

Methodik Basis-Emissionsmonitoring:

Berechnung des Stickstoff-Flächenbilanzsaldos und der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser für das Jahr 2023

Stand: November 2024

A. Fier, A. Thiermann

Referat L3.2 Landwirtschaft, Bodenmonitoring

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Vorgehen	2
2.1	Berechnung des Stickstoff-Flächenbilanzsaldos.....	3
2.2	Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser	8
2.2.1	Stickstoffüberschuss im Boden	8
2.2.2	Stickstoffaustrag aus dem Boden	9
2.2.3	Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser	10
3	Quellen	10

1 Einleitung

Das Basis-Emissionsmonitoring ist ein Instrument, um flächendeckend für Niedersachsen mit einer standardisierten Methodik den Nitrataustrag mit dem Sickerwasser abzuschätzen. Die Abschätzung wird im mehrjährigen Turnus aktualisiert.

Die im Rahmen des Basis-Emissionsmonitorings berechnete potenzielle Nitratkonzentration dient der Abschätzung der Sickerwassergüte an der Untergrenze des Wurzelraumes in ca. 2 m Tiefe und wird neben den gemessenen Nitratwerten der Grundwassermessstellen zur Gefährdungsabschätzung und Bewertung des chemischen Zustands der Grundwasserkörper gemäß EG-WRRL herangezogen. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten sind die Ergebnisse nicht für eine schlaggenaue Bewertung geeignet.

Eine wichtige Grundlage zur Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser ist die Stickstoffemission aus der Landwirtschaft. Sie wird mit Hilfe von Stickstoff-Flächenbilanzsalden (N-Bilanzen) quantifiziert und ist ein Indikator für die Effizienz des Stickstoffeinsatzes landwirtschaftlicher Betriebe. Zur Berechnung der N-Bilanzen wird die N-Zufuhr auf die landwirtschaftlich genutzten Flächen der N-Abfuhr über die Ernte gegenübergestellt:

$$\text{N-Zufuhr} - \text{N-Abfuhr} = \text{N-Flächenbilanzsaldo} \quad [1]$$

Das Ergebnis sind Stickstoff-Flächenbilanzsalden auf Gemeindeebene, sie werden in kg N pro Hektar und Jahr bezogen auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche ausgegeben. Da die eingehenden Daten nach dem Betriebsstanzprinzip erhoben wurden, liegen für die gemeindefreien Gebiete keine N-Bilanzen vor.

2 Vorgehen

In Abbildung 1 ist eine vereinfachte Übersicht des Basis-Emissionsmonitorings mit den wesentlichen Eingangsparametern dargestellt. Die beiden Hauptelemente des Basis-Emissionsmonitorings, die Stickstoffemission aus der Landwirtschaft (N-Flächenbilanzsaldo) und die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser, sind rot umrandet.

Die Summe aus Stickstoff-Flächenbilanzsaldo und atmosphärischer Deposition bildet die Stickstoffemission (N-Emission). Aus diesen Eingangsgrößen wird der Stickstoffeintrag in den Boden (N-Überschuss) ermittelt. Unter anaeroben Bedingungen kann ein Teil des Nitrats durch mikrobielle Umsetzungsprozesse im Boden wieder abgebaut werden (Denitrifikation), es ergibt sich ein potenzieller N-Austrag. Unter Berücksichtigung der Sickerwassermenge errechnet sich daraus die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser.

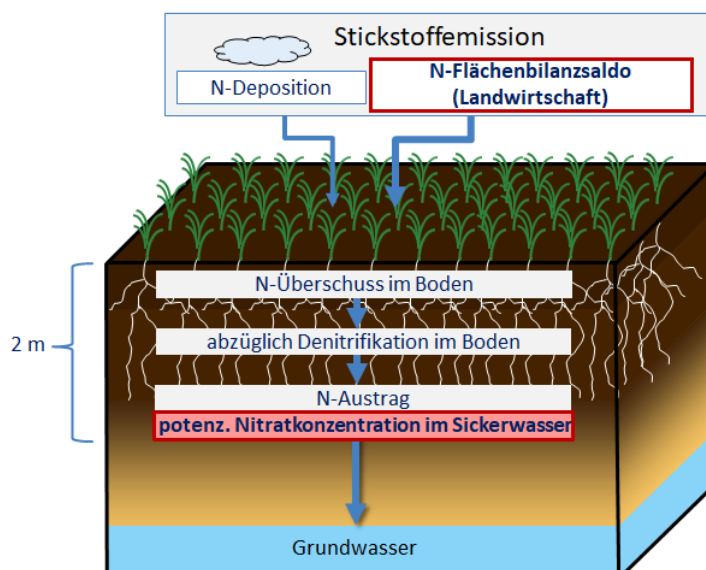


Abb. 1: Vereinfachte Darstellung des Basis-Emissionsmonitorings (N = Stickstoff)

2.1 Berechnung des Stickstoff-Flächenbilanzsaldos

Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Berechnung des Stickstoff-Flächenbilanzsaldos 2023 aus den zu- und abgeführten Stickstoffmengen.

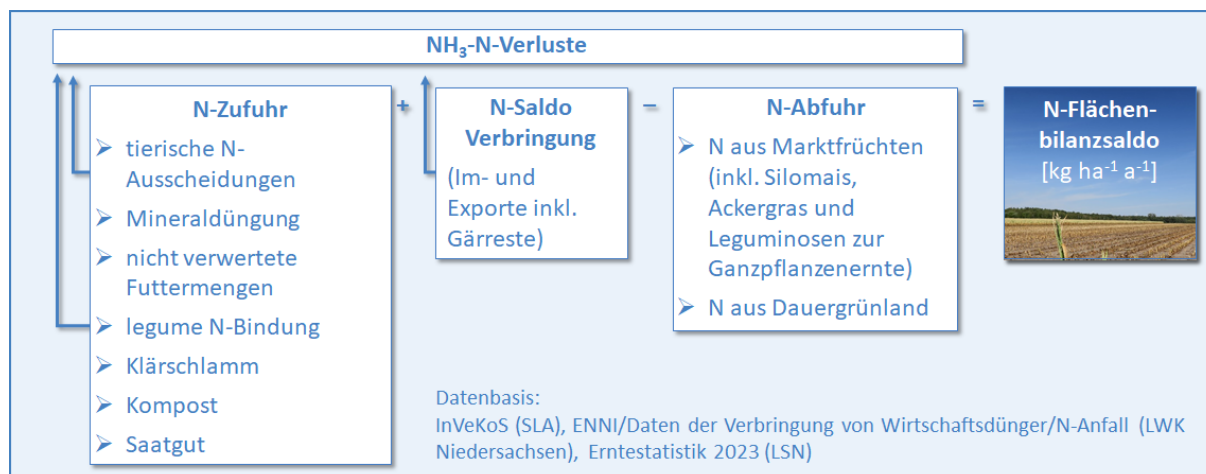


Abb. 2: Eingangsgrößen zur Berechnung des Stickstoff-Flächenbilanzsaldos landwirtschaftlich genutzter Flächen auf Gemeindeebene des Jahres 2023

Im Folgenden werden alle Bilanzgrößen zur Berechnung des N-Flächenbilanzsaldos einzeln erläutert.

N-Zufuhr über organische Düngung

An der Stickstoffzufuhr haben die N-Ausscheidungen aus der Tierhaltung einen wesentlichen Anteil. 2016 stammten die Tierzahlen auf Gemeindeebene aus der Agrarstrukturerhebung (LSN 2017). Da die Agrarstrukturerhebung 2023 nur eine Stichprobenerhebung bis zur NUTS2-Ebene (ehemalige Regierungsbezirke in Niedersachsen) ist, sind keine Daten auf der Gemeindeebene verfügbar. Alternativ stellt die Düngbehörde der Landwirtschaftskammer Niedersachsen daher den N-Anfall auf Gemeindeebene zur Verfügung. Dieser wurde auf Basis von Tierzahlen der Tierseuchenkasse 2023 und unter Berücksichtigung der N-/P-reduzierten Fütterung ermittelt.

Von den tierischen N-Ausscheidungen sind Stall-, Lager-, Weide- und Ausbringungsverluste (NH₃-N-Emissionen) abzuziehen (Tab. 1). Sie wurden auf Grundlage von Daten der Emissionsberichterstattung 2022, Submission 2024, vom Thünen-Institut berechnet (Rösemann 2024).

Tab. 1: Tierartenspezifische NH₃-N-Verluste (Rösemann 2024)

Code	Tiergruppe	NH ₃ -N- Emission der N- Ausscheidung	100 %	
			davon NH ₃ -N- Ausbringungs- verluste	davon NH ₃ -N- Stall-/Lager-/ Weideverluste
		%	%	%
0310	Rinder insgesamt	24	51	49
0330	Schweine insgesamt	28	20	80
0370+0380	Geflügel insgesamt	32	40	60
0390+0950 +0360	Einhufer + Schafe + Ziegen	29	32	68

Veränderung durch Verbringung

Durch die Verbringung von Wirtschaftsdüngern wie Gülle und Festmist kommt es zu erheblichen Verschiebungen zwischen den in einer Gemeinde anfallenden organischen

Düngermengen und den in einer Gemeinde tatsächlich ausgebrachten organischen Düngermengen. Seit 2012 müssen alle verbrachten Gärreste und Wirtschaftsdünger (ab 200 t Wirtschaftsdünger pro Jahr oder bei Gärrestaufnahme) und dessen N-Gehalte an die Düngebehörde der Landwirtschaftskammer Niedersachsen gemeldet werden. Mit den Gärresten kommt auch der Stickstoff aus pflanzlichem Substratinput (z.B. Biogasmais) zurück auf die Flächen. Die Daten der Verbringung für das Jahr 2023 wurden von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen auf Gemeindeebene zur Verfügung gestellt (LWK 2024). Daraus wurde ein N-Saldo der Verbringung berechnet. Das erforderte eine Aufbereitung der Verbringungsdaten. Beispielsweise wurden die N-Aufnahmen und N-Abgaben von Biogasanlagen und Vermittlern entfernt. Diese N-Mengen sind nur temporär in der entsprechenden Gemeinde und würden sonst mehrfach erfasst. Des Weiteren werden die Daten unterteilt in Gärreste und alle anderen Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft. Das erlaubt eine getrennte Berechnung der NH₃-Verluste. Für Gärreste werden im Jahr 2023 12 % NH₃-N-Ausbringungsverluste angesetzt (Rösemann 2024). Der sich ergebende N-Saldo der Verbringung beinhaltet auch den N-Export/Importsaldo in andere Bundesländer bzw. ins Ausland.

N-Zufuhr über Mineraldünger

Die Höhe der mineralischen Stickstoffdüngung für ganz Niedersachsen wird für das Jahr 2023 aus der „Elektronischen Nährstoffmeldung Niedersachsens“ (ENNI) übernommen (LWK 2024). Für das Jahr 2016 wurde diese Zahl noch als Durchschnitt aus den Wirtschaftsjahren 14/15, 15/16 und 16/17 aus der Düngemittelstatistik des Statistischen Bundesamtes ermittelt (Destatis 2018). Da dieser Wert für das Jahr 2023 deutlich unter den in ENNI gemeldeten Mengen liegt, ist davon auszugehen, dass entweder nicht alle gehandelten Düngermengen in der Düngemittelstatistik erfasst wurden oder ein zeitlicher Verzug in dessen Meldung besteht. Auf der Landkreis- oder Gemeindeebene erfolgte keine Bereitstellung des mineralischen Stickstoffeinsatzes aus ENNI. Daher wird die eingesetzte Menge über eine Regression ermittelt. Hierfür wird ein Ansatz nach Häußermann et al. (2019) verwendet und um den Faktor Klärschlamm erweitert:

$$\text{Minerald} = \text{Abf} \times \text{MbFaktor} - (\text{WiDg} + \text{Futternv}) \times 0,6 - \text{LegBind} \times 0,8 - \text{Klärs} \times 0,25 \quad [2]$$

Minerald: Höhe des mineralischen Stickstoffeinsatzes in kg N

Abf: N-Abfuhr über Marktfrüchte/Grünland in kg N

MbFaktor: Mehrbedarfsfaktor (0,889 für ganz Nds; berechnet mit Formel 2 aus den jeweiligen Gesamtsummen von Abf, WiDg, Futternv, LegBind, Klärs für Niedersachsen und dem Mineraldüngereinsatz laut ENNI 2023)

WiDg: in der Gemeinde ausgebrachter Wirtschaftsdünger (unter Berücksichtigung der Verbringung) ohne Abzug der Ausbringungsverluste in kg N

Futternv: nicht verwertete Futtermengen in kg N

LegBind: Summe der legumigen N-Bindung in kg N

Klärs: in der Gemeinde ausgebrachter Klärschlamm in kg N

Im ersten Schritt muss mit Hilfe von Formel 2 der für Niedersachsen gültige Mehrbedarfsfaktor ermittelt werden. Dafür wird nach dem Mehrbedarfsfaktor umgeformt und die jeweiligen Summen für ganz Niedersachsen eingesetzt. Dieser Faktor lag für das Jahr 2016 bei 1,18. Für das Jahr 2023 beträgt er nur 0,89. Ein Grund für den verhältnismäßig niedrigen Wert könnte sein, dass bei den organischen Düngemitteln mittlerweile teils mit einer höheren Düngewirksamkeit gerechnet wird. Daher ist dieser Wert bei einer erneuten Modellierung zu überprüfen. Mit dem berechneten Mehrbedarfsfaktor wird im zweiten Schritt der mineralische Stickstoffeinsatz gemeindespezifisch nach Formel 2 ermittelt.

N-Zufuhr über legume N-Bindung

Die Höhe der legumigen N-Bindung von Ackerkulturen wie Erbsen und Ackerbohnen ergibt sich aus deren Anbaufläche (siehe Absatz „N-Abfuhr über Marktfrüchte“) und den sortenspezifischen N-Bindungsmengen (StoffBilV 2021). Die Höhe der legumigen N-Bindung auf Dauergrünland ist von der Nutzungsintensität abhängig. In Anlehnung an die

Düngeverordnung (DüV 2020) wurden für extensive Weiden und Wiesen mit 1- und 2-Schnittnutzung sowie aus der Erzeugung genommenes Grünland $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angesetzt, für intensiv genutzte (Mäh-)Weiden und Wiesen $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Ferner wurden gasförmige Verluste in Höhe von 1 % der Leguminen N-Bindung in Abzug gebracht (EEA 2004).

N-Zufuhr über Klärschlamm

Angaben zur landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung auf Gemeindeebene und dem resultierenden N-Anfall wurden aus ENNI übernommen (LWK 2024). Die Daten stammen aus 2022, da für das Jahr 2023 zum Zeitpunkt der Datenbearbeitung noch keine Daten vorlagen.

N-Zufuhr über Kompost

In ENNI wird auch die Düngung mit Kompost erfasst. Diese Daten bzw. die aus der Düngung resultierende N-Zufuhren auf der Gemeindeebene gehen ins Modell ein (LWK 2024). Die Daten stammen aus 2022, da für das Jahr 2023 zum Zeitpunkt der Datenbearbeitung noch keine Daten vorlagen. Die gemeldeten Mengen sind nicht vollständig, u.a. da auch nicht im ENNI meldepflichtige Betriebe Kompost aufnehmen. Daher werden zusätzlich, wie bereits für das Jahr 2016, die Daten aus dem Bericht „Abfallentsorgung“ des Jahres 2022 (LSN 2024a) herangezogen. Daten für 2023 lagen zum Zeitpunkt der Modellierung noch nicht vor. Der Bericht enthält die in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzte Kompostmenge in Niedersachsen. Die daraus resultierende N-Zufuhr, abzüglich der bereits im ENNI gemeldeten Mengen, wurde gleichmäßig auf alle Ackerflächen verteilt. Lediglich stillgelegte Ackerflächen wurden ausgenommen.

N-Zufuhr mit dem Saatgut

Mit dem Saatgut gelangt zusätzlich Stickstoff in den Boden. Wieviel, hängt vom Gewicht und der Saatstärke des verwendeten Korns ab. Mit Hilfe von mittleren Tausendkorngewichten und mittleren Saatgutmengen (Körner/m²) wird die eingesetzte kulturspezifische Saatgutmenge in dt/ha abgeschätzt (KTBL 2018, Baumgärtel 2021, Burgdorf 2021) und mit dem kulturartenspezifischen N-Gehalt multipliziert. Es wird nur Saatgut mit relevanten N-Mengen über $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ berücksichtigt.

N-Abfuhr über Marktfrüchte

Die Anbauflächen der verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturen stammten 2016 aus der Agrarstrukturerhebung 2016 (LSN 2017). Da die Agrarstrukturerhebung 2023 nur eine Stichprobenerhebung ist, sind keine Informationen auf Gemeindeebene vorhanden. Daher werden die im InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) angegebenen Schlagdaten aus dem Jahr 2023 verwendet (SLA 2024). Es wurden nur die Schläge von Betrieben mit Betriebsitz in Niedersachsen ausgewertet. Lagen diese Schläge in anderen Bundesländern, wurden sie ebenfalls einbezogen. Nicht betrachtet wurden Schläge innerhalb Niedersachsens, die von Betrieben mit Sitz außerhalb von Niedersachsen bewirtschaftet wurden. In einem weiteren Schritt wurden die verschiedenen Kulturen aus InVeKoS zu den Kulturarten der Agrarstrukturerhebung zusammengefasst, da für diese Kulturen kulturspezifische N-Gehalte vorliegen. Danach wurden die Daten auf Gemeindeebene gruppiert.

Die Anbauflächen der verschiedenen Kulturen wurden mit den 2023 erzielten Ernteerträgen verrechnet. Die Erträge wurden der Erntestatistik des Landesamtes für Statistik (LSN 2024b) entnommen und liegen auf der Landkreisebene vor. Für einige Kulturen mit geringer Flächenausdehnung werden keine Ernteerträge erhoben. In diesen Fällen wurde entweder auf Standarderträge zurückgegriffen oder der Ertrag einer anderen Kultur herangezogen. Durch die Verrechnung mit kulturspezifischen N-Gehalten (DüV 2020, LfL 2021, LWK 2021) ergibt sich der N-Anfall bzw. die N-Abfuhr aller Marktfrüchte einer Gemeinde. Zu den Marktfrüchten zählen landwirtschaftliche Feldfrüchte einschließlich gärtnerischer Kulturen, sowie Dauerkulturen wie Baum- und Beerenobstanlagen. Auch Ackerkulturen, die als Grundfutter der Tierernährung dienen, werden dazugezählt: Silomais, Feldgrasanbau auf Ackerland und Leguminosen zur Ganzpflanzenernte. Ausgenommen ist Dauergrünland.

N-Abfuhr über Dauergrünland

Die Höhe der N-Abfuhr von Wiesen und Weiden ist in hohem Maße von der Nutzungsintensität bzw. Art der Nutzung (Wiese, Weide, Mähweide) aber auch von den klimatisch bedingten jährlichen Ertragsschwankungen abhängig. Die Nutzungsintensität von Grünland wurde der Meldedatenbank ENNI aus dem Jahr 2022 entnommen, da zum Zeitpunkt der Datenauswertung noch keine Daten aus 2023 vorlagen. Es wird davon ausgegangen, dass die gemeldeten Nutzungsintensitäten in beiden Jahren vergleichbar sind. Jeder Nutzungsintensität ist ein Standard-Ertragsniveau nach DüV (2020) Anlage 4, Tabelle 9, zugeordnet. Da der Ertrag jährlichen Schwankungen unterliegt, wurden die Standarderträge an das mittlere Ertragsniveau des Jahres 2023 angepasst. Dazu wurden die von der LSN erfassten landesweiten Erträge für Wiesen und Weiden (LSN 2024b) arithmetisch gemittelt und durch den flächengewichteten landesweiten Standardertrag geteilt. Dieser Ertrags-Faktor wurde mit den Standarderträgen jeder Nutzungsintensität einer Gemeinde multipliziert. Das Ergebnis ist ein an das Jahr 2023 angepasstes Ertragsniveau. Ändert sich der Ertrag einer Nutzungsintensität, ändert sich auch der Rohprotein- bzw. N-Gehalt und muss angepasst werden. Zu diesem Zweck wurde aus dem Ertragsniveau für Grünland/Dauergrünland und Weide/Mähweide und dem dazu gehörigen N-Gehalt nach DüV (2020), Anlage 4, Tabelle 9 eine Regression zur Berechnung des N-Gehaltes angepasst:

$$\text{N-Gehalt (kg/dt TM)} = -0,00024 \times x^2 + 0,05872 \times x - 0,65503 \quad [3]$$

x = Grünlandertrag in dt Trockenmasse (TM) pro ha

Mit Hilfe von Formel 3 kann für jede Nutzungsintensität ein ertragsangepasster N-Gehalt berechnet werden. Damit es bei sehr niedrigen Erträgen nicht zu unrealistisch niedrigen N-Gehalten kommt, wird die Untergrenze auf 1 kg N/dt TM festgesetzt.

Für jede Nutzungsintensität wurde die N-Abfuhr aus der Multiplikation von Ertrag, ertragsangepasstem N-Gehalt und Hektarangabe berechnet und für jede Gemeinde aufsummiert.

Die im ENNI gemeldeten Grünlandfläche ist teilweise niedriger als die in InVeKos gemeldeten Grünlandfläche. Die fehlende Fläche erhält die Hälfte der landesweiten N-Abfuhr, da es sich überwiegend um eher extensiv bewirtschaftete Flächen nicht meldepflichtiger Betriebe (wie Pferdeweiden) handeln dürfte.

N-Zufuhr über nicht verwertete Futtermengen

Ein Teil des Ertrages von Wiesen und Weiden wird nicht von den Grundfutterfressern aufgenommen, sondern kehrt als nicht verwertete Futtermenge auf landwirtschaftliche Flächen zurück. Wie hoch dieser Anteil ist, wurde einmalig über einen Methodenvergleich ermittelt. Basis war das Jahr 2020. Dazu wurde die N-Abfuhr über das Grundfutter über die N-Ausscheidungen der Tiere berechnet (plausibilisiert). Diese Größe ist keine jahresspezifische N-Abfuhr (Ertrag), sondern eine mittlere, um die Futtermittelverluste bereits reduzierte N-Abfuhr. Die dafür erforderliche Methodik nach Schmidt et al. (2007) wurde bis zum Jahr 2016 im Basis-Emissionsmonitoring angewendet. Die N-Abfuhr ergibt sich bei dieser Vorgehensweise aus den N-Ausscheidungen pro Stallplatz aller Grundfutterfresser zuzüglich des Stickstoffs aus den Tierprodukten Milch und Fleisch abzüglich des Stickstoffs im Kraftfutter:

$$\text{N-Abfuhr}_{\text{Grundfutter}} [\text{kg N}] = \text{orgDGGF} + \text{TP} - \text{KF} \quad [4]$$

orgDGGF: N-Ausscheidung Grundfutterfresser in kg N

TP: N-Gehalt Milch und Fleisch in kg N

KF: N-Gehalt Kraftfutter in kg N

Wobei TP:

$$\text{TP} = \text{MIKU} \times 2 + \text{MIKU} \times \text{ML} \times 0,0053 + \text{Bulle} \times 9,6 + \text{Kalb} \times 3,9 + \text{Färse} \times 6 + \text{MutterAlt} \times 2 + \text{Pferd} \times 3,4 + \text{Schaf} \times 1,5 \quad [5]$$

MIKU: Anzahl Milchkühe

ML: Milchleistung in l

MutterAlt: Anzahl Mutter- und Altkühe

Wobei KF:

$$KF = \text{MIKU} \times 11,3 + \text{MIKU} \times (\text{ML} - 3000) \times 0,0086 + \text{Bulle} \times 13,8 + \text{Kalb} \times 9 + \text{orgDG}_{\text{GF}}/\text{haGF} \times 0,039 \times \text{GVGF} + \text{Pferd} \times 10,2 + \text{Schaf} \times 0,9 \quad [6]$$

haGF: Grundfutterfläche in ha

GVGF: Großvieheinheit Grundfutterfresser

Diese Methode hat den Nachteil, dass die Grundfutterfläche auf der Gemeindeebene bekannt sein muss. Die Agrarstatistik unterscheidet nicht zwischen Futter- und Energiepflanzenflächen. Das wurde in der Vergangenheit mit Hilfe einer Extrapolation gelöst, die die Grundfutterfläche für Silomais im Jahr 2003 zur Basis hatte und hinzugekommene Fläche dem Energiemais zuschlug (korrigiert um sich ändernde Tierzahlen). Da dieses Vorgehen auf Grund des großen zeitlichen Abstandes zunehmend unsicherer geworden ist, wurde diese Berechnung für das Jahr 2020 nur noch auf der Landesebene durchgeführt.

Die Differenz der N-Abfuhr von Marktfrüchten und Grundfutter zwischen beiden methodischen Ansätzen (realer Grünlandertrag versus plausibilisierter Grünlandertrag) entsprach im Jahr 2020 einem Zuschlag von 19,2 % auf die N-Ausscheidungen der Grundfutterfresser. Dieser Prozentsatz wird auch für das Jahr 2023 zur Berechnung der nicht verwerteten Futtermengen verwendet.

N-Flächenbilanzsaldo

Analog zu Abbildung 2 ergibt sich aus den genannten Größen, der N-Zufuhren und N-Abfuhren, der Stickstoff-Flächenbilanzsaldo, ein betriebssitzbezogener Wert auf Gemeindeebene. Der N-Bilanzüberschuss wird dabei auf die landwirtschaftlich genutzte Fläche inklusive der Stilllegungsflächen bezogen.

Das N-Flächenbilanzsaldo kann nicht direkt mit N-Bilanzen nach Düngeverordnung (DüV 2020) verglichen werden, da dort u.a. andere Werte bei den NH₃-N-Verlusten angesetzt werden.

Fehlerbetrachtung

Die Genauigkeit der berechneten Bilanzsalden hängt stark von der Qualität der Eingangsdaten ab. Gemeinden können sehr hohe oder sehr niedrige N-Salden aufweisen, wenn Daten nicht oder nur teilweise gemeldet werden. Es kann vorkommen, dass Betriebe beispielsweise die Verbringung nicht mit ihrer Hauptbetriebsnummer, sondern mit der Stallnummer melden. Liegt dieser in einer anderen Gemeinde als der Betriebsitz, kann es zu Verzerrungen zwischen den Gemeinden kommen. Auch durch Lagerhaltung von Wirtschaftsdüngern können Gemeinden sehr hohe oder sehr niedrige N-Salden aufweisen. Zudem melden nicht alle Betriebe in InVeKos, wohl aber in der Tierseuchenkasse.

Sich mit der Zeit verändernde Datengrundlagen führen dazu, dass sich das verwendete N-Flächenbilanz-Modell in ständiger Anpassung und Optimierung befindet, mit dem Anspruch die Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Jahren, soweit es möglich ist, zu erhalten. So wurden bis 2020 mit jedem Erscheinen der Landwirtschaftszählung bzw. Agrarstrukturhebung neue N-Bilanzen berechnet (alle 3 bis 4 Jahre). Für das Jahr 2023 wird erstmals der N-Anfall basierend auf Tierzahlen nach Tierseuchenkasse verwendet, da die Agrarstrukturhebung 2023 nur eine Stichprobenerhebung ist und keine gemeindegauen Informationen liefert.

2.2 Abschätzung der potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser

Zur Abschätzung der landesweiten potenziellen Nitratkonzentration im Sickerwasser werden folgende Eingangsgrößen herangezogen:

- N-Flächenbilanzsaldo in $\text{kg N ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ bezogen auf die landwirtschaftliche Fläche für das Jahr 2023 auf Gemeindeebene (vergl. Kap. 2.1)
- Landnutzungsdifferenzierte atmosphärische Stickstoffdeposition (Mittelwert der Jahre 2016 – 2019)
- ATKIS DLM 25 Landnutzung (Stand 2023)
- Denitrifikationspotenzial des Bodens nach Bodentyp aus der Bodenkarte 1:50.000 (BK50)
- mittlere jährliche Sickerwasserrate in mm des Wasserhaushaltsmodells mGROWA22 für die Klimaperiode 1991-2020
- Verweilzeit im Boden berechnet aus nFKWe (BK50) und Sickerwasserrate

Es werden nacheinander folgende Kenngrößen ermittelt (vergl. Abb.1):

- N-Überschuss im Boden: Summe aller N-Einträge aus Landwirtschaft und landnutzungsspezifischer atmosphärischer Deposition. Dies ist die potenziell verlagerbare Stickstoffmenge im Boden.
- N-Austrag aus dem Boden: Stickstoffmenge (Fracht), die mit dem Sickerwasser aus dem Boden in benachbarte Kompartimente (Grundwasser, Oberflächengewässer) abgegeben wird, nachdem ein Teil des N-Überschusses durch Denitrifikation im Boden abgebaut wurde. Sie ergibt sich aus der Differenz aus N-Überschuss im Boden und Denitrifikation im Boden.
- Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser: rechnerisch ermittelte Nitratkonzentration im Sickerwasser, die sich aus dem N-Austrag (Fracht) und der mittleren jährlichen Sickerwasserwasserrate ergibt. Die berechnete potenzielle Nitratkonzentration gilt für den Bereich bis etwa 2 m Tiefe.

Die Berechnung der genannten Kenngrößen werden GIS-gestützt auf Rasterebene mit einer Rastergröße von 25 x 25 m durchgeführt. Im Folgenden werden die einzelnen Berechnungsschritte erläutert.

2.2.1 Stickstoffüberschuss im Boden

Auf Grundlage der derzeit aktuellen ATKIS-Landnutzungskarte (LGLN 2023) werden flächendeckend für Niedersachsen folgende Nutzungskategorien zusammengefasst: Ackerland, Grünland, Laub-, Nadel- und Mischwald, bebaute Fläche sowie sonstige Fläche.

Die Acker- und Grünlandflächen werden mit dem unter Kapitel 2.1 erläuterten N-Flächenbilanzsaldo auf Gemeindeebene verschnitten. Bei Ackerflächen wird im langjährigen Mittel von einem Gleichgewicht zwischen Mineralisierung und Immobilisierung im Boden ausgegangen. Für Grünlandflächen wird zur Berücksichtigung eines geringeren Austragsrisikos zusätzlich der empirisch abgeleitete Korrekturfaktor 0,43 (Grünlandfaktor) angesetzt (Wienhaus et al. 2008).

Des Weiteren wird die atmosphärische Stickstoffdeposition berücksichtigt. Die Werte werden aus dem UBA Forschungsprojekt PINETI-4 (Kranenburg et al. 2024) übernommen. Im Rahmen des PINETI-4 Projektes ist die landnutzungsspezifische Stickstoffdeposition auf Bundesebene modelliert worden. Für das Basis-Emissionsmonitoring wird für jede Landnutzung die Gesamtstickstoffdeposition der Jahre 2016, 2017, 2018 und 2019 selektiert. Der Mittelwert dieser Jahre wird anschließend den entsprechenden ATKIS-Landnutzungsflächen zugewiesen.

Für Wald- und Forstflächen wird eine konstante N-Immobilisierung, als Summe aus N-Immobilisierung im Boden und im jährlichen Zuwachs, von $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ angenommen.

Durch Addition aller Komponenten wird der N-Überschuss (die potenziell verlagerbare N-Menge im Boden) ermittelt:

$$\text{N-Überschuss} = \text{Landwirtschaftlicher N-Flächenbilanzsaldo} + \text{N-Deposition} \\ (- \text{N-Immobilisierung im Boden nur für Wald-/Forstflächen}) \quad [7]$$

Landnutzungsspezifisch ergeben sich somit folgende Formeln für den N-Überschuss im Boden in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$:

Acker:	N-Flächenbilanzsaldo + N-Deposition	[8]
Grünland:	(N-Flächenbilanzsaldo + N-Deposition) × 0,43 (Grünlandfaktor)	[9]
Wald/Forst:	N-Deposition – $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Ausnahme Kalamitätsflächen)	[10]
Sonstige:	N-Deposition	[11]

Die landnutzungsspezifischen Teilergebnisse werden anschließend zu einem flächendeckenden Datensatz zusammengefügt, so dass der N-Überschuss im Boden für die gesamte Landesfläche ermittelt und dargestellt werden kann. Mit diesen flächendeckenden Daten werden die weiteren Berechnungen ausgeführt.

Hinweis Kalamitätsflächen:

Auf Empfehlung der Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) werden für Kalamitätsflächen nicht die jeweiligen Depositionsdaten von Laub-, Nadel- oder Mischwald sondern die für „seminatürliche Vegetation“ des PINETI4-Projektes sowie eines mittleren Faktors von 1,2 verwendet (Ahrends 2024). Eine Immobilisierung von $20 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wird für diese Flächen nicht berücksichtigt. Die räumliche Ausdehnung der Kalamitätsflächen wird aus dem Projekt AUWADI (NW-FVA 2024) zur Verfügung gestellt.

2.2.2 Stickstoffaustrag aus dem Boden

Durch mikrobielle Umsetzungsprozesse im Boden wird unter anaeroben Bedingungen ein Teil des Nitrats wieder in Luftstickstoff (z.T. Lachgas) umgesetzt. Daher muss vom potenziellen N-Austrag noch der N-Verlust durch Denitrifikation im Boden abgezogen werden.

$$\text{N-Austrag aus dem Boden} = \text{N-Überschuss} - \text{Denitrifikation (Boden)} \quad [12]$$

Die Denitrifikation wird unter Berücksichtigung der bodentypspezifischen potenziellen Denitrifikationsrate nach Wienhaus et al. (2008) und der Verweilzeit im Boden berechnet. Diese niedersächsische Methode ist angelehnt an die Methode nach AGRUM / DENUZ auf Basis der Bodenkarte von Niedersachsen 1:50.000 (BK 50) und gilt bis zu einer Tiefe von zwei Metern.

$$\text{Denitrifikation (Boden)} = \text{potenzielle Denitrifikationsrate} \times \text{Verweilzeit (ungesättigte Zone)} / \\ \text{mittlere Verweilzeit (ungesättigte Zone) aller Böden der gleichen Denitrifikationsstufe} \quad [13]$$

Zur Berechnung der Verweilzeit wird die mittlere jährliche Sickerwasserrate des Wasserhaushaltsmodells mGROWA22 (Klimaperiode 1991-2020) herangezogen (Ertl et al. in Vorbereitung)

$$\text{Verweilzeit} = \text{nutzbare Feldkapazität} \times \text{effektive Durchwurzelungstiefe} / \text{Sickerwasserrate} \quad [14]$$

Hinweise:

Eine mögliche Denitrifikation in der tieferen ungesättigten Zone sowie im Grundwasserleiter wird nicht berücksichtigt, da der Nitratabbau hier in der Regel unter Verbrauch fossiler Kohlenstoff- oder Sulfidvorräte erfolgt und daher nicht nachhaltig ist.

Da davon ausgegangen werden muss, dass Stickstoff nicht vollständig denitrifiziert werden kann und immer ein Teil ausgewaschen wird, wird der N-Austrag (N-Flächenbilanzsaldo + Deposition) auf ein Minimum von 3 kg gesetzt, bevor die Verrechnung mit dem Sickerwasser erfolgt.

2.2.3 Potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser

Zur Berechnung der potenziellen Nitratkonzentration (NO₃) im Sickerwasser wird die mittlere jährliche Sickerwasserrate benötigt. Diese wird mit Hilfe des Wasserhaushaltsmodells mGROWA22 (Ertl et al. in Vorbereitung) ermittelt und ergibt sich aus der Differenz von langjährigem Niederschlag und Verdunstung der Klimaperiode 1991- 2020.

Der Quotient aus dem N-Austrag und der Sickerwasserrate ergibt die potenzielle Nitratkonzentration im Sickerwasser, die wie folgt ermittelt wird:

$$\text{potenzielle NO}_3\text{-Konzentration [mg/l]} = (\text{N-Austrag} / \text{Sickerwasserrate}) \times 443 \quad [15]$$

Hinweis Kalamitätsflächen:

Aufgrund der veränderten Vegetation (insbesondere des fehlenden Baumbestandes) auf den in Kap. 2.2.1 erwähnten Kalamitätsflächen wird für diese Gebiete eine mittlere Zunahme der Sickerwasserrate um 60 mm/a angenommen.

3 Quellen

Ahrends, B. (2024): Schriftliche Mitteilung. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen

Baumgärtel, G. (2021): Schriftliche Mitteilung. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover.

Burgdorf, G (2021): Schriftliche Mitteilung. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover.

Destatis (2018): Fachserie 4, Reihe 8.2. Produzierendes Gewerbe, Düngemittelversorgung, jährliche Berichte. Download unter www.destatis.de.

DüV (2020). Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV). Düngeverordnung vom 26. Mai 2017 (BGBl. I S. 1305), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. April 2020 (BGBl. I S. 846) geändert worden ist.

EEA - European Environment Agency (2004): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2004. Copenhagen, Denmark.

Ertl, G., Bug, J., Hajati, M.-C., Hermann, F., Waldeck, A. & Elbracht, J. (in Vorbereitung): Berechnungen mit dem Wasserhaushaltsmodell mGROWA22 für den Beobachtungszeitraum 1961–2020. – GeoBerichte 51: 6–38; Hannover. (LBEG), DOI 10.48476/geober_51_2024.

Häußermann, U.; Bach, M.; Klement, L.; Breuer, L. (2019): Stickstoff-Flächenbilanzen für Deutschland mit Regionalgliederung Bundesländer und Kreise – Jahre 1995 bis 2017. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau UBA-Texte 131/2019, 167 S.

Kranenburg, R., Schaap, M., Coenen, P., Thürkow, M. und Banzhaf, S. (2024): PINETI-4: Modelling and assessment of acidifying and eutrophying atmospheric deposition to terrestrial ecosystems, UBA-Texte 130/2024, S. 1–128, online verfügbar: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/pineti-4-modelling-assessment-of-acidifying>

KTBL (2018): Faustzahlen für die Landwirtschaft. 15. Auflage. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Hrsg.), Darmstadt.

LfL (2021): Basisdaten - für die Umsetzung der Düngeverordnung - für die Beratung und Planung - zur Berechnung. Stand März 2021. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Download unter <https://www.lfl.bayern.de/basisdaten>, am 30.07.2021.

LGLN (2023): ATKIS DLM 25 Landnutzungsdaten (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem).

LSN (2017): Tierzahlen und Anbauflächen landwirtschaftlicher Kulturen auf Gemeindeebene, Agrarstrukturerhebung 2016. Landesamt für Statistik Niedersachsen, Hannover. Die Daten wurden über das Niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz zur Verfügung gestellt.

LSN (2024a): Abfallentsorgung 2022. Statistische Berichte Niedersachsen, QII1/QII2-j/2022. Landesamt für Statistik, Hannover. Download am 8.7.2024 unter: [Abfallwirtschaft in Niedersachsen - Statistische Berichte | Landesamt für Statistik Niedersachsen](#)

LSN (2024b): Statistische Berichte Niedersachsen. Bodennutzung und Ernte 2023. Landesamt für Statistik Niedersachsen, Hannover. Download am 1.6.2024 unter: [Wachstum und Ernte in Niedersachsen - Statistische Berichte | Landesamt für Statistik Niedersachsen](#)

LWK (2021): Stammdaten vom 1.07.2021, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Düngebehörde, Oldenburg. Download unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de>, Webcode 0111564

LWK (2024): Daten der Verbringung von Wirtschaftsdüngern in Niedersachsen 2023, Daten des Stickstoffanfalls aus Wirtschaftsdüngern 2023 auf Basis von Tierzahlen der Tierseuchenkasse, Daten der Grünlandnutzungsintensitäten auf Gemeindeebene sowie Daten zum Kompost- und Klärschlammeinsatz aus der Meldedatenbank „ENNI“ (Elektronische Nährstoffmeldungen Niedersachsen) aus dem Jahr 2022, Mineraldüngereinsatz auf der Landesebene aus ENNI 2023. Persönliche Mitteilung, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Düngebehörde, Oldenburg.

NW-FVA (2024): Projekt AUWADI (Auswirkungen großflächiger abiotischer und biotischer Waldschäden auf Wasserdienstleistungen). Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt Göttingen. [AUWADI - NW-FVA](#)

Schmidt, T. G., Osterburg, B. & A. Laggner (2007): Datenauswertung zur Quantifizierung diffuser Stickstoffemissionen aus der Landwirtschaft im Rahmen des Projektes „Integriertes Monitoring des chemischen Zustandes des Grundwassers“ in Niedersachsen – Top-Down-Ansatz mit Daten der Agrarstrukturerhebung 1999 und 2003 und Analyse des Landnutzungswandels. Arbeitsberichte des Bereichs Agrarökonomie 02/2007 des Instituts für Ländliche Räume (FAL), Braunschweig.
Download möglich unter: http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/zi042559.pdf

SLA (2024): anonymisierte Schlagdaten 2023 des InVeKoS (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem). Persönliche Mitteilung. Servicezentrum Landentwicklung und Agrarförderung

StoffBilV (2021): Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung - StoffBilV). Stoffstrombilanzverordnung vom 14. Dezember 2017 (BGBl. I S. 3942; 2018 I S. 360), die durch Artikel 98 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

Rösemann, C. (2024): Schriftliche Mitteilung. Thünen-Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig.

Wienhaus, S., Höper, H., Eisele, M., Meesenburg, H. & W. Schäfer (2008): Nutzung bodenkundlich-hydrogeologischer Informationen zur Ausweisung von Zielgebieten für den Grundwasserschutz. Landesamt für Bergbau, Geologie und Energie, GeoBerichte 9, 56 S. Download möglich unter: <http://www.lbeg.niedersachsen.de>