch für Phosphor werden zwei Vorschläge zur Bewertung des P-Stoffstrombilanzsaldos aufgezeigt. Beide Vorschläge legen die Berechnung der Stoffstrombilanz für Phosphat gemäß Anlage 2 StoffBiV (BMEL, 2017) sowie die Phosphat Gehalte im Boden bzw. die Phosphor Gehaltsklassen im Boden gemäß VDLUFA (2018) zugrunde (BMEL, 2021). Da uns diese Daten für die hier untersuchten Milchviehbetriebe nicht vorliegen, wird sich auf die Analyse der N-Vorschläge beschränkt.

Betriebsdaten von Milchviehbetrieben im Rahmen des Projektes „Waterbuddies“

Im Rahmen des von der Bundesanstalt für Ernährung und Landwirtschaft (BLE) geförderten Verbundvorhabens „Waterbuddies“ werden Nährstoffeinträge aus norddeutschen Grünlandgebieten über Entwässerungsgräben in die Nordsee untersucht. Neben Untersuchungen des Grabenwassers und der Grabenflora und -fauna wurden auch Stoffstrombilanzen für die beteiligten 23 Milchviehbetriebe für die Jahre 2019, 2020 und 2021 erstellt.

Niedersachsen weist den zweitgrößten Milchviehbestand der Bundesländer in Deutschland auf und hat in den vergangenen Jahren eine deutliche Intensivierung der Produktion in Grünlandregionen entlang der Nordseeküste erlebt (NIER AND TAMÁSY, 2015). Insbesondere der Landkreis Wesermarsch ist von Grünlandwirtschaft geprägt, weshalb er für das Projekt als Versuchsgebiet ausgewählt wurde. Mit mehr als 80 Milchkühen pro 100 ha und einem Dauergrünlandanteil von mehr als 70% der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) hat dieser Landkreis neben dem Landkreis Leer jeweils den höchsten Anteil in Niedersachsen. Somit trägt die Milchviehwirtschaft einen essenziellen Teil zur Wertschöpfung in diesem ländlichen Raum bei (NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2022; NIER UND TAMÁSY, 2015).

In der vorliegenden Studie werden in einem ersten Schritt die Brutto-Stoffstrombilanzsalden dieser Praxisbetriebe anhand folgender Fragestellungen untersucht:

- Wie fallen die Brutto-Stoffstrombilanzsalden von praktischen Milchviehbetrieben im dreijährigen Mittel aus?
- Was sind die Haupteinflussfaktoren auf die Höhe der Brutto-Stoffstrombilanzsalden?

In Anbetracht der bevorstehenden Novellierung der StoffBilV werden im zweiten Schritt die drei Vorschläge zur Bewertung der N-Bilanzsalden auf die dreijährigen Stoffstromdaten der Projektbetriebe angewandt. Diese praktische Anwendung liefert relevante Daten aus der Praxis und soll damit der weiteren Einschätzung der Vorschläge dienen. Zudem bietet sie den Projektbetrieben einen Ausblick auf zukünftige Grenzwerte. Die Forschungsfrage lautet:

- Wo liegen die Milchviehbetriebe mit ihrem N-Bilanzsaldo, wenn der Grenzwert nach den drei neuen Evaluierungsvorschlägen errechnet wird?

2 Methodik

Bezugsjahre für diese Untersuchung sind die Jahre 2019, 2020 und 2021 und das daraus ermittelte dreijährige Mittel (2019 - 2021).

2.1 Versuchsregion

Die Versuchsregion befindet sich in Nordwest-Deutschland, im nördlichen Niedersachsen und umfasst Teile der Landkreise Ammerland, Friesland und Wesermarsch. Sie erstreckt sich zwischen 53°11' und 53°24' Nord und 8°01' und 8°22' Ost und gehört zum Wassereinzugsgebiet der Jade. Drei Bodenlandschaften sind charakterisierend für die Region: Geest, Moor und Marsch. Im Südwesten liegt die Geest mit einer vorwiegend sandigen Bodentextur, während im Nordosten die Marschböden mit einem hohen Tonanteil zu finden sind. Die Moorböden befinden sich zwischen diesen beiden Bodenlandschaften. Die gesamte Küstenregion ist durch Grünland- und Milchviehwirtschaft geprägt. Eine ackerbauliche Bewirtschaftung auf diesen tonhaltigen Böden ist nur sehr begrenzt oder gar nicht möglich. Auf den sandigen Geeststandorten lässt sich hingegen Ackerbau betreiben, sodass dort neben Mais auch Getreide angebaut wird (SIEVE ET AL., 2023; STIRM UND ST-PIERRE, 2003).

Abbildung 1 zeigt die Klimadaten für die Versuchsregion. Insgesamt fielen im Jahr 2019 658 mm Niederschlag bei einer durchschnittlichen Lufttemperatur von 10,6°C. 2020 gab es 637 mm Niederschlag bei 10,8°C durchschnittlicher Lufttemperatur. In beiden Jahren hat es besonders im Juli wenig geregnet und auch das Frühjahr (April und Mai) beider Jahre war jeweils trocken. Das Jahr 2021 hingegen ist deutlich feuchter und etwas kühler ausgefallen mit einer Jahresniederschlagssumme von 797 mm und durchschnittlich 9,8°C Lufttemperatur. Anders als in den Vorjahren hat es besonders im Juli und auch im Frühjahr 2021 ausreichend geregnet.

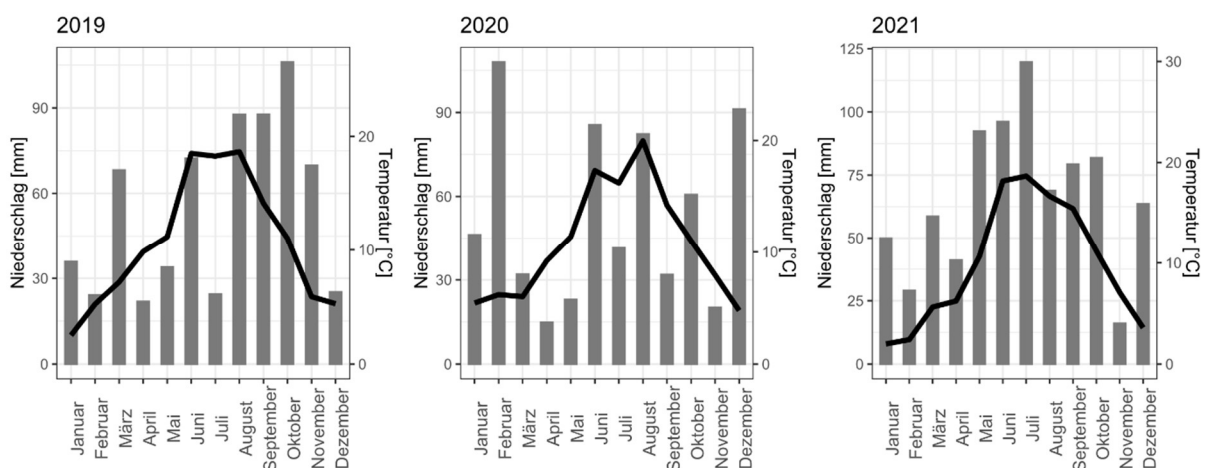


Abbildung 1: Klimadaten (Niederschlag [mm] und Temperatur [°C]) für die Versuchsregion interpoliert zwischen den Wetterstationen Wehnen und Ovelgönne (DWD) für die Jahre 2019, 2020 und 2021.

2.2 Betriebe

Bei den 23 an der Studie beteiligten Betrieben handelt es sich um konventionelle Milchviehbetriebe, deren hauptsächliche Wertschöpfung in der Milchproduktion liegt. Ein Betrieb besitzt seit 2019 eine eigene Biogasanlage und fünf Betriebe kooperieren fest mit einer Gemeinschafts-Biogasanlage. Im Durchschnitt bewirtschaften die Betriebe 160 ha landwirtschaftliche Nutzfläche (49 – 350 ha) bei einem Anteil der Maisanbaufläche von durchschnittlich 23% (0 – 50%) (Tabelle 1). Die Betriebe haben durchschnittlich 199 Milchkühe (71 - 522) bei einem durchschnittlichen Tierbesatz von 1,9 GVE pro ha LN (1,4 – 2,9). Die Jahresmilchmenge (Energie-korrigierte Milch, ECM) beträgt im Durchschnitt 1.840.908 kg ECM (546.258 – 4.404.699 kg ECM) bei einer jährlichen Milchleistung von 9.179 kg ECM pro Kuh (5.900 – 11.479 kg) und 11.464 kg ECM pro ha LN (5.365 – 19.382 kg). Zur Erzeugung eines Liters Milch werden durchschnittlich 0,308 kg Kraftfutter eingesetzt (0,231 – 0,368 kg). Die Bruttostoffstrombilanzen ergeben für Stickstoff einen durchschnittlichen Saldo von 133 kg N ha⁻¹ (79 - 190 kg N ha⁻¹) und für Phosphor 24 kg P₂O₅ ha⁻¹ (11 – 42 kg P₂O₅ ha⁻¹). Zusätzlich wurde die Grundfutterleistung [%] für alle Betriebe und Jahre errechnet. Dabei wird angenommen, dass die Kuh die bereitgestellte Energie aus dem Kraftfutter sowohl für die Leistung (Erzeugung der Milch) als auch zu einem kleineren Anteil für die Erhaltung nutzt. Die individuellen Anteile für Leistung und Erhaltung bemessen sich anhand der Milchleistung pro Kuh des Betriebes (LEISEN ET AL., 2013). Die einzelbetrieblichen Kennzahlen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Betriebe wurden im Rahmen des Verbundvorhabens anhand mehrerer Kriterien ausgewählt. Es wurden Betriebe ausgesucht, die auf den Bodenlandschaften Geest, Moor und Marsch wirtschaften und die auf mindestens einer ihrer Grünlandflächen einen Entwässerungsgraben aufweisen, der keine Zuflüsse aus anderen Gräben hat. Die Betriebsauswahl bildet ein breites Spektrum von Betriebsgrößen und -intensitäten ab (Tabelle 1) und ist als repräsentativ für die Region zu bewerten. Der Datensatz für 2019 umfasst die Bilanzen von 22 Betrieben, 2020 sind es 23 und 2021 20 Betriebe, sodass insgesamt 65 Bilanzen ausgewertet wurden. Die fehlenden Bilanzen sind auf unvollständige Daten der Betriebe zurückzuführen. Um die Grundgesamtheit von 23 unterschiedlichen Betrieben erhalten zu können, wurden die Betriebe aber berücksichtigt, solange Daten aus zwei Jahren vorlagen. Dementsprechend ist das Mittel auf vier Betrieben (G, I, Q und V) ein Mittel aus zwei und nicht drei Jahren. Zur Identifikation der Unterschiede zwischen den niedrigsten und höchsten Bilanzsalden wurden zwei Gruppen gebildet. Verglichen wurden die 25% niedrigsten Bilanzsalden mit den 25% höchsten Bilanzsalden. Bei einer Gesamtanzahl von 65 Bilanzen ergibt dies 16 Bilanzen pro Gruppe.

2.3 Datenaufnahme

Die Datenaufnahme fand in allen drei Jahren in persönlichen Gesprächen mit den BetriebsleiterInnen auf den Betrieben statt. Anhand einer selbst entworfenen Checkliste wurden alle Daten, die für die Berechnung einer Stoffstrombilanz notwendig sind, erhoben und weitere Betriebsdaten wie beispielsweise eine etwaige Hofnachfolge, Güllelagerraum und geplante Veränderungen auf dem Betrieb abgefragt.

2.4 Brutto-Bilanzen

Die Brutto-Stoffstrombilanzen wurden nach den Vorgaben der aktuell geltenden StoffBiV (2017, zuletzt geändert am 10.08.2021) berechnet. Dazu werden alle Zufuhr- und Abfuhrgrößen der Nährstoffe Stickstoff (N) und Phosphor (P_2O_5) für ein Kalenderjahr erfasst. Innerbetriebliche Nährstoffströme werden bei dieser Bilanzierung nicht berücksichtigt. Es ergeben sich betriebliche N- und P-Salden, die jeweils auf die landwirtschaftliche Nutzfläche bezogen werden ($kg\ ha^{-1}$).

Es werden folgende Nährstoff-Zufuhrgrößen erfasst: mineralische Düngemittel, Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, sonstige organische Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate, Pflanzenhilfsmittel, Futtermittel, Saatgut (inkl. Pflanzgut und Vermehrungsmaterial), Zukauf landwirtschaftlicher Nutztiere, Stickstoffzufuhr durch Leguminosen und ggf. weitere sonstige Stoffe.

Bei der Nährstoffabgabe finden folgende Größen Berücksichtigung: pflanzliche Erzeugnisse, tierische Erzeugnisse, Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft, sonstige organische Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate, Pflanzenhilfsmittel, Futtermittel, Saatgut (inkl. Pflanzgut und Vermehrungsmaterial), Abgang landwirtschaftlicher Nutztiere und ggf. weitere sonstige Stoffe.

Die Stoffstrombilanz stellt die Zufuhr der Abfuhr gegenüber. Die Differenz pro landwirtschaftliche Nutzfläche ($kg\ ha^{-1}$) ergibt den Brutto-Bilanzsaldo.

2.5 Berechnung des betriebsindividuellen Bilanzwertes entsprechend den Vorschlägen des Evaluierungsberichts

Die folgende Beschreibung der drei Bewertungsvorschläge für die Stickstoffbilanz ist eine Zusammenfassung nach dem Evaluierungsbericht zur StoffBiV (BMEL, 2021). Details und weitergehende Ausführungen sind dort aufgeführt.

Vorschlag 1

Der erste Vorschlag stammt von der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und wird im Folgenden ‚Vorschlag 1‘ genannt (BMEL, 2021). Es handelt sich um einen Vorschlag zur Bewertung der betrieblichen Stoffstrombilanz im dreijährigen Mittel gemäß Anlage 2 StoffBiV (2017) und verfolgt das Ziel, Betriebe mit und ohne Fläche und die Verwertung von inner- und überbetrieblichen organischen Düngemitteln jeweils gleich zu bewerten. Generell sieht dieser Vorschlag eine Unterteilung in zwei Szenarien „bis 2029“ und „ab 2030“ vor, um mithilfe von geringeren Verlustfaktoren die zu erwartenden N Effizienzsteigerungen ab 2030 zu berücksichtigen. Der zulässige betriebliche N-Bilanzwert setzt sich wie folgt zusammen:

- Stall- und Lagerverluste: Gasförmige Verluste in Stall und Lager, die bei der Erzeugung organischer Düngemittel entstehen. Nach Anlage 2 DüV (2020) werden für Rindergülle 15% Verluste veranschlagt, die ab dem Jahr 2030 um 10% auf 13,5% reduziert werden sollen.
- Nutzungseffizienz Erzeugung organischer Dünger: Es werden pauschal 18% (ab 2030 16,2%) abgezogen, um der schwankenden Effizienz in der Fütterung und Biogaserzeugung Rechnung zu tragen.
- Nutzungseffizienz Verwertung organischer Dünger: Hiermit wird berücksichtigt, dass aufgebrachtes N aus organischem Dünger nicht vollständig pflanzenbaulich wirksam ist. Bezugsgröße ist die ausgebrachte N-Menge an organischem Dünger (nach Abzug von Stall- und Lagerverlusten gemäß Anlage 2 DüV 2020). Es wird differenziert nach Art des organischen Düngers, wodurch für Gülle, Hühnerfestmist und Gärrückstände 25% Verluste angerechnet werden, für Stallmist von Huf- und Klautieren hingegen 60%. Weitere 10% für die Nachlieferung aus den Vorjahresanwendungen sind bereits berücksichtigt. Ab 2030 gilt eine Reduktion der zulässigen N-Überschüsse auf 22,5% bzw. 54%.
- Zulässiger N-Überschuss Fläche: Der sogenannte „Sockel“ von 50 kg N ha⁻¹ (ab 2030 35 kg N ha⁻¹), angelehnt an den ehemaligen Kontrollwert des Nährstoffvergleichs der DüV 2020, wird generell für einen flächenbezogenen N-Überschuss angenommen.

Gleichung zur Berechnung des zulässigen Bilanzwertes nach Vorschlag 1:

Zulässiger betrieblicher Bilanzwert [kg N ha⁻¹] =

(Anfall organischer Dünger x zulässiger Überschuss_{Stall/Lager})
+ (Aufbringung organischer Dünger x zulässiger Überschuss_{Aufbringung})
+ (landwirtschaftliche Fläche x zulässiger Überschuss_{Fläche})
/ landwirtschaftliche Fläche

[zulässiger Überschuss_{Stall/Lager} = Verluste DüV + Nutzungseffizienz organischer Dünger]

Vorschlag 2

Der Vorschlag von Prof. F. Taube und Dr. M. Bach wird mit dem Untertitel „120/120-Modell“ geführt und im Folgenden ‚Vorschlag 2‘ genannt (BMEL, 2021). Auch hier wird die dreijährige Brutto-Stoffstrombilanz als Bezugsgröße zugrunde gelegt. Die Ermittlung des betriebsspezifischen zulässigen Bilanzwertes soll möglichst einfach und transparent durchzuführen sein. Der zulässige Bilanzwert setzt sich wie folgt zusammen:

- Zulässiger N-Überschuss organische Düngung: Für die erzeugte Menge organischer Düngemittel wird ein pauschaler Verlustfaktor festgelegt, der die Verluste in Stall, Lager und bei der Aufbringung berücksichtigt und dabei nicht zwischen den verschiedenen organischen Düngemitteln differenziert. Im Zeitraum 2021 bis 2024 wird der pauschale Verlustfaktor von 58,3% angenommen.
- Zulässiger N-Überschuss Fläche: Wie bei Vorschlag 1 wird für den „Sockel“ auch hier 50 kg N ha⁻¹ veranschlagt.
- Der zulässige Bilanzwert eines Betriebes wird bei einer Norg Düngung ab 120 kg N ha⁻¹ begrenzt. Vorschlag 1 und 3 begrenzen erst bei einer Norg Düngung von 170 kg N ha⁻¹. Dies bedeutet, dass Betriebe zwar mehr als 120 kg N ha⁻¹ organisch düngen können, aber für die höhere Gabe keine gasförmigen Verluste angerechnet werden. Dieser Mechanismus soll eine bessere Verwertungseffizienz erforderlich machen.
- Die zulässigen N-Überschüsse werden in Dreijahresschritten von 2021 bis 2030 gestaffelt und verringern sich nicht erst wie bei Vorschlag 1 und 3 im Jahr 2030 abrupt.

Im Rahmen der Evaluierung der StoffBiV wurde der Vorschlag 2 kritisch gesehen, da er keine Regelungen für flächenarme/flächenlose Betriebe vorsieht. Außerdem wurde die Meinung vertreten, dass die Annahmen zu N-Verlusten nicht so pauschal angenommen und stattdessen möglichst denen der DüV entsprechen sollten. Aus diesem Grund wurde dieser Vorschlag innerhalb des Evaluierungsberichtes nicht weiterverfolgt.

Gleichung zur Berechnung des zulässigen Bilanzwertes nach Vorschlag 2 (zwei Optionen):

$$\underline{N(\text{org}) \text{ Anfall} \leq 120 \text{ kg N ha}^{-1}}$$

$$\text{Zulässiger Bilanzwert [kg N ha}^{-1}\text{]} =$$

$$(50 \times \text{landwirtschaftliche Fläche} + 0,583 \times \text{Anfall organischer Dünger}) / \text{landwirtschaftliche Fläche}$$

$$\underline{N(\text{org}) \text{ Anfall} > 120 \text{ kg N ha}^{-1}}$$

$$\text{Zulässiger Bilanzwert [kg N ha}^{-1}\text{]} = 120$$

Vorschlag 3

Der dritte Vorschlag wird mit „DüV-orientiert“ betitelt und im Folgenden ‚Vorschlag 3‘ genannt (BMEL, 2021). Er hat das Ziel, die Vorschläge 1 und 2 zu harmonisieren und in Einklang mit den geltenden Koeffizienten aus der DüV zu bringen. Folgende Komponenten ergeben den zulässigen betriebsspezifischen Bilanzwert:

- Stall- und Lagerverluste: Gasförmige Verluste in Stall und Lager, die bei der Erzeugung organischer Düngemittel entstehen. Nach Anlage 2 DüV (2020) werden für Rindergülle 15% Verluste veranschlagt.
- Zulässiger N-Überschuss Aufbringung: Hier wird der Ausnutzung des N aus organisch und organisch-mineralischen Düngemitteln gemäß Anlage 3 DüV (2020) Rechnung getragen. Für Rindergülle werden in der DüV bis 2029 70% Mindestausnutzung (60% + 10% Nachlieferung aus dem Vorjahr) veranschlagt. Ab 2030 wird für Rindergülle von einer Mindestausnutzung von 80% ausgegangen.
- Zulässiger N-Überschuss Fläche: Wie in Vorschlag 1 und 2 wird auch hier ein „Sockel“ von 50 kg N ha⁻¹ in Anrechnung gebracht. Anders als bei den Vorschlägen 1 und 2 reduziert sich der „Sockel“ ab dem Jahr 2030 auf 40 kg N ha⁻¹.
- Besonderheit Grünlandbetriebe (> 75% der gesamten bewirtschafteten Nutzfläche sind Grünland): Pauschale Erhöhung des zulässigen betriebsspezifischen Bilanzwertes um 10 kg N ha⁻¹, um etwaige Nährstoffüberhänge auf grünlandbasierten Milchviehbetrieben aufgrund von vergleichsweise höherem Proteinüberschuss in der Ration zu berücksichtigen.

Da der Vorschlag 3 im Zuge der Evaluierung durch die ExpertInnengruppe entwickelt wurde, wurde noch nicht zu allen Punkten Konsens hergestellt.

Gleichung zur Berechnung des zulässigen Bilanzwertes nach Vorschlag 3:

Zulässiger betrieblicher Bilanzwert [kg N ha⁻¹] =

$$\begin{aligned} & ((\text{Anfall organischer Dünger} \times \text{zulässiger Überschuss}_{\text{Stall/Lager}}) \\ & + (\text{Aufbringung organischer Dünger} \times \text{zulässiger Überschuss}_{\text{Aufbringung}}) \\ & + (\text{landwirtschaftliche Fläche} \times \text{zulässiger Überschuss}_{\text{Fläche}})) \\ & / \text{landwirtschaftliche Fläche} \end{aligned}$$

[+ 10 kg N ha⁻¹ bei >75% Grünland der landwirtschaftlichen Fläche]

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden für alle Brutto-Bilanzen die jeweiligen betriebsspezifisch zulässigen Bilanzwerte nach den drei Vorschlägen berechnet und die Differenzen zu den Brutto-Bilanzen ermittelt. Diese Differenzen zwischen dem Brutto-N-Saldo und den nach den einzelnen Vorschlägen ermitteltem Bilanzwert sind in den Abbildungen 4-6 dargestellt. Außerdem wurden die Bilanzen im dreijährigen Mittel danach unterteilt, ob der Betrieb seinen betriebsspezifischen zulässigen Saldo über- oder unterschreitet (Tabelle 4).

2.6 Statistik

Die statistische Auswertung wurde mit der Software R (R version 4.2.2, 2022, The R Foundation for Statistical Computing) durchgeführt.

Graphiken wurden mit dem package ‚ggplot2‘ erstellt. Zum Vergleich der 25% niedrigsten und 25% höchsten Bilanzen (jeweils $n = 16$ Bilanzen) wurde ein t-Test mit $\alpha = 0,05$ genutzt. Lag keine Normalverteilung der Daten vor, wurde der Wilcoxon-Test genutzt (SAINANI, 2012). Zur Berechnung des Zusammenhangs N-Saldo \sim Mineraldüngerzukauf und P-Saldo \sim Futterzukauf wurden gemischte lineare Modelle aufgestellt. Mineraldüngerzukauf und Futterzukauf wurden als fixe Faktoren angesehen und als zufällige Faktoren wurde jeweils ‚Betrieb in Jahr genestet‘ eingesetzt.

Tabelle 1: Kennzahlen der Betriebe (A-W) im dreijährigen Mittel. Für die Betriebe G, I, Q und V wurde das zweijährige Mittel verwendet.

ID	Bodenland- schaft Betrieb	Landwirtschaft- liche Nutz- fläche [ha]	Maisanteil an LN [%]	Anzahl Milchkühe	GVE/ LN	Milchmenge gesamt [kg ECM]	ECM/LN	Milchleistung (ECM) pro Kuh [kg]	Grundfutter- leistung [%]	Kraftfutter/ ECM [kg L ⁻¹]	N-Saldo [kg N ha ⁻¹]	P-Saldo [kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹]
A	Geest	140	44	120	1,4	1.192.891	8.563	9.993	44	0,368	105	13
B	Moor	145	25	153	1,7	1.580.603	10.937	10.328	62	0,256	148	37
C	Marsch	98	4	127	1,4	998.813	10.194	7.936	62	0,266	81	11
D	Geest	102	33	120	2,3	1.243.619	12.221	10.352	49	0,338	176	32
E	Geest	201	29	262	1,7	2.582.276	12.835	9.843	60	0,253	134	24
F	Moor	176	5	203	2,1	1.579.573	8.989	7.772	52	0,344	129	35
G	Geest	242	40	322	2,0	3.126.842	12.917	9.701	71	0,285	160	23
H	Geest	159	42	243	2,1	2.353.451	14.804	9.706	54	0,299	112	25
I	Geest	191	36	206	1,7	1.717.535	8.993	8.346	NA	NA	100	13
J	Geest	247	23	217	1,4	1.871.480	7.593	8.611	49	0,348	146	16
K	Marsch	172	10	208	1,8	2.080.176	12.256	10.003	71	0,246	123	35
L	Geest	350	25	522	2,5	4.404.699	12.710	8.433	52	0,319	166	23
M	Marsch	111	0	113	1,5	946.398	8.561	8.353	58	0,295	154	14
N	Geest	103	22	119	1,9	1.205.299	11.683	10.078	46	0,358	170	41
O	Geest	113	43	139	2,4	1.216.981	10.798	8.735	62	0,267	112	27
P	Marsch	291	21	342	1,7	3.926.080	13.495	11.479	53	0,293	136	15
Q	Moor	103	11	194	2,1	1.666.486	16.227	8.591	55	0,317	149	16
R	Marsch	79	0	73	1,7	706.236	8.947	9.618	50	0,339	113	21
S	Marsch	162	3	153	1,8	1.320.484	8.185	8.614	55	0,316	153	13
T	Moor	102	7	93	1,7	546.258	5.365	5.901	55	0,360	79	20
U	Geest	245	50	371	2,0	3.531.927	15.005	9.774	NA	0,335	82	23
V	Geest	99	32	192	2,9	1.910.501	19.382	9.964	57	0,265	137	42
W	Geest	49	17	71	2,3	632.269	13.003	8.979	54	0,312	190	39

3 Ergebnisse

3.1. Brutto-Salden

Zunächst wurden für die 23 Milchviehbetriebe die Brutto-Stoffstrombilanzen für die Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und im dreijährigen Mittel berechnet (Berechnung siehe Kap. 2.4, Tabelle 2). Es zeigt sich eine hohe Variabilität zwischen den einzelnen Betrieben und zudem eine unterschiedlich starke Variabilität zwischen den Jahren (Tabelle 2). Zudem wird ersichtlich, dass die Brutto-N-Salden im Jahr 2021 deutlich niedriger liegen als in den anderen beiden Jahren. So liegt der durchschnittliche Brutto-N-Saldo im Jahr 2019 bei 147 kg N ha^{-1} (SD: 44,4). Acht Betriebe überschreiten die derzeit noch geltende Grenze von 175 kg N ha^{-1} im Dreijahresmittel für Brutto-N-Salden. 2020 überschreiten diese Grenze noch fünf Betriebe (MW: 142 kg N ha^{-1} , SD: 45,8) und im Jahr 2021 kein Betrieb (MW: 105 kg N ha^{-1} , SD: 37,0). Im dreijährigen Mittel (2019-2021) liegen die durchschnittlichen N-Salden bei 133 kg N ha^{-1} (SD: 31,1) und zwei Betriebe überschreiten die Grenze von 175 kg N ha^{-1} für Brutto-N-Salden.

Tabelle 2 zeigt ebenfalls die Brutto-P-Salden (P_2O_5) in $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ für die Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und im dreijährigen Mittel. Auch hier wird die große Variabilität der Brutto-P-Salden zwischen den Betrieben deutlich. Innerbetrieblich variieren die Brutto-P-Salden teilweise stark. Im Mittel über alle Betriebe streuen die Salden zwischen den Jahren aber kaum. So liegt der mittlere Bilanzwert in allen drei Einzeljahren und im dreijährigen Mittel bei $24 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (SD für die einzelnen Jahre 2019 = 15,5; 2020 = 14,6; 2021 = 16,1; 2019-2021 = 10,0). Bisher sieht die Gesetzgebung keinen Grenzwert für die Brutto-P-Salden vor.

Tabelle 2:

Brutto-Bilanzsalden der Betriebe für Stickstoff (kg N ha^{-1}) und Phosphor ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) für die Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und im dreijährigen Mittel (2019-2021). SD gibt die Standardabweichung für die Einzeljahre an.

ID	Brutto-N-Bilanz (kg N ha^{-1})					Brutto-P-Bilanz ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$)				
	2019	2020	2021	SD	2019-2021	2019	2020	2021	SD	2019-2021
A	178	102	34	71,9	105	30	12	-4	17,2	13
B	134	155	156	12,5	148	37	32	42	4,9	37
C	117	95	32	43,9	81	17	12	4	6,1	11
D	199	181	149	25,3	176	32	31	32	0,2	32
E	145	162	94	35,2	134	13	30	28	9,7	24
F	195	85	106	58,6	129	44	22	38	11,2	35
G	164	156	NA	5,8	160	16	29	NA	8,5	23
H	176	38	122	69,8	112	38	-2	39	23,3	25
I	68	132	NA	45,1	100	-10	36	NA	32,2	13
J	208	154	76	66,6	146	29	14	5	12,3	16
K	155	122	90	32,6	123	33	40	33	4,1	35
L	206	209	82	72,7	166	56	19	-6	30,8	23
M	149	187	127	30,5	154	3	17	22	9,7	14
N	180	187	145	22,4	170	40	40	44	2,4	41
O	82	144	110	31,1	112	17	38	25	10,8	27
P	138	172	98	37,1	136	6	28	10	11,7	15
Q	NA	161	137	16,7	149	NA	-6	39	32,1	16
R	110	137	92	22,8	113	19	24	20	2,9	21
S	179	171	109	38,6	153	10	13	15	2,5	13
T	62	103	74	21,2	79	21	21	17	2,2	20
U	86	59	101	21,3	82	19	7	43	18,4	23
V	134	140	NA	4,3	137	43	40	NA	1,7	42
W	174	222	174	27,6	190	21	53	41	16,3	39

3.2 Vergleich der 25% niedrigsten und 25% höchsten Brutto-Bilanzsalden

Zur Identifikation der Hauptunterschiede zwischen den höchsten und niedrigsten Brutto-Bilanzsalden wurden alle Bilanzen der Einzeljahre jeweils für Stickstoff und Phosphor in zwei Gruppen unterteilt: die 25% mit den niedrigsten Brutto-Salden (25%--) und die 25% mit den höchsten Brutto-Salden (25%++).

Folgende mögliche Einflussfaktoren wurden in Betracht gezogen:

- Landwirtschaftliche Nutzfläche [ha]
- Maisflächenanteil an LN [%]
- Tierbesatz [GVE ha⁻¹]
- Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹]
- Wirtschaftsdüngeraufnahme [kg ha⁻¹]
- Futterzukauf (inkl. Grobfutter) [kg ha⁻¹]
- Kraftfutterzukauf [kg ha⁻¹]
- Grundfutterleistung [%]
- Kraftfuttereinsatz / Liter ECM [kg Liter⁻¹].

Die Gruppe der 25% niedrigsten Brutto-N-Salden weist einen signifikant geringeren Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹] auf als die Gruppe der 25% höchsten Brutto-N-Salden ($p < 0,001$; Tabelle 3). Auch der Futterzukauf [kg ha⁻¹] ($p < 0,01$) und die Grundfutterleistung [%] ($p < 0,05$) unterscheiden sich zwischen den 25% niedrigsten und 25% höchsten Brutto-N-Salden. Einen Trend weisen der Kraftfutterzukauf [kg ha⁻¹] und der Kraftfuttereinsatz pro erzeugtem Liter ECM [kg Liter⁻¹] auf ($p < 0,1$).

Bei Futter- und Kraftfutterzukauf [kg ha⁻¹] ($p < 0,001$), Tierbesatz [GVE ha⁻¹] ($p < 0,01$) und Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹] ($p < 0,05$) als Einflussgröße weisen die 25% niedrigsten Brutto-P-Salden signifikant niedrigere Werte auf als die 25% höchsten Brutto-P-Salden (Tabelle 3). Bei der landwirtschaftlichen Nutzfläche [ha], dem Maisflächenanteil an LN [%] und der Wirtschaftsdüngeraufnahme [kg ha⁻¹] ist kein Unterschied zwischen den 25% niedrigsten und höchsten Brutto-N- und P-Salden nachzuweisen.

Tabelle 3:

Vergleich beider Gruppen mittels t Test ($\alpha = 0,05$) für die 25% niedrigsten und 25% höchsten Brutto-N- und P-Bilanzsalden. Gezeigt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung in Klammern.

	Brutto-N-Bilanzsaldo			Brutto-P-Bilanzsaldo (P_2O_5)		
	25% -- Niedrigste N-Salden (n = 16)	25% ++ Höchste N- Salden (n = 16)	p-Wert	25% -- Niedrigste P-Salden (n = 16)	25% ++ Höchste P- Salden (n = 16)	p-Wert
Brutto-Bilanzsaldo [kg ha ⁻¹]	72 (21,3)	189 (15,4)	<0,001 ***	-4 (7,6)	43 (5,0)	<0,001 ***
Landwirtschaftliche Nutzfläche [ha]	172 (75,3)	156 (101,8)	0,61 n.s.	187 (77,7)	141 (83,0)	0,12 n.s.
Maisflächenanteil an LN [%]	24 (19,7)	21 (11,4)	0,76 n.s.	22 (18,3)	24 (15,0)	0,76 n.s.
Tierbesatz [GVE ha ⁻¹]	1,81 (0,38)	2,05 (0,37)	0,11 n.s.	1,73 (0,35)	2,15 (0,35)	0,003 **
Mineraldüngerzukauf [kg ha ⁻¹]	60 (18,5)	133 (18,4)	<0,001 ***	5 (5,8)	11 (8,1)	0,02 *
Wirtschaftsdünger-aufnahme [kg ha ⁻¹]	17 (24,6)	21 (36,3)	0,85 n.s.	12 (14,3)	8 (19,2)	0,15 n.s.
Futterzukauf (inkl. Grobfutter) [kg ha ⁻¹]	103 (41,1)	143 (38,5)	0,007 **	43 (14,4)	76 (23,9)	<0,001 ***
Kraftfutter Zukauf [kg ha ⁻¹]	106 (44,3)	132 (38,6)	0,08 •	45 (16,2)	73 (13,7)	<0,001 ***
Grundfutterleistung [%]	56,3 (5,2)	50,4 (7,1)	0,013 *	55,2 (6,8)	53,3 (7,2)	0,44 n.s.
Kraftfuttoreinsatz/ Liter ECM [kg Liter ⁻¹]	0,307 (0,042)	0,336 (0,041)	0,08 •	0,300 (0,044)	0,313 (0,047)	0,49 n.s.

3.3 Haupteinflussfaktoren auf die Höhe der Brutto-N- und P-Bilanzsalden

Der Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹] hat einen signifikanten Einfluss auf die Höhe des Brutto-N-Saldos (Tabelle 3). Dieser Zusammenhang spiegelt sich in Abbildung 2 wider. Mit einer steigenden N-Zufuhr über Mineraldüngerzukauf um ein kg N ha⁻¹ steigt der Brutto-N-Saldo um 1,06 kg N ha⁻¹ linear an. Bei einem Mineraldüngerzukauf von 0 kg N ha⁻¹ läge der Brutto-N-Saldo bei 27,4 kg N ha⁻¹ (Y-Achsenabschnitt). Das Bestimmtheitsmaß (R^2) für diesen Zusammenhang beträgt 0,65 ($p < 0,001$).

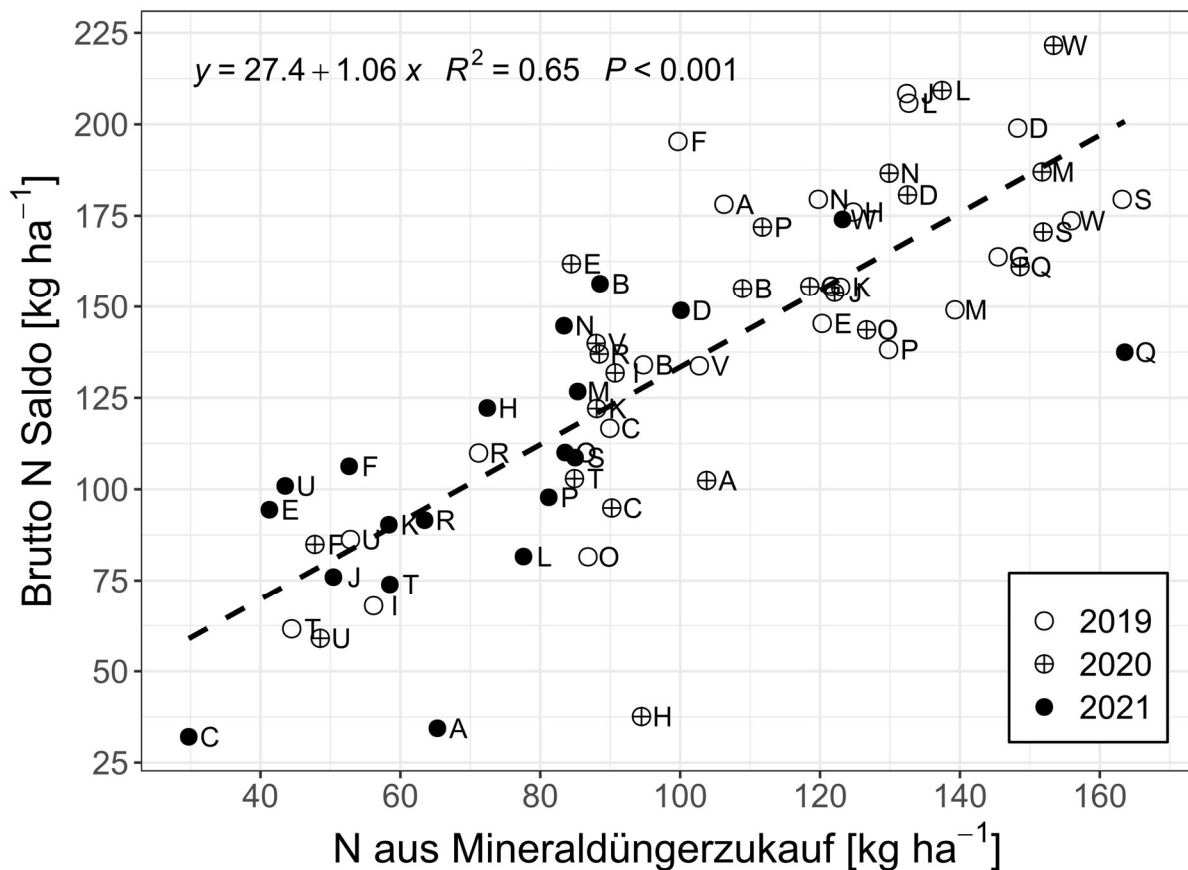


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen dem N-Input aus Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹] und dem Brutto-N-Saldo [kg ha⁻¹]. Die gestrichelte Linie bildet die lineare Regression ab. Die Symbole kennzeichnen die drei Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und die Buchstaben stehen für den jeweiligen Betrieb (A-W).

Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen dem P-Input (P₂O₅) aus Futterzukauf (Kraftfutter und Grobfutter) [kg ha⁻¹] und dem Brutto-P-Saldo [kg P₂O₅ ha⁻¹]. Die 25% niedrigsten Brutto-P-Salden unterscheiden sich signifikant im Futterzukauf [kg ha⁻¹] von den 25% höchsten Brutto-P-Salden ($p < 0,001$, Tabelle 3). Mit einer steigenden P-Zufuhr über Futterzukauf (Kraftfutter- und Grobfutterzukauf) um ein kg P₂O₅ ha⁻¹ steigt der Brutto-P-Saldo um 0,439 kg P₂O₅ ha⁻¹ an ($R^2 = 0,36$; $p < 0,001$; Abbildung 3). Würde kein P über Futter zugekauft werden, läge der Brutto-P-Saldo bei -0,993 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Y-Achsenabschnitt).

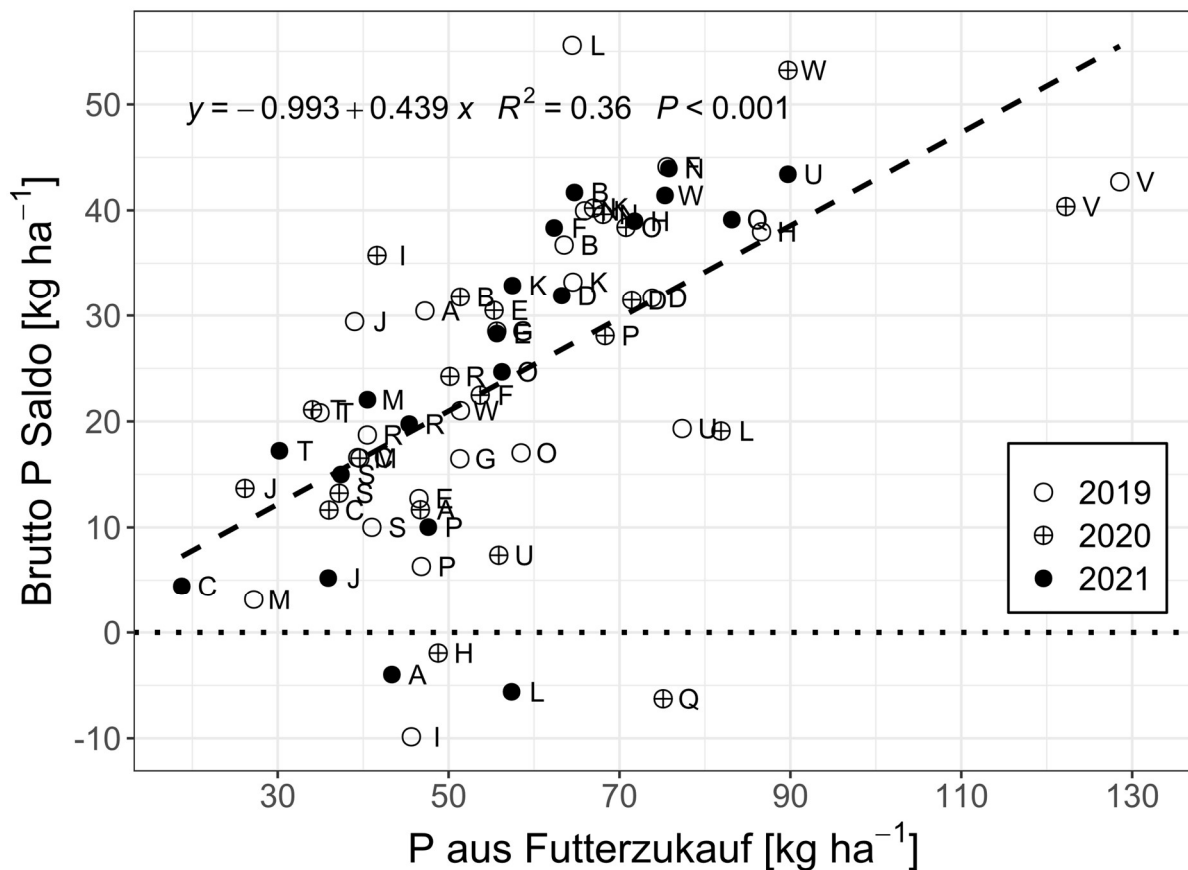


Abbildung 3: Zusammenhang zwischen dem P-Input (P_2O_5) aus Futterzukauf (Kraftfutter und Grobfutter) [$kg\ ha^{-1}$] und dem Brutto-P-Saldo [$kg\ P_2O_5\ ha^{-1}$]. Die gestrichelte Linie bildet die lineare Regression ab und die gepunktete Linie zeigt einen Brutto-P-Saldo von $0\ kg\ ha^{-1}$. Die Symbole kennzeichnen die drei Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und die Buchstaben stehen für den jeweiligen Betrieb (A-W).

3.4 Anwendung der Vorschläge aus dem Evaluierungsbericht auf die Praxisdaten zur Bewertung der N-Stoffstrombilanzsalden

In Vorbereitung für die Novellierung der StoffBilV wurde in Zusammenarbeit einer Bund-Länder-Arbeitsgruppe (BLAG) und einer ExpertInnengruppe ein Evaluierungsbericht verfasst. Darin enthalten sind drei Vorschläge für eine zukünftige Berechnung eines betriebsindividuellen maximal zulässigen Bilanzwertes für Stickstoff (siehe Kap. 2.5). Die Differenzen zwischen den Brutto-Bilanzen der Betriebe und den Vorschlägen 1-3 sind im Folgenden dargestellt. Ein positiver Wert bedeutet, dass der Betrieb mit seiner Brutto-Bilanz in dem Jahr über dem betriebsindividuellen maximal zulässigen Grenzwert liegt. Ein negativer Wert zeigt, dass die Brutto-Bilanz den betriebsindividuellen maximal zulässigen Grenzwert für das Jahr unterschreitet.

Abbildung 4 zeigt die Differenzen zwischen den Brutto-Bilanzen und den errechneten maximal zulässigen betriebspezifischen N-Salden entsprechend dem Vorschlag 1 (Lfl). Besonders in den Jahren 2019 und 2020 zeigt sich eine hohe Variabilität zwischen den Betrieben. So überschreiten 2019 acht Betriebe (36,4%) ihren berechneten maximalen Netto-N-Saldo um durchschnittlich $21,8 \text{ kg N ha}^{-1}$ und 2020 ebenfalls acht Betriebe (34,8%) um durchschnittlich $18,6 \text{ kg N ha}^{-1}$. Im Jahr 2021 überschreitet kein Betrieb den nach Vorschlag 1 errechneten Netto-N-Saldo und im dreijährigen Mittel gibt es bei vier Betrieben (17,4%) Überschreitungen von durchschnittlich $4,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Tabelle 4).

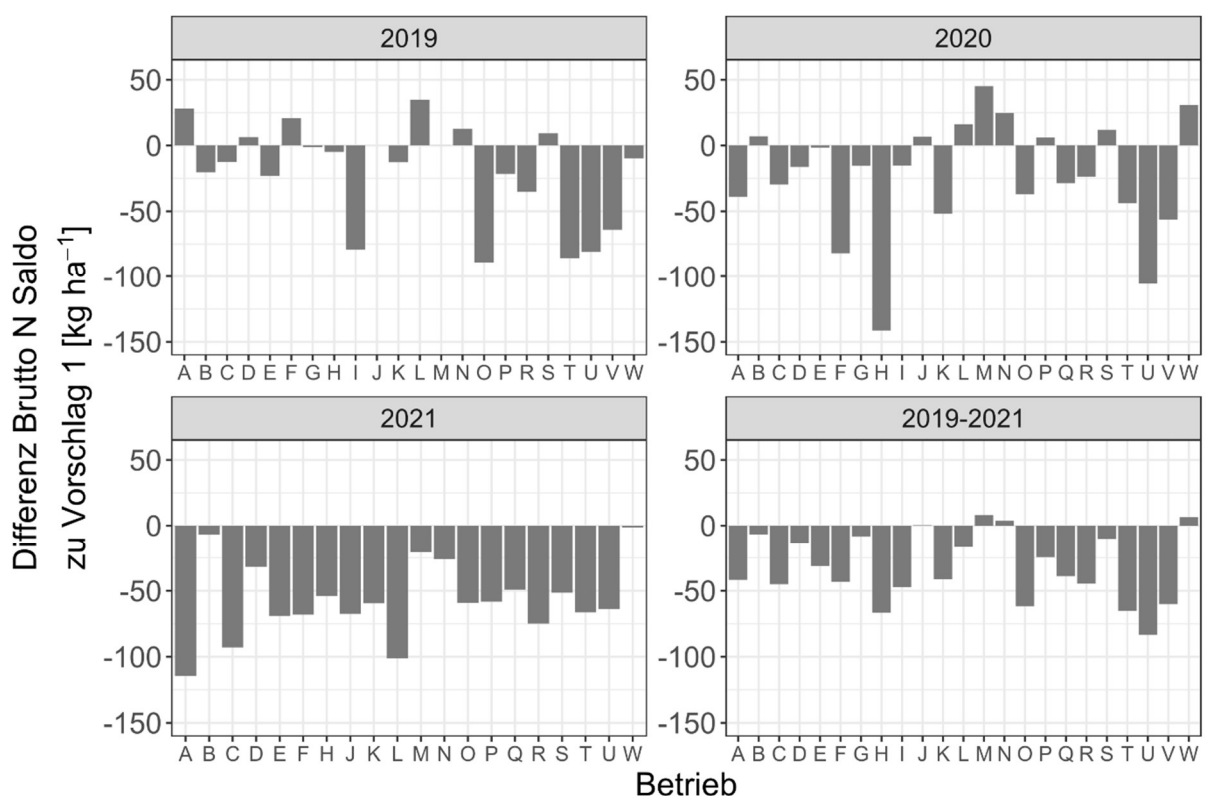


Abbildung 4: Differenz zwischen den Brutto-N-Salden [kg ha⁻¹] und den betriebsindividuell errechneten maximalen Salden nach Vorschlag 1 des Evaluierungsberichts für die drei Einzeljahre 2019, 2020, 2021 und das dreijährige Mittel 2019-2021. Die Buchstaben A-W kennzeichnen die Betriebe. Für die Betriebe G, I, Q und V wurde das zweijährige Mittel verwendet.

Abbildung 5 zeigt die Differenzen zwischen den Brutto-Bilanzsalden und den errechneten maximal zulässigen betriebspezifischen N-Salden entsprechend dem Vorschlag 2 (Taube/Bach). Der Netto-N-Saldo berechnet nach Vorschlag 2 liegt in den meisten Fällen niedriger als der von Vorschlag 1 und 3, weshalb es zu mehr Überschreitungen kommt. 2019 liegen 16 der Betriebe (72,7%) um durchschnittlich $49,7 \text{ kg N ha}^{-1}$ über dem errechneten erlaubten Netto-N-Saldo, 2020 sind es 17 Betriebe (73,9%) um durchschnittlich $44,1 \text{ kg N ha}^{-1}$ und 2021 sieben Betriebe (35,0%) um durchschnittlich $24,4 \text{ kg N ha}^{-1}$. Im dreijährigen Mittel überschreiten 15 Betriebe (65,2%) den nach Vorschlag 2 berechneten Netto-N-Saldo um durchschnittlich $31,4 \text{ kg N ha}^{-1}$ (Tabelle 4).

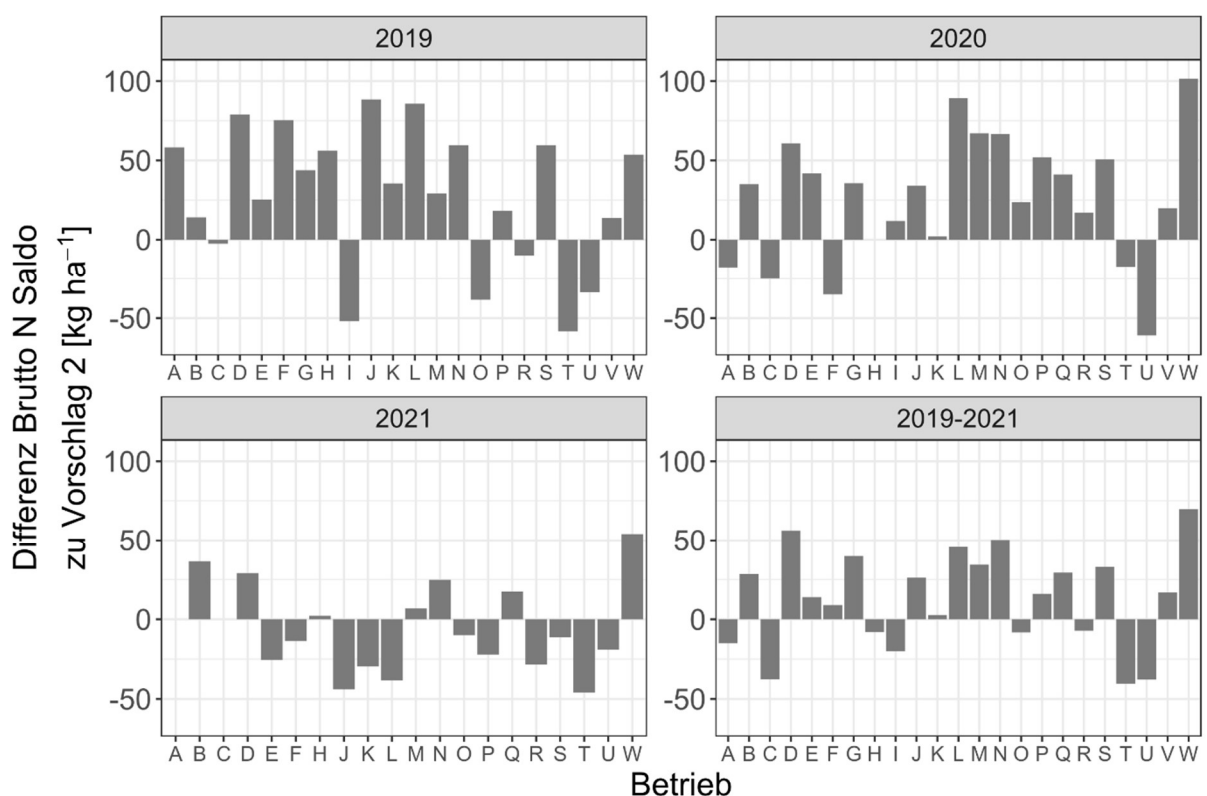


Abbildung 5: Differenz zwischen den Brutto-N-Salden [kg ha⁻¹] und den betriebsindividuell errechneten maximalen Salden nach Vorschlag 2 des Evaluierungsberichts für die drei Einzeljahre 2019, 2020, 2021. Die Buchstaben A-W kennzeichnen die Betriebe. Für die Betriebe G, I, Q und V wurde das zweijährige Mittel verwendet.

Den Netto-N-Saldo berechnet nach Vorschlag 3 (DüV-orientiert) überschreiten weniger Betriebe als den nach Vorschlag 2 errechneten, aber mehr als den nach Vorschlag 1 errechneten. So sind es im Jahr 2019 zwölf Betriebe (54,5%), die ihren nach Vorschlag 3 errechneten Netto-N-Saldo nicht einhalten (Überschreitung um durchschnittlich 38,8 kg N ha⁻¹, Abbildung 6). 2020 liegen 14 Betriebe (60,9%) mit durchschnittlich 28,4 kg N ha⁻¹ oberhalb des errechneten Netto-N-Saldos, während ihn 2021 nur vier Betriebe (20,0%) um durchschnittlich 13,2 kg N ha⁻¹ überschreiten. Im dreijährigen Mittel überschreiten neun Betriebe (39,1%) um durchschnittlich 21,1 kg N ha⁻¹ den betriebsindividuell errechneten Netto-N-Saldo (Tabelle 4).

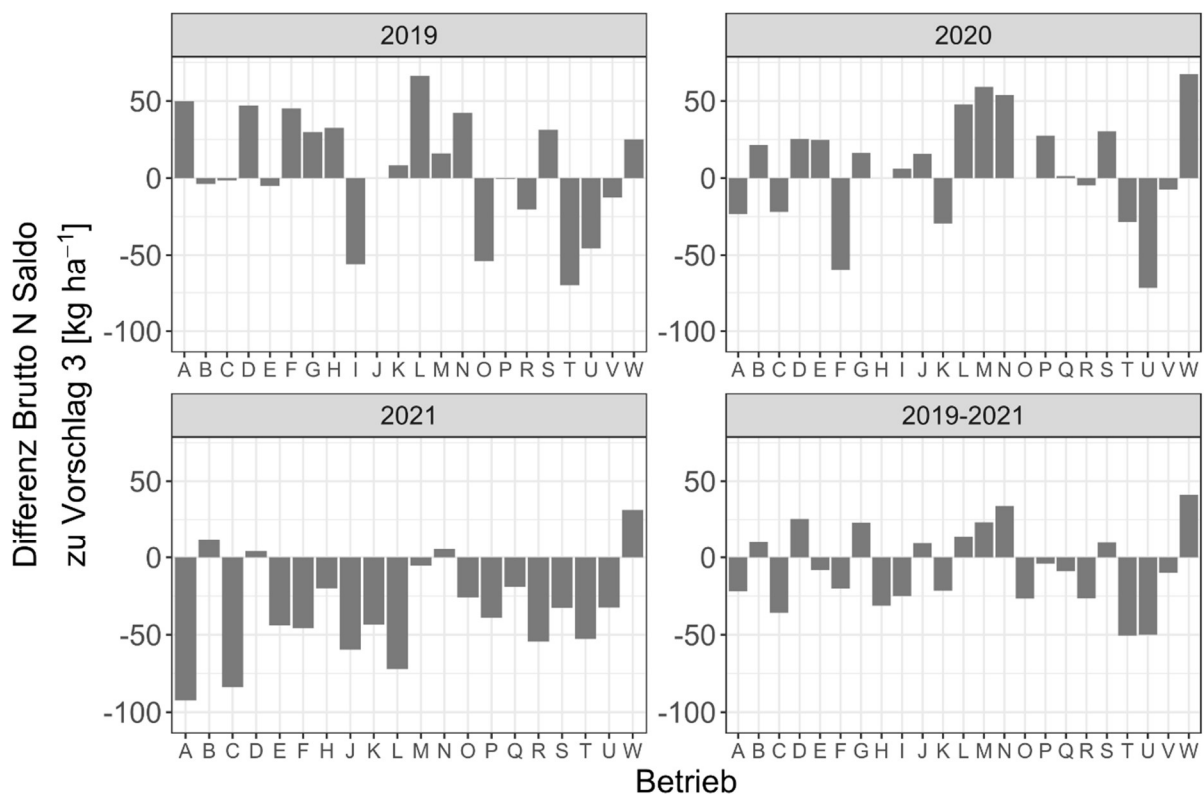


Abbildung 6: Differenz zwischen den Brutto-N-Salden [kg ha⁻¹] und den betriebsindividuell errechneten maximalen Salden nach Vorschlag 3 des Evaluierungsberichts für die drei Einzeljahre 2019, 2020, 2021. Die Buchstaben A-W kennzeichnen die Betriebe. Für die Betriebe G, I, Q und V wurde das zweijährige Mittel verwendet.

Der einzige Faktor, in dem sich die Bilanzen, die ihren betriebspezifischen maximalen Grenzwert überschreiten, von denen unterscheiden, die ihren betriebspezifischen maximalen Grenzwert unterschreiten, ist der Mineraldüngerzukauf [kg ha⁻¹]. Dies gilt für alle drei Vorschläge, wobei für Vorschlag 1 nur ein Trend nachzuweisen ist ($p = 0,08$), für Vorschlag 2 ($p = 0,002$) und Vorschlag 3 ($p < 0,001$, Daten nicht gezeigt) ein signifikanter Unterschied.

Tabelle 4: Prozentualer Anteil der Betriebe, die ihren betriebsindividuellen Grenzwert, berechnet nach Vorschlag 1-3, in den Einzeljahren 2019, 2020, 2021 und im dreijährigen Mittel (2019-2021) über- oder unterschreiten.

	2019		2020		2021		2019-2021	
	Überschreitungen [%]	Unterschreitungen [%]	Überschreitungen [%]	Unterschreitungen [%]	Überschreitungen [%]	Unterschreitungen [%]	Überschreitungen [%]	Unterschreitungen [%]
Vorschlag 1	36,4	63,6	34,8	65,2	0	100,0	17,4	82,6
Vorschlag 2	72,7	27,3	73,9	26,1	35,0	65,0	65,2	34,8
Vorschlag 3	54,5	45,5	60,9	39,1	20,0	80,0	39,1	60,9

4 Diskussion und Fazit

Variabilität der Stoffstrombilanzsalden auf Milchviehbetrieben

Die Tabelle 2 zeigt die dreijährigen N- und P-Brutto-Stoffstrombilanzsalden für die Jahre 2019, 2020 und 2021 als Praxisdaten von norddeutschen Milchviehbetrieben. Es fällt auf, dass innerhalb der Jahre eine hohe Variabilität der Salden zwischen den Betrieben vorliegt. Dies gilt sowohl für die Brutto-N-Salden als auch für die Brutto-P-Salden und wurde bereits in anderen Studien festgestellt (AKERT ET AL., 2020; HAAS ET AL., 2007). Im dreijährigen Mittel der Brutto-N-Salden sind die Unterschiede weniger stark ausgeprägt und es finden sich in wenigen Fällen besonders hohe oder besonders niedrige Salden. Zwischen den Betrieben bestehen auch im dreijährigen Mittel noch deutliche Unterschiede in den Brutto-P-Salden, jedoch gibt es keine negativen Salden mehr (Tabelle 2). Dies zeigt, dass Betriebe zwar in einem Jahr einen negativen P-Saldo haben können, sich dieser aber im nächsten oder übernächsten Jahr wieder ausgleicht und positiv wird.

Generell wird deutlich, dass die Variabilität in der Höhe des Stoffstromsaldos sowohl von dem einzelnen Betrieb und seiner Wirtschaftsweise abhängt als auch von dem Bezugsjahr. Die individuelle Einheit „Betrieb“ setzt sich aus vielen verschiedenen Faktoren zusammen, die in der Summe eine individuelle Wirtschaftsform ergeben. Dies sind z.B. die Flächenausstattung und Arrondierung, die Eigenmechanisierung, die verfügbare Arbeitskraft, die Größe des Stalls und des Melkstandes und vor allem auch die Einstellung zu Weidehaltung und der angestrebten Herdenleistung (BECKER ET AL., 2018; SCHAAK UND MUSSHOF, 2018; VAN DEN POL-VAN DASSELAAR ET AL., 2020A, 2020B). Der Jahreseffekt ergibt sich insbesondere durch die Witterung, Niederschlagsmengen und -verteilungen und die damit verbundene Menge und Qualität des erzeugten Grundfutters (SMIT ET AL., 2008). Hinzu kommen die allgemeine Marktlage, die Vergütung für die abgelieferte Milch oder die Preise von Mineraldünger, Kraftfutter und Kraftstoff (BANSE ET AL., 2019; HARTMANN, 2022). Diese Faktoren können zu starken

jährlichen Schwankungen führen, weshalb die Betrachtung des dreijährigen Mittels vorgeschrieben ist (BMEL, 2017). So überschreiten im dreijährigen Mittel nur zwei Betriebe die gesetzliche Vorgabe von 175 kg N ha^{-1} für Brutto-N-Bilanzen (siehe Kap. 3.1). Auch die BLAG schildert die Erfahrung, dass Milchviehbetriebe häufig keine Probleme haben, unterhalb dieses zulässigen Wertes zu bleiben (BMEL, 2021). Im Vergleich zu anderen Studien liegen die P-Salden der hier untersuchten Betriebe hoch (durchschnittlich $24 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$; $11 - 42 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Die im Rahmen des Evaluierungsberichtes untersuchten Betriebe liegen über alle Betriebsformen hinweg bei einem durchschnittlichen negativen Saldo von $-12 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (BMEL, 2021). Bei den dort untersuchten Betrieben erreichen die Veredelungsbetriebe mit durchschnittlich $23 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ die Überschüsse, die die Milchviehbetriebe in dieser Studie auch erreichen (siehe Kap. 3.1).

Bei der Einordnung dieser Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass für die Betriebsauswahl die Anforderungen an die Entwässerungsgräben im Rahmen des Projektes „Waterbuddies“ ausschlaggebend waren (siehe Kap. 2.2). Im Vergleich mit anderen Tierhaltungsregionen in Niedersachsen verfügen viele der untersuchten Betriebe über eine großzügige Flächenausstattung, was Einfluss auf den Saldo pro ha hat. Auch wenn dies repräsentativ für die untersuchte Region ist, sollte es gleichzeitig bei einer Übertragung auf andere Regionen Deutschlands beachtet werden.

Die Witterung hat besonders auf den Futterbaubetrieben einen großen Einfluss. Die Gesamtmenge an Niederschlag und insbesondere auch die Niederschlagsverteilung ist essenziell für die Erzeugung von hochwertigem Grundfutter in ausreichender Menge (NEUWIRTH UND HOFER, 2013; SMIT ET AL., 2008). Im Jahr 2021 sind 20% mehr Niederschlag gefallen als im Jahr 2020 und 17% mehr als in 2019 (Abbildung 1). Im Frühjahr und Hochsommer sind die Unterschiede noch deutlicher: Im April und Mai sind 2021 58% mehr Niederschläge als im Jahr 2019 gefallen und 72% mehr als in 2020; für Juli 2021 sind es 80% mehr als im Jahr 2019 und 65% mehr als im Jahr 2020. Besonders die fehlenden Niederschläge im Frühjahr 2019 und 2020 haben zu geringeren Erträgen beim jeweils ersten und zweiten Schnitt geführt. Zusätzlich hat eine Mäuseplage 2018 die intakte Grasnarbe vieler Grünlandflächen in der Versuchsregion zerstört, sodass eine Neuansaat auf vielen Flächen notwendig war. Dies zusammengenommen hat dazu geführt, dass auf vielen Projektbetrieben keine ausreichenden Mengen Grundfutter in guten Qualitäten erzeugt werden konnten. Das eigene Grundfutter bildet die Grundlage für die Milchproduktion. Entsprechend der davon im eigenen Betrieb erzeugten Mengen und Qualitäten passt der Betrieb den Zukauf von Kraftfutter, zusätzlich gekauftem Grundfutter und auch zu gewissen Teilen den Mineraldüngerzukauf an. Entsprechend der ersten beiden Schnitte eines Jahres im Grünland wird die Bestandsführung des restlichen Jahres gewählt und eine Abwägung von eingesetzten Betriebsmitteln gegenüber benötigtem Grundfutter vorgenommen (VAN DEN POL-VAN DASSELAAR ET AL., 2020A). Tabelle 2 zeigt deutlich, dass sich die

Witterungsbedingungen im Brutto-N-Saldo niederschlagen: 2021 als Jahr mit ausreichenden und gut verteilten Niederschlägen weist deutlich geringere Brutto-N- Salden auf als die Jahre 2019 und 2020.

Einflussfaktoren auf die Höhe des Stoffstrombilanzsaldos

Der Vergleich der Betriebe mit den 25% höchsten und 25% niedrigsten Brutto-Salden zeigt die entscheidenden Größen, die die Höhe der Brutto-Salden beeinflussen. Der Mineraldüngerzukauf [kg N ha⁻¹] unterscheidet sich signifikant zwischen den 25% höchsten und 25% niedrigsten Brutto-N-Salden ($p < 0,001$). Auch der Futterzukauf inkl. Grobfutter [kg N ha⁻¹] ($p < 0,01$) und die Grundfutterleistung [%] ($p < 0,05$) differieren zwischen den beiden Gruppen (Tabelle 3). Diese hauptsächlichen Faktoren für die N-Zufuhr identifizieren auch AKERT ET AL. (2020).

Der Zusammenhang zwischen Mineraldüngerzukauf [kg N ha⁻¹] und **Brutto-N-Saldo** wird in Abbildung 2 deutlich dargestellt. Mit steigendem Mineraldüngerzukauf [kg N ha⁻¹] steigt der Brutto-N-Saldo linear an ($R^2 = 0,65$). Auch LÖW ET AL. (2021) sehen die Möglichkeiten zur Reduktion des Brutto-Saldos in einem verringerten Mineraldüngerzukauf, N-reduzierter Fütterung und einer besseren Ausnutzung des N im Wirtschaftsdünger. Ein geringerer Mineraldüngerzukauf und -einsatz würde neben dem positiven Effekt auf die Höhe des Stoffstrombilanzsaldos zusätzlich CO₂ und Energie für die Synthese einsparen (FARIA, 2021; ROSA UND GABRIELLI, 2023). Gleichzeitig muss die Produktion von qualitativ hochwertigen Futter- und Lebensmitteln möglich und sichergestellt sein. Dies hebt die besondere Bedeutung von effizienter N-Ausnutzung aus Wirtschaftsdüngern hervor. Auch GRETHE ET AL. (2021) legen in ihrem Bericht zum Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands ein großes Augenmerk auf die effiziente Ausnutzung von betriebseigenem N und den reduzierten Zukauf von zusätzlichem mineralischen N.

Die Haupteinflussfaktoren auf den **Brutto-P-Saldo** sind der Futterzukauf insgesamt [kg P₂O₅ ha⁻¹] und der Kraftfutterzukauf [kg P₂O₅ ha⁻¹] ($p < 0,001$, Tabelle 3). Dies bestätigt die Ergebnisse von AKERT ET AL. (2020). Abbildung 3 zeigt den linearen Zusammenhang, dass mit einem höheren P-Zukauf durch Futter auch der Brutto-P-Saldo des Betriebes ansteigt ($R^2 = 0,35$). Der Haupteintragspfad für P auf den Milchviehbetrieben ist das Futter. Die P-Zufuhr über mineralische Düngung beschränkt sich auf die mineralische Unterfußdüngung im Mais, sofern der Betrieb Mais anbaut. Von den in dieser Studie untersuchten Betrieben hat keiner das Grünland mineralisch mit P gedüngt, da der P-Düngebedarf über die organische Düngegabe gedeckt wird (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2022). Die hohe Variabilität zwischen den Betrieben im Brutto-P-Saldo entsteht in erster Linie durch die unterschiedlich hohen P-Zufuhren durch Futter. Die Aufnahme von Wirtschaftsdünger entspricht ebenfalls einer P-Zufuhr, die sich in den meisten Fällen aber durch eine Abgabe von Wirtschaftsdünger an eine Biogasanlage ausgleicht. Eine P-reduzierte Fütterung wäre eine wichtige

Stellschraube (JÜRGENS, 2021). Dabei ist es notwendig, zum einen seine Futtermittel (insbesondere das Grobfutter) auf P analysieren zu lassen und zum anderen die P-Versorgung an den Laktationsverlauf anzupassen, wodurch sowohl weniger P durch Kraft- und Mineralfutter zugekauft würde als auch automatisch weniger Nährstoffanfall von P im Wirtschaftsdünger anfallen würde. Der Einsatz von P-reduziertem Milchleistungsfutter oder einem P-freien Mineralfutter wären weitere mögliche Ansatzpunkte (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2021). Damit einhergehend ist es generell von Vorteil, eine möglichst hohe Milchleistung aus dem eigenen Grundfutter zu erzeugen. Der dadurch geringere Zukauf von Nährstoffen im Kraftfutter (N und P) schlägt sich nicht nur positiv auf das Bilanzsaldo nieder, sondern kann auch ökonomische Vorteile bringen (JÜRGENS ET AL., 2016).

Bewertung der Stoffstrombilanzsalden unter Anwendung der Vorschläge aus dem Evaluierungsbericht auf Praxisdaten

Generell wird die Meinung vertreten, dass die Stoffstrombilanz als gesamtbetriebliche Hoftor-Bilanz am besten geeignet ist, um Nährstoffströme auf landwirtschaftlichen Betrieben transparent abzubilden und deren Umwelteinfluss bezogen auf die Nährstoffe N und P darzustellen (BACH UND FREDE, 2005; KLAGES ET AL., 2017; LÖW ET AL., 2021; OENEMA ET AL., 2003). Dabei wird die Stoffstrombilanz als objektiv, robust, transparent und schwierig zu manipulieren eingeschätzt (BECKER UND BEISECKER, 2017; SRU ET AL., 2013). Einig sind sich die ExpertInnen ebenfalls darüber, dass sie den pauschalen Grenzwert von 175 kg N ha⁻¹ als leicht einzuhalten einstufen. Viele Betriebe ohne Vieh unterschreiten den Wert sehr leicht und auch tierhaltende Betriebe erreichen diesen pauschalen Grenzwert nur selten (BMEL, 2021; LÖW ET AL., 2021; TAUBE ET AL., 2020). Daraus ergibt sich in Teilen die Forderung, dass ein pauschaler zulässiger Wert für den Brutto-Bilanzsaldo entfallen solle und zukünftig nur noch betriebsindividuell ermittelte Bilanzsalden zur Bewertung herangezogen werden sollten (BMEL, 2021). Diese Forderung unterstützen LÖW ET AL. (2021) und TAUBE ET AL. (2020) nicht vollständig, auch wenn sie eine Anpassung der 175 kg N ha⁻¹ Bewertungsgrenze ebenfalls für notwendig erachten. Der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU, 2015) vertritt grundsätzlich die Meinung, dass der Gebrauch einer Brutto-Bilanzierung richtig und wichtig ist, um betriebliche Stickstoffströme sichtbar zu machen und sie nicht bereits im Vorhinein durch Abzüge gasförmiger Verluste zu schmälern. Auch BECKER UND BEISECKER (2017) halten eine Brutto-Bilanzierung für einfacher, nachvollziehbarer und gerechter.

Die Berechnung der betriebsspezifischen zulässigen Grenzwerte erfordert einige weiterführende Daten und Berechnungen, ist aber grundsätzlich gut für Grünlandbetriebe durchführbar. Die weiten Abstufungen bei der Annahme von pauschalen Werten für den N-Anfall durch die Tiere (gem. DÜV 2020, Anhang 1, Tabelle 1 und Anlage 9, Tabelle 1) bieten Raum für Ungenauigkeiten, werden aber

auch bereits in anderen Berechnungen wie beispielsweise für die 170 kg N ha^{-1} Obergrenze in der Praxis genutzt, um den Aufwand für eine Kalkulation in einem realistischen Ausmaß zu halten.

Generell lässt sich festhalten, dass die betriebsindividuell berechneten Grenzwerte des Vorschlags 1 (Lfl) am seltensten und des Vorschlags 2 (Taube/Bach) am häufigsten überschritten werden (Abbildungen 4-6, Tabelle 4). Das ist darauf zurückzuführen, dass die Anrechnungen für gasförmige Verluste im Vorschlag 1 am höchsten und umfassendsten sind, wohingegen Vorschlag 2 deutlich restriktiver in der maximalen anrechenbaren organischen N-Menge, dafür aber pauschaler bei den Abzügen für Verluste ist (siehe Kap. 2.5). Vorschlag 3 (DüV-orientiert) ist so konzipiert, dass er mit den Regelungen und Anrechnungskoeffizienten aus der aktuellen DüV einhergeht.

Die betriebspezifisch zulässigen N-Salden für die Vorschläge 2 und 3 liegen im dreijährigen Mittel alle niedriger als die generelle Brutto-Grenze von 175 kg N ha^{-1} . Bei der Berechnung nach Vorschlag 1 liegen sechs betriebspezifisch zulässige N-Salden über 175 kg N ha^{-1} . Nach Einschätzung der VerfasserInnen des Evaluierungsberichtes und anderer Studien haben Milchviehbetriebe mit der Einhaltung des 175 kg N ha^{-1} selten Probleme (BMEL, 2021; LÖW ET AL., 2021), weshalb an dieser Stelle durch die Berechnung des betriebspezifischen Wertes nach Vorschlag 1 keine zusätzlichen positiven Umweltwirkungen zu erwarten wären. Unabhängig von der Wahl des Vorschlags fällt auf, dass im Jahr 2021 jeweils die wenigsten Überschreitungen des betriebspezifischen Wertes durch den Brutto-N-Saldo zu verzeichnen sind (Tabelle 4, Abbildungen 4-6). Dies unterstreicht nochmals die Abhängigkeit der Bilanzsalden von den Jahreseffekten insbesondere durch die Witterung und dem damit zusammenhängenden Ertragsniveau. In einem Jahr mit ausreichend und gut verteiltem Niederschlag ist eine Überschreitung des zulässigen betriebspezifischen Wertes deutlich seltener als es in trockenen Jahren der Fall ist. Auch auf das dreijährige Mittel kann ein Extremjahr (trocken oder nass) spürbare Auswirkungen haben, indem es Salden anhebt oder sie relativiert. Diesen Umstand puffert im Vorschlag 3 ein genereller Zuschlag von $+10 \text{ kg N ha}^{-1}$ für Betriebe mit $>75\%$ Grünland etwas ab.

Der Bezug auf ein dreijähriges Mittel wurde ebenfalls im Evaluierungsbericht zur Stoffstrombilanz diskutiert. Einige Landesbehörden schlagen eine Erweiterung des Bewertungszeitraumes auf fünf Jahre vor, um sich verändernden Lagerbeständen und fluktuierenden Tierbeständen Rechnung zu tragen. Bei einem längeren Bewertungszeitraum würden sich diese Faktoren im Mittel der Jahre besser ausgleichen (BMEL, 2021). Dem entgegen steht der Anspruch, mithilfe der Stoffstrombilanz einen Einfluss auf das betriebliche Nährstoffmanagement nehmen zu können – dafür wäre ein Bezugszeitraum von fünf Jahren zu lang. Die ExpertInnengruppe kommt im Rahmen des Evaluierungsberichtes zu dem Schluss, dass Lagerhaltung in der Regel nicht berücksichtigt werden sollte. Den Betrieben könnte eine Wahlmöglichkeit eingeräumt werden, ihre Lagerbestände geltend zu machen. Dies müsste dann aber in den folgenden Jahren des Bewertungszeitraumes beibehalten werden und sowohl Lagerbestandsaufbau wie auch -abbau müssten dokumentiert werden (BMEL,

2021). Die Betrachtung eines fortlaufenden dreijährigen Mittelwertes („moving averages“) wäre ein Ansatz, um den kürzeren dreijährigen Bezugszeitraum beizubehalten, aber gleichzeitig Extremjahren keine so hohe Gewichtung zu geben. Diese Methode hat einen glättenden Effekt über eine Zeitreihe mehrerer Jahre (HYNDMAN, 2009). Mit der Betrachtung von aufeinanderfolgenden fortlaufenden Mittelwerten wäre eine längerfristige Bewertung der Entwicklung des Betriebes möglich, bei der Werte einzelner extremer Jahre (beispielsweise durch ungünstige Witterung) geglättet würden. Grundlage für diese Methode ist allerdings, dass eine Zeitreihe von Salden mehrerer Jahre vorliegt. Dies setzt eine Verordnung voraus, deren Geltungszeitraum auf eine längere Zeit ausgelegt ist.

Die Analysen dieser Studie zeigen, dass die Vorschläge aus dem Evaluierungsbericht (BMEL, 2021) gut auf die Praxisdaten anzuwenden sind. Eine zusätzliche positive Umweltwirkung durch geringere N-Überschüsse ist bei der Anwendung von Vorschlag 1 nur in seltenen Fällen zu erwarten. Vorschlag 2 würde zur stärksten Reduktion der N-Überschüsse führen, gleichzeitig aber auch mit den stärksten Einschränkungen für die Betriebe einhergehen. Vorschlag 3 stellt einen Kompromiss dar. Grundsätzlich sollte weiter kritisch diskutiert werden, ob die Bewertung des N-Saldos mithilfe eines Brutto- oder Netto-Grenzwertes zielführender ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Brutto-Stoffstrombilanzsalden zwischen verschiedenen Betrieben stark variieren. Der Mineraldüngerzukauf und der Futterzukauf sind die größten Einflussfaktoren auf die Höhe des Stoffstrombilanzsaldos bei Milchviehbetrieben. Außerdem ist eine sehr starke Abhängigkeit der Milchviehbetriebe von Jahres- und Witterungseffekten deutlich geworden, wodurch die Brutto-Salden sowohl positiv als auch negativ beeinflusst werden. Durch eine Bewertung des fortlaufenden dreijährigen Mittelwertes („moving averages“) könnten solche Jahreseffekte in der Novellierung der StoffBiIV Berücksichtigung finden. Grundsätzlich ist eine Einhaltung der betriebsspezifischen maximal zulässigen N-Salden nach allen drei Vorschlägen des Evaluierungsberichtes möglich.

Zusammenfassung

Dreijährige Stoffstrombilanzierung auf Milchviehbetrieben in Nordwest-Niedersachsen unter Anwendung der Novellierungsvorschläge aus dem Evaluierungsbericht der Stoffstrombilanzverordnung (StoffBiIV)

Lokale Nährstoffüberschüsse stellen eine globale Herausforderung und eine Bedrohung für intakte Ökosysteme dar. Um Stickstoffüberschüsse zu reduzieren und eine effiziente Ausnutzung von Nährstoffen (N und P) zu fördern, muss ein Großteil der landwirtschaftlichen Betriebe in Deutschland seit 2018 eine Stoffstrombilanz erstellen. Bei der Stoffstrombilanz handelt es sich um eine Hof-

Bilanz, bei der alle Nährstoffzufuhren und -abfuhr (N und P) eines Jahres berücksichtigt werden (z.B. mineralische und organische Düngemittel, Futtermittel, Nutztiere, pflanzliche und tierische Erzeugnisse). Auf 23 Milchviehbetrieben in einer wichtigen Futterbauregion Niedersachsens wurden diese Daten erhoben und die Stoffstrombilanzen für drei Jahre (2019 – 2021) berechnet. Die Salden zeigen eine hohe Variabilität zwischen den Betrieben und den Jahren. Im dreijährigen Mittel liegen die Brutto-N-Salden bei durchschnittlich 133 kg N ha^{-1} ($79 - 190 \text{ kg N ha}^{-1}$) und die Brutto-P-Salden bei $24 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ($11 - 42 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Der Mineraldüngerzukauf [kg N ha^{-1}] wurde als Haupteinflussfaktor auf die Höhe des Brutto-N-Saldos und der Futterzukauf (inkl. Grobfutterzukauf) [$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$] als Haupteinflussfaktor auf die Höhe des Brutto-P-Saldos identifiziert. Für die Bewertung der Stickstoffsalden wurden die aus dem Evaluierungsbericht der aktuellen Stoffstrombilanzverordnung (StoffBilV) stammenden Vorschläge (1-3) zu einem betriebsindividuellen maximal zulässigen Grenzwert angewandt. Diese drei Vorschläge stammen von verschiedenen ExpertInnen und WissenschaftlerInnen (Vorschlag 1: ‚LfL‘; 2: ‚120/120-Modell‘; Vorschlag 3: ‚DüV-orientiert‘) und beziehen bei der Berechnung eines betriebsindividuellen maximal zulässigen Grenzwertes für Stickstoff jeweils unterschiedlich hohe Verluste mit ein. Vorschlag 1 veranschlagt im Vergleich der drei Vorschläge die höchsten N-Verluste für die Lagerung, Erzeugung und Ausbringung organischer Dünger. Vorschlag 2 nimmt einen pauschalen Verlustfaktor an und führt insgesamt zu den restriktivsten Grenzwerten. Vorschlag 3 hat den Anspruch, geltendes Düngerecht in die Kalkulation eines maximalen betrieblichen N-Bilanzwertes zu integrieren. Die Ergebnisse zeigen, dass im Vergleich der drei Vorschläge der betriebsindividuelle Grenzwert berechnet nach Vorschlag 1 am häufigsten eingehalten wird, der Grenzwert nach Vorschlag 2 dagegen in deutlich weniger Fällen eingehalten wird. Grundsätzlich ist eine Einhaltung der Grenzwerte nach allen drei Vorschlägen für Milchviehbetriebe möglich. Die Bewertung mit einem fortlaufenden dreijährigen Mittelwert (‚moving averages‘) könnte die starken Jahreseffekte auf Futterbaubetrieben abschwächen und die betriebliche Entwicklung besser darstellen.

Summary

“Evaluation of three-year farm gate balances of dairy farms in the coastal area of Lower-Saxony, Germany”

In order to reduce nitrogen surpluses and support the efficient use of nutrients (N and P), many farms in Germany have to calculate a farm gate balance according to Substance Flow Analysis Ordinance (StoffBilV) since 2018. The farm gate balance considers all nutrients (N and P) that enter or leave the farm (e.g., mineral and organic fertilizers, feed, livestock, plant and animal products). These farm gate balances were calculated for three years 2019 - 2021 on 23 dairy farms in an important forage

production region of Lower Saxony, Germany. The balances show a high variability between farms and years. In the three-year mean, gross N balances average 133 kg N ha^{-1} ($79 - 190 \text{ kg N ha}^{-1}$) and gross P balances average $24 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ($11 - 42 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). The main factor influencing the gross N balance was identified as the purchase of mineral fertilizer [kg N ha^{-1}] and the purchase of forage (concentrate and basic fodder) [$\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$] influenced the P balance most. In addition, the proposals (1-3) for a farm-specific maximum permissible limit value from the evaluation report of the current Substance Flow Analysis Ordinance (StoffBilV) were applied for nitrogen. Those three proposals were developed by different experts and scientists (proposal 1: 'LfL'; proposal 2: '120/120-model'; proposal 3: 'DüV-oriented') and assume different N losses for the farm-specific limit. Proposal 1 assumes the highest N loss rates for storage, production, and application of organic fertilizer. Proposal 2 applies a general N loss factor which leads to a more restrictive farm-specific N limit. Proposal 3 aims at integrating the fertilizer ordinance into the calculation of a maximum farm N balance value. The results show that the farm-specific limit calculated according to proposal 1 is exceeded less frequently and the farm specific limit calculated according to proposal 2 is exceeded most frequently by the farms in the study. The application of statistics based on moving averages might have a smoothing effect on the strong annual variability of farms gate balances on dairy farms and thus provide an improved assessment of the development of the farm gate balances over three years.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit im Rahmen des Verbundprojektes „Waterbuddies“ danken wir der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), Förderkennzeichen: 2817NA004. Allen Projektbetrieben danken wir herzlich für die gute und unkomplizierte Zusammenarbeit und Bereitstellung der Daten. Unseren Projektpartnern, insbesondere Svenja Janssen (Landwirtschaftskammer Niedersachsen) und Mathias Paech (Grünlandzentrum Niedersachsen e. V.), danken wir für die Unterstützung bei der Datenerhebung und den fachlichen Austausch.

Literaturverzeichnis

1. AKERT, F.S., DORN, K., FREY, H., HOFSTETTER, P., BERARD, J., KREUZER, M., REIDY, B., 2020. Farm-gate nutrient balances of grassland-based milk production systems with full- or part-time grazing and fresh herbage indoor feeding at variable concentrate levels. *Nutr Cycl Agroecosyst* 117, 383–400. <https://doi.org/10.1007/s10705-020-10072-y>
2. BACH, M., FREDE, H.-G., 2005. Assessment of Agricultural Nitrogen Balances for Municipalities– Example Baden-Wuerttemberg (Germany). EWA online.
3. BANSE, M., KNUCK, J., WEBER, S.A., 2019. Stabile und hohe Milchpreise?! - Optionen für eine Beeinflussung der Milchpreise. Johann Heinrich von Thünen-Institut, DE.
4. BECKER, H., BEISECKER, R., 2017. Vergleich der Stoffstrombilanz nach Verordnungs-entwurf vom 18.4. 2017 mit Nährstoffvergleich gemäß alter DüV und Hoftorbilanzierung nach DVGW/DWA-Regelwerk. DVGW Deutscher Verein des Gas-und Wasserfaches eV.
5. BECKER, T., KAYSER, M., TONN, B., ISSELSTEIN, J., 2018. How German dairy farmers perceive advantages and disadvantages of grazing and how it relates to their milk production systems. *Livestock Science* 214, 112–119. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.05.018>
6. BMEL, 2021. Evaluierung der Stoffstrombilanzverordnung (No. 20/411), Drucksache. Deutscher Bundestag.
7. BMEL, 2017. Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV). Berlin.
8. BUNDESREGIERUNG, 2021. Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Weiterentwicklung 2021.
9. CAMPBELL, C.A., MYERS, R.J.K., CURTIN, D., 1995. Managing nitrogen for sustainable crop production. *Fertilizer research* 42, 277–296.
10. DÜV, 2017. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung).
11. DÜV, 2020. Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung). Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die zuletzt durch Artikel 97 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.
12. EUROPÄISCHER GERICHTSHOF, 2018. Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats – Richtlinie 91/676/EWG – Art. 5 Abs. 5 und 7 – Anhang II Teil A Nrn. 1 bis 3 und 5 – Anhang III Nr. 1 Ziff. 1 bis 3 und Nr. 2 – Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen – Unzulänglichkeit der geltenden Maßnahmen – Zusätzliche Maßnahmen oder verstärkte Aktionen – Fortschreibung des Aktionsprogramms – Begrenzung des Ausbringens – Ausgewogene Düngung – Zeiträume des Ausbringens – Fassungsvermögen von Behältern zur Lagerung von Dung – Ausbringen auf stark geneigten landwirtschaftlichen Flächen und auf gefrorenen oder schneebedeckten Böden.
13. FAO, 2022. FAOSTAT: Fertilizers by Nutrient.
14. FARIA, J.A., 2021. Renaissance of ammonia synthesis for sustainable production of energy and fertilizers. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 29, 100466. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2021.100466>
15. GRETHE, H., MARTINEZ, J., OSTERBURG, B., TAUBE, F., THOM, F., 2021. Klimaschutz im Agrar- und Ernährungssystem Deutschlands: Die drei zentralen Handlungsfelder auf dem Weg zur Klimaneutralität.
16. HAAS, G., DEITTERT, C., KÖPKE, U., 2007. Farm-gate nutrient balance assessment of organic dairy farms at different intensity levels in Germany. *Renew. Agric. Food Syst.* 22, 223–232. <https://doi.org/10.1017/S1742170507001780>
17. HARTMANN, F.-G., 2022. Hohe Düngerpreise - Wie geht der Futterbau damit um? Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen. URL <https://llh.hessen.de/pflanze/gruenland-und-futterbau/hohe-duengerpreise-wie-geht-der-futterbau-damit-um/> (accessed 3.7.23).

18. HYNDMAN, R.J., 2009. Moving Averages. 866–869.
19. JÜRGENS, K., 2021. Mit wenig Kraftfutter auskommen. Allgäuer Bauernblatt 20–21.
20. JÜRGENS, K., POPPINGA, O., SPERLING, U., 2016. Gute Milch aus einem Grashalm - Hintergünde und Erfahrungen zur Milchviehfütterung ohne oder nur mit wenig Kraftfutter. Der kritische Agrarbericht 2016 17–22.
21. KLAGES, S., OSTERBURG, B., HANSEN, H., 2017. Betriebliche Stoffstrombilanzen für Stickstoff und Phosphor—Berechnung und Bewertung. Dokumentation der Ergebnisse der Bund-Länder-Arbeitsgruppe" Betriebliche Stoffstrombilanzen" und der Begleitenden Analysen des Thünen-Instituts.
22. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2022. Pflanzenbau und Pflanzenschutz: Empfehlungen 2022.
23. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NIEDERSACHSEN, 2021. Nährstoffüberschüsse in Milchkuhbetrieben senken.
24. LEISEN, E., SPIEKERS, H., DIEPOLDER, M., 2013. Notwendige Änderungen der Methode zur Berechnung der Flächenleistung (kg Milch/ha und Jahr) von Grünland- und Ackerfutterflächen mit Schnitt oder Weidenutzung. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau 181–184.
25. LÖW, P., OSTERBURG, B., KLAGES, S., 2021. Comparison of regulatory approaches for determining application limits for nitrogen fertilizer use in Germany. Environmental Research Letters 16, 055009.
26. NEUWIRTH, C., HOFER, B., 2013. Spatial sensitivity of grassland yields to weather variations in Austria and its implications for the future. Applied Geography 45, 332–341. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.08.010>
27. NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2022. Die niedersächsische Landwirtschaft in Zahlen 44–45.
28. NIER, S., TAMÁSY, C., 2015. Die Agrar- und Ernährungswirtschaft in Niedersachsen. Universität Vechta, NieKE, Niedersächsisches Kompetenzzentrum
29. OENEMA, O., KROS, H., DE VRIES, W., 2003. Approaches and uncertainties in nutrient budgets: implications for nutrient management and environmental policies. European Journal of Agronomy 20, 3–16. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00067-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00067-4)
30. RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN, 1991. Richtlinie des Europäischen Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen.
31. ROSA, L., GABRIELLI, P., 2023. Energy and food security implications of transitioning synthetic nitrogen fertilizers to net-zero emissions. Environ. Res. Lett. 18, 014008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aca815>
32. SAINANI, K.L., 2012. Dealing with non-normal data. Pm&r 4, 1001–1005.
33. SCHAAK, H., MUSSHOF, O., 2018. Grazing adoption in dairy farming: a multivariate sample-selection approach. Journal of Agricultural and Resource Economics 292–305.
34. SIEVE, F., ISSELSTEIN, J., KAYSER, M., 2023. 13C analysis of cow tail hair and farm slurry can be used to implicitly distinguish between different dairy production systems. Ecol Process 12, 7. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00420-5>
35. SMIL, V., 1999. Nitrogen in crop production: An account of global flows. Global biogeochemical cycles 13, 647–662.
36. SMIT, H.J., METZGER, M.J., EWERT, F., 2008. Spatial distribution of grassland productivity and land use in Europe. Agricultural Systems 98, 208–219. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2008.07.004>
37. SRU, SACHVERSTÄNDIGENRAT FÜR UMWELTFRAGEN DER BUNDESREGIERUNG., 2015. Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem.
38. SRU, WBA, WBD, 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).

39. STIRM, J.W., ST-PIERRE, N.R., 2003. Identification and characterization of location decision factors for relocating dairy farms. *Journal of Dairy Science* 86, 3473–3487.
40. SUTTON, M.A., BLEEKER, A., 2013. The shape of nitrogen to come. *Nature* 494, 435–437.
41. TAUBE, F., BACH, M., BREUER, L., EWERT, F., FOHRER, N., LEINWEBER, P., MÜLLER, T., WIGGERING, H., 2020. Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung: Stickstoff- und Phosphor-Überschüsse nachhaltig begrenzen - Fachliche Stellungnahme zur Novellierung der Stoffstrombilanzverordnung.
42. VAN DEN POL-VAN DASSELAAR, A., BASTIAANSEN-AANTJES, L., BOGUE, F., O'DONOVAN, M., HUYGHE, C. (EDS.), 2020A. Grassland use in Europe: a syllabus for young farmers. Éditions Quae, Versailles.
43. VAN DEN POL-VAN DASSELAAR, A., HENNESSY, D., ISSELSTEIN, J., 2020B. Grazing of Dairy Cows in Europe— An In-Depth Analysis Based on the Perception of Grassland Experts. *Sustainability* 12, 1098. <https://doi.org/10.3390/su12031098>
44. VDLUFA, 2018. Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf.

Anschrift der Autoren

Friederike Sieve, M.Sc.

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Graslandwissenschaften

Von-Siebold-Straße 8

37073 Göttingen

E-Mail: friederike.sieve@uni-goettingen.de

Frerich Wilken

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Fachbereich Grünland und Futterbau

Mars-la-Tour Straße 13

26121 Oldenburg

E-Mail: frerich.wilken@lwk-niedersachsen.de

Prof. Dr. Johannes Isselstein

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Graslandwissenschaften

Von-Siebold-Straße 8

37073 Göttingen

E-Mail: jissels@gwdg.de

PD Dr. Manfred Kayser

Georg-August-Universität Göttingen

Department für Nutzpflanzenwissenschaften,

Graslandwissenschaften

Von-Siebold-Straße 8

37073 Göttingen

E-Mail: manfred.kayser@agr.uni-goettingen.de

Universität Vechta

Geo-Labor

Universitätsstraße 5

49377 Vechta