


Klärung der Anforderungen an die Stickstoffbilanzierung

 Grundlagen und Methodik der Critical Levels, Critical Loads und Critical Surplus
zur flächendeckenden Bewertung des Stickstoffhaushalts
(CS-Bericht 2017)

vom

Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffbilanz (FGNB)

– Sachstand Februar 2017 –

StickstoffBW ist ein ressortübergreifendes Verbundvorhaben des Landes Baden-Württemberg, mit dem notwendige Grundlagen für die Planung von Maßnahmen und für den Vollzug im Immissionsschutz, in der Wasserwirtschaft, im Naturschutz und bei der Land- und Forstwirtschaft, dem Bau und Betrieb von Verkehrswegen sowie in der Umweltplanung zum Umgang mit Stickstoffeinträgen in die Umwelt erarbeitet werden.

Impressum

Herausgeber	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Bearbeitung	Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffbilanz – Vertreten sind die Länder Baden-Württemberg (Vorsitz), Bayern, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Schleswig-Holstein, Sachsen (1. Sitzung), Sachsen-Anhalt, Thüringen sowie die Uni Gießen, das JKI Julius Kühn-Institut, das TI Johann Heinrich von Thünen-Institut, das UBA Umweltbundesamt und das BfN Bundesamt für Naturschutz (2. Sitzung).
Hintergrund	Die ressortübergreifende Diskussion von Stickstoffbilanzen zwischen Bund und Ländern wurde im November 2014 im Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen in einem Fachgespräch verabredet. Primäres Ziel des im Mai 2015 im Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg gegründeten „Bund-Länder-Fachgesprächs Stickstoffbilanz (FGNB)“ ist, methodische Fragen von regionalen, einzelbetrieblichen und standortspezifischen N-Bilanzen zu klären. Die Ausarbeitung soll fachlich mit dem Bund-Länder-Fachgespräch Critical Loads (FGCL) abgestimmt werden. Die 2. Sitzung wurde vom HLNUG Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie im März 2016 in der Hochschule Geisenheim bei Wiesbaden veranstaltet. Die 3. Sitzung ist 2017 im BfN Bundesamt für Naturschutz in Bonn geplant.
Kontakt	LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Postfach 10 01 63, 76231 Karlsruhe, Mail: Stickstoff@lubw.bwl.de
Bezug	https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/publikationen ID Umweltbeobachtung U26-S7-N17
Stand	Sachstand Februar 2017, Internetausgabe März 2017

Inhalt

KURZFASSUNG	5
BEGRIFFE UND ABKÜRZUNGEN	7
1 EINLEITUNG	9
1.1 Die Lösung der Stickstoffproblematik ist ein ökologisches Schlüsselthema	9
1.2 Einführung der Critical Loads und Hoftorbilanzen	9
2 GRUNDLAGEN DER STICKSTOFFBILANZIERUNG	10
2.1 Stickstoffbilanzierung für geschützte Flächen (Critical Loads)	10
2.2 Stickstoffbilanzierung für landwirtschaftlich genutzte Flächen	10
2.2.1 Ausgangslage Düngebedarfsermittlung und Düngeberatung	10
2.2.2 Typisierung der Stoffflüsse	11
2.2.3 Typisierung der Stoffflussbilanzen	13
2.2.4 Vorratsänderungen und Mehrjahresmittel	13
2.3 Sonstige Grundlagen der Bilanzierung	14
2.3.1 Critical Levels und Critical Loads	14
2.3.2 Sättigung der Vegetation (Kompensationspunkt)	14
2.3.3 Flächendaten für Konzentrationen und Eintragsfrachten	14
2.3.4 Konzentrationen und Deposition in der Agrarberatung	15
3 METHODIK DER KRITISCHEN ÜBERSCHÜSSE (CRITICAL SURPLUS)	16
3.1 Bilanzglieder der Critical Surplus (CS_{SMB})	16
3.2 Gliederung des Critical Surplus ($N_{vol} : N_{le} : N_2$)	17
3.3 Typisierung der Critical Surplus	18
3.3.1 Schutzguttypische, kritische Überschüsse (CS-A)	18
3.3.2 Gebietstypische, kritische Überschüsse (CS-B)	18
3.3.3 Betriebstypische, kritische Überschüsse (CS-C)	19
3.3.4 Produkttypische, kritische Überschüsse (CS-D)	19
3.4 Sonstige Anforderungen an die Critical Surplus – CS	19

4	STAND DER CRITICAL LOADS	21
4.1	Critical Loads werden bereits angewendet	21
4.2	Aktuelle und geplante Datengrundlagen für die Critical Load Ermittlung	21
4.3	Empirische Befunde müssen geklärt werden	21
5	AUSBLICK	22
5.1	Critical Surplus Detailformeln, Annahmen und Beispiele	22
5.2	Kartierung von Critical Load und Critical Surplus Überschreitung (Exceedance)	22
5.3	Stickstoffbilanzierung in Deutschland und den Bundesländern	22
6	LITERATUR	23

Kurzfassung

Die Stickstoffproblematik zu lösen, ist ein ökologisches Schlüsselthema für Deutschland. Um hierfür den Stickstoffhaushalt sachgerecht analysieren und bewerten zu können, ist eine konsistente Methodik der Stickstoffbilanzierung notwendig, die insbesondere Agrargebiete umfassend einbezieht.

Während für ungedüngte Böden mit den „kritischen Eintragsraten“ (Critical Loads; CL) das wesentliche Bilanzierungselement international festgelegt ist und umweltrechtlich in Deutschland derzeit methodenkonform verankert wird, fehlt für die Bilanzierung von gedüngten Flächen eine harmonisierte Methodik für die „kritischen Überschüsse“ (Critical Surplus; CS).

Der vorliegende Bericht beschreibt die Anforderungen an und die Grundlagen für die Erarbeitung der methodisch harmonisierten Bewertungsmaßstäbe CL und CS. Wichtigstes Unterscheidungsmerkmal: CL sind Depositionshöchstmengen zum Schutz der Umwelt und CS sind (speziell für den Sektor Landwirtschaft) Emissionshöchstmengen zum Schutz der Umwelt.

Die CS sind für landwirtschaftliche Betriebe einschl. der landwirtschaftlich genutzten, gedüngten Böden für die Betriebsebene und/oder die Schlagebene einzuführen, da durch die Düngung – auch nach Stand der Technik – unvermeidbare Emissionen in die Atmosphäre und die Hydrosphäre entstehen. Über eine (normative) Festlegung werden aus den unvermeidbaren Emissionen (begrifflich) die „zulässigen“ Emissionen. Folgende Typen sind zu unterscheiden:

- CS-A schutzguttypisch, landwirtschaftlich genutzte Fläche ist selbst Schutzgut (z.B. für FFH-Wiesen; Wasserschutzgebiete), Daten- und Bemessungsgrundlagen sind für gedüngte Flächen weiterentwickelte Critical Loads,
- CS-B gebietstypisch, im Einwirkungsbereich der landwirtschaftlich genutzten Fläche(n) liegt ein Schutzgut/liegen mehrere Schutzgüter (z.B. Mooregebiete; Einzugsgebiet eines Flechten-Kiefernwaldes), Daten- und Bemessungsgrundlagen sind Critical Levels (CL_e; maximal zulässige Konzentrationen)/Critical Loads und beispielhafte Ausbreitungsberechnungen unter Berücksichtigung diffuser Emissionen aus gedüngten Böden (Luft- und Wasserpfad),
- CS-C betriebstypisch, kein Schutzgut im Einwirkungsbereich, Daten- und Bemessungsgrundlagen sind beispielhafte Hoftorbilanzen für den Stand der Technik bei bestimmten Betriebstypen (z.B. Veredelungs-/Tierhaltungsbetriebe, Marktfrucht-/Ackerbau, Futterbau/Grünland, Garten-/Gemüsebau) in Verbindung mit den EU-weiten Anforderungen zum Schutz des Klimas, der Ozonschicht und der Meere sowie Umwelt (Eutrophierung der Böden und der Ökosysteme) und Gesundheit nach der NEC-RL (Einhaltung der Emissionshöchstmengen sowie der CL_e und der CL),
- CS-D produkttypisch (z.B. für Milch und Gemüse), kein Schutzgut im Einwirkungsbereich. Datengrundlagen entsprechen denen der CS-C nach Umrechnung. Abgleich mit geplantem Indikator Nitrogen use efficiency NUE und Forschung zu N-Effizienz. Bemessungsgrundlage ist der Stand der Technik.

Im Rahmen einer Expertenbefragung und unter Berücksichtigung von Messdaten und Modellen soll die Aufteilung der betriebstypenspezifischen Emissionen an reaktivem Stickstoff in die Atmosphäre (NH_3 , N_2O , NO_x), die Hydrosphäre (NO_3) und als unschädliches, elementares N_2 zunächst als vorläufige Fachkonvention festgelegt werden.

Die CL und CS sind mit konsistenten methodischen Ansätzen (Formeln und Annahmen) unter Einhaltung der Anforderungen des Umwelt- und Naturschutzes (CS-A bis CS-D) sowie der Agrarwirtschaft und Verbraucherberatung (CS-C und CS-D) zu entwickeln.

Die CS müssen soweit notwendig und hinreichend differenziert sein (es gibt keine Alternativen und das Problem lässt sich damit lösen). Die CS müssen zudem angemessen sein (sie sind das mildeste Mittel). Die Entwicklung muss zunächst grob auf Ebene der Länder/des Bundes beginnen. Zwischen kurzfristigen und langfristigen Umweltzielen muss unterschieden werden. Die Entwicklung der Werte muss ebenso transparent sein wie die Ermittlung der Bilanzen. Die Annahmen müssen nach spätestens 5 Jahren überprüft werden (z.B. die Denitrifikation).

Begriffe und Abkürzungen

Bilanzierungstypen	Typisierung von Bilanzen für Fragen des Umwelt- und Naturschutzes (Kapitel 2.2.2)
Critical Level	Kritische Konzentration in der Luft (gemäß UNECE) oder im Wasser
Critical Limit	Vegetations-, boden- oder standortspezifischer Inputparameter für die Ermittlung von Critical Loads (insbesondere N_{crit} ; siehe unten); Parameter oder Wertespanne für Standortfaktoren für einen günstigen Erhaltungszustand eines Lebensraumes (gemäß UNECE)
Critical Load	Depositionshöchstmenge; Maß für die Exposition (Deposition) gegenüber einem oder mehreren Luftschadstoffen, bei deren Unterschreitung nach dem gegenwärtigen Stand des Wissens keine signifikanten negativen Effekte auf spezifische empfindliche Bestandteile der Umwelt auftreten (gemäß UNECE)
Critical Surplus	Kritischer Überschuss, Emissionshöchstmenge; Critical Surplus geben an, welche Höchstmenge reaktiver Stickstoff in kg pro Jahr aus Anlagen/Flächen im Einklang mit öffentlich-rechtlichen Vorschriften emittiert werden darf.
Standortspezifischer CL	Critical Load, der mit Standortdaten und/oder großmaßstäblich abgeleiteten Annahmen berechnet wird.
Standorttypischer CL	Critical Load, der mit kleinmaßstäblich generalisierten Annahmen ermittelt wird.
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
CL	Critical Load, hier für eutrophierenden Stickstoff (auch $CL_{nut}(N)$), Formelergebnis, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
CL_{SMB}	Critical Load - Summanden nach der SMB-Methodik: N_i , N_{ue} , N_{de} oder N_{ie} , Formelergebnis, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
CL_{emp}	Empirische Critical Loads, Literaturwert, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
CL_e	Critical Level
CL_i	Critical Limit
CS	kritische Überschüsse
CS-A	Schutzguttypische, kritische Überschüsse
CS-B	Gebietstypische, kritische Überschüsse
CS-C	Betriebstypische, kritische Überschüsse
CS-D	Produkttypische, kritische Überschüsse
DüngeG	Düngegesetz
DüV	Düngeverordnung
FGN	Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffdeposition des LAI, 1. Sitzung Juni 2014 in Wiesbaden
FGCL	Bund-Länder-Fachgespräch Critical Loads, 1. Sitzung Mai 2014 in Karlsruhe
FGNB	Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffbilanz, 1. Sitzung Mai 2015 in Stuttgart
LRT	Lebensraumtyp
N	(reaktiver) Stickstoff
N_2	unschädlicher, elementarer Stickstoff
N_{crit}	Kritische N-Konzentration für das empfindlichste Schutzgut: Pflanze, Nährstoffgleichgewicht oder Wasser [Minimum], Formelergebnis, [$mg\ l^{-1}$]
N_{de}	N-Denitrifikationsrate, Annahme, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
N_{vol}	volatilization; gesellschaftlich noch tolerierte, zulässige Emission in die Atmosphäre, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
N_{exp}	Entzug / Abfuhr durch die (landwirtschaftliche) Nutzung, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
N_i	N-Immobilisierungsrate, Formelergebnis, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]
N_{imp}	Umweltverträgliche Düngung / Zufuhr und biologische N-Fixierung, [$kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$]

N_{le}	N-Austragsrate mit dem Sickerwasser, Formelergebnis, $[kg\ ha^{-1}\ a^{-1}]$, in älteren Versionen auch $N_{le(acc)}$; acc wird hier nicht verwendet, denn der Zusatz müsste bei allen CL-Parametern hinzugefügt werden, die sich auf einen akzeptablen Zustand bzw. eine akzeptable Nutzung beziehen
N_{min}	Menge an mineralischem (pflanzenverfügbarem) N $[kg\ ha^{-1}]$, der zum Ermitteln des N-Düngebedarfs mittels chemischer Extraktionsverfahren bestimmt wird (Indikator für die Sicherung der Wasserqualität)
N_{ue}	N-Export aus der Fläche über Pflegemaßnahmen oder Ernte (uptake - export), Formelergebnis, $[kg\ ha^{-1}\ a^{-1}]$, in alten Versionen auch N_u
NUE	Nitrogen use efficiency
NEC	National Emission Ceilings Directive
SMB	“Simple Mass Balance”; Massenbilanz-Rechenmodell nach ICP (2010)
Stofffluss ID	Identifikator für Stoffflüsse/Stoffströme (Kapitel 2.2.2); ID 100 bis ID 633
UMK	Umweltministerkonferenz

1 Einleitung

1.1 Die Lösung der Stickstoffproblematik ist ein ökologisches Schlüsselthema

Die Bundesländer haben auf der 85. Umweltministerkonferenz im November 2015 festgestellt, dass die Lösung der Stickstoffproblematik ein ökologisches Schlüsselthema für Deutschland ist. Die Umweltministerkonferenz ist zudem der Auffassung, dass die Minderung der anthropogenen Einträge von Stickstoffverbindungen in die Umwelt eine Herausforderung für alle politischen Handlungsebenen und Politikbereiche, für die Landwirtschaft, den Verkehrs- und Energiesektor, aber auch für das Verbraucherverhalten darstellt. Die Umweltministerinnen, -minister und -senatoren der Länder unterstützen dabei den Bund darin, die bisher auf Einzelaspekte ausgerichteten Stickstoffminderungsansätze ganzheitlich und ambitioniert zu bündeln und haben eine enge Zusammenarbeit zwischen Bund und Ländern zugesagt. Eine zwischen Bund und Ländern abgestimmte Stickstoffstrategie wird derzeit beraten (BMUB 2016a).

Die Arbeiten des Bund-Länder-Fachgesprächs Stickstoffbilanz sollen dazu einen Beitrag liefern. Ein Arbeitsauftrag des ersten Bund-Länder-Fachgesprächs Stickstoffbilanz (FGNB) sieht die Klärung der Anforderungen des Umweltschutzes an die Stickstoffbilanzierung vor.

1.2 Einführung der Critical Loads und Hoftorbilanzen

Die umweltrechtliche Einführung der Critical Loads¹ (= kritische Eintragsraten/Depositionen) und die zeitgleiche düngerechtliche Einführung einer Stoffstrombilanz (Hoftorbilanz) über eine Änderung des Düngegesetzes (DüngeG), die alle entstehenden Verluste in die Umwelt beschreibt, könnte eine Zusammenführung beider Ansätze zu einer methodisch und fachlich konsistenten Bewertung von maximal tolerierbaren Bilanzüberschüssen für Stickstoff ermöglichen.

Umwelt- und düngerechtlich gemeinsames Ziel ist die Minderung der Einträge an reaktivem Stickstoff in die Umwelt und die Natur (vgl. BMUB 2016b).

¹ Im Rahmen der Novelle der TA Luft wird – im Interesse einer Vollzugsvereinfachung für die Immissionsschutzbehörden – die Aufnahme der Prüfung atmosphärischer Stoffeinträge in Schutzgebiete von gemeinschaftlicher Bedeutung diskutiert. Diese Prüfung wäre dann gemäß BNatSchG durchzuführen. Sollte die Regelung nicht aufgenommen werden, ist die Prüfung weiterhin nach den Anforderungen aus der einschlägigen Rechtsprechung vorzunehmen (vgl. Begründung TA Luft, Stand 2016).

2 Grundlagen der Stickstoffbilanzierung

Die umwelt- und düngerechtlichen Bilanzierungen bedürfen der Harmonisierung, denn die Umsetzungspraxis braucht sachgerecht ermittelte kritische Überschüsse (Critical Surplus, CS), die mit den Critical Loads (CL) – soweit sinnvoll und möglich – in Einklang stehen. Während die Methodik der Ermittlung der Critical Loads international bereits festgelegt ist, fehlt für die Bewertung der Überschüsse auf Grundlage der Hoftorbilanz noch eine harmonisierte Methodik.

2.1 Stickstoffbilanzierung für geschützte Flächen (Critical Loads)

Critical Loads (CL) geben an, wieviel Eintrag an reaktivem Stickstoff verschiedene Schutzgüter in kg pro ha und Jahr schadlos vertragen können. CL werden ermittelt aus einer einfachen Massenbilanz (Simple-Mass-Balance – SMB) für Sollzustände einer ausschließlich über die Atmosphäre gedüngten Fläche. Der

(1) CL-Wert (Depositionshöchstmenge)

entspricht der Summe aus

(2) Entzug durch die (naturschutzverträgliche) Nutzung: N_{ue}

(3) (naturnahe) Auswaschung in Gewässer: N_{ie}

(4) (naturnahe) Emission in die Atmosphäre (Denitrifikation vgl. Kapitel 3.1): N_{de} und

(5) Festlegung/Freisetzung im Bodenhumus (Mobilisierung/Immobilisierung): N_i .

Formel 1

$$CL = N_{ue} + N_{ie} + N_{de} + N_i$$

Der CL ist abhängig vom Schutzziel. Der CL orientiert sich unter anderem am günstigen Erhaltungszustand der Vegetation (SOLL-Zustand) bzw. am Zustand der Vegetation gegen Ende der 1950er Jahre, also zu Beginn relevanter Einträge von reaktivem Stickstoff in die Ökosysteme. Die für bundesdeutsche FFH-Gebiete gültigen Annahmen und Detailformeln der Ermittlung standortspezifischer Critical Loads sind in Abstimmung mit dem Bund-Länder-Fachgespräch Critical Loads in StickstoffBW (2014) veröffentlicht (aktueller Stand siehe Kapitel 4).

2.2 Stickstoffbilanzierung für landwirtschaftlich genutzte Flächen

2.2.1 Ausgangslage Düngebedarfsermittlung und Düngeberatung

N-Düngungssteigerungsversuche gehören zum Stand der Technik der guten landwirtschaftlichen Praxis. Dabei werden Sollwerte des N-Bedarfs für eine Kultur oder ein Produktionsverfahren an mehreren Standorten ermittelt. Der Zielwert ist dabei das ökonomische Optimum (nicht der Maximalertrag). Der Düngebedarf wird dann aufgrund des N-Sollwertes, der gemessenen oder geschätzten Menge an mineralischem (pflanzenverfügbarem) Stickstoff (N_{min}) sowie Zu- und Ab-

schlagen ermittelt. Die Düngeberatung nutzt Nährstoffbilanzen auf Schlag- oder Betriebsebene zum nachträglichen Abgleich, ob das Niveau der Düngung im mehrjährigen Mittel stimmt. Der Erhalt eines standortgerechten Gehaltes an organischer Bodensubstanz (Bodendüngung zur Bodenfruchtbarkeits- und Strukturverbesserung) kann in der Düngungs- und Anbauplanung ebenfalls berücksichtigt werden und zu Bilanzüberschüssen führen.

Aufgrund der Vorgehensweise zur Ermittlung der Sollwerte sind bei diesen eine durchschnittliche N-Deposition sowie die durchschnittliche N-Nachlieferung in der Vegetationszeit (Gewinne) ebenso implizit berücksichtigt wie die Denitrifikation, N-Ausgasung und N-Auswaschung (Verluste). N-Frachten, die netto in die Umwelt verloren gehen, werden i.d.R. durch Düngung ersetzt. Bestimmt werden die umweltrelevanten Frachten i.d.R. nicht (z.B. Ausgasung im Sommer und Auswaschung im Winter).

Bei den in der landwirtschaftlichen Praxis vorgeschriebenen Bilanzierungen werden N-Emissionen in die Atmosphäre bislang als „Verluste“ im Stall, der Lagerung oder bei der Ausbringung subtrahiert². Kontrollwerte sind demnach einhaltbar, wenn die Emissionen in die Atmosphäre hoch genug angesetzt werden können und zwar unabhängig von den standörtlichen NH₃-Konzentrationen und N-Depositionen (vgl. Kapitel 2.3).

2.2.2 Typisierung der Stoffflüsse

Um mit den Bilanzierungen der Düngeberatung künftig auch Fragen des Umweltschutzes beantworten zu können, muss die Methodik ergänzt und verfeinert werden. Dazu wurde auf dem ersten Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffbilanz eine Gliederung der Stoffflüsse erarbeitet (Tabelle 2-1). Die grundlegende Systematik der Stoffflüsse basiert auf einer Analyse von rund 30 verschiedenen Hof-, Flächen-, Feld-Stall-, Stall-, Biogasanlagen- und Schlagbilanzen in den Ländern, dem Bund und der EU (FGNB 2015).

Der Überschuss ergibt sich aus dem Saldo von – je nach Fragestellung – ausgewählten landwirtschaftlichen Zufuhren und Abfuhren sowie Umwelteinträgen und -austrägen (Vorratsänderungen siehe Kapitel 2.2.4).

² Ebenfalls wird bislang die N-Konzentration in der Luft und die N-Deposition bei den landwirtschaftlichen Bilanzierungen nicht thematisiert, da

- (1) die N-Konzentration/N-Deposition durch den Landwirt nicht / kaum beeinflussbar und
- (2) die Höhe der N-Konzentration/N-Deposition aus Sicht der Düngung nicht bedeutsam ist und
- (3) die regionale Auflösung der N-Konzentration/N-Deposition noch in Arbeit ist (vgl. StickstoffBW 2016).

Tabelle 2-1: Gliederung der Betriebsflüsse und Umweltflüsse für Stickstoff (Stofffluss ID)

ID	Betriebsflüsse
100	Betriebsdaten Zufuhr
110	Pflanzenproduktion (aus Importen/von Dritten)
111	Mineraldünger
112	Organische Dünger
112-1	Wirtschaftsdünger
112-2	Gärreste
112-3	Bioabfälle einschl. Kompost
112-4	Klärschlamm
112-5	sonstige Abfälle zur Verw. § 3 Abs.23 KrWG
113	sonstige, ausgebrachte Materialien
113-1	Tiermehl, Knochenmehle
113-2	Organische Handelsdünger
113-3	Bodenhilfsstoffe (u.a. Gesteinsmehle)
113-4	Pflanzenhilfsmittel (u.a. Algenextrakte)
113-5	Kultursubstrate
113-6	Abfälle zur Beseitigung (§28 KRWG)
113-7	Rückstand aus der Abluftreinigung
114	Legume Stickstoff-Bindung (N-Fixierung)
114-1	Legume N-Bindung
114-2	Asymbiotische N-Bindung
115	Saat- und Pflanzgut
120	Tierproduktion (aus Importen/von Dritten)
121	Futtermittel
121-1	Futtermittel aus internationalen Importen
121-2	Futtermittel aus inländischer Verarbeitung
121-3	Tierische Futtermittel
121-4	Marktgängige Primärfutter
122	Zukauf Vieh
123	Zukauf Stroh
130	Biogasproduktion (aus Importen/von Dritten)
131	Pflanzliche Biomasse aus der Landwirtschaft
132	Wirtschaftsdünger als Substrat
133	Co-Substrate außerlandw. Herkunft
200	Betriebsinterne Stoffflüsse
210	Pflanzenproduktion (zu ...)
211	Pflanzen- zu Tierproduktion (für Futter/Einstreu)
211-1	Futterfrüchte und Nebenerzeugnisse
211-2	Erntereste
212	Pflanzen- zu Biogasproduktion (als Substrat)
220	Tierproduktion (zu ...)
221	Tier- zu Pflanzenproduktion (als Dünger)
221-1	Rückstand aus der Abluftreinigung
222	Tier- zu Biogasproduktion (als Substrat)
230	Biogasproduktion (zu ...)
231	Biogas- zu Pflanzenproduktion (als Dünger)
300	Betriebsdaten Abfuhr
310	Pflanzenproduktion (an Dritte / Exporte)
311	Pflanzlicher Hauptprodukte (Ernteabfuhr)
312	Pflanzlicher Nebenprodukte (Stroh, Blatt)
313	Mineralische Düngemittel
320	Tierproduktion (an Dritte / Exporte)
321	Tierische Marktprodukte
322	Tierische Produkte an Verwerter (verendete Tiere)
323	Wirtschaftsdünger
324	Rückstand aus der Abluftreinigung
330	Biogasproduktion (an Dritte / Exporte)
331	Gärreste

ID	Umweltflüsse
400	Umwelteinträge (umweltrelevante Einträge)
410	Eintrag aus der Atmosphäre (Deposition)
411	NH _x -Deposition auf LF
412	NO _y -Deposition auf LF
412-1	aus landwirtschaftlichen Quellen
412-2	aus sonstigen Quellen
420	Eintrag über die Hydrosphäre
420-1	Eintrag über Oberflächenzufluss
420-2	Eintrag über Dränagen
500	Umweltinterne Stoffflüsse (Vorratsänderungen Boden)
510	Mineralisierung / Mobilisierung aus org. Substanz
520	Immobilisierung in Form organischer Substanz
521	dauerhafte Festlegung im Humus
522	zeitweise Festlegung in Ernteresten
530	Vorratsänderungen aus Humusbilanzierung
531	dauerhafte Vorratsänderung im Humus
532	zeitweise Vorratsänderung in Ernteresten
540	Bodenumlagerungen
600	Umweltausträge (umweltentlastend/-belastend)
610	Denitrifikation zu N ₂ (umweltentlastend)
620	Austräge in die Atmosphäre (reaktiver Stickstoff)
621	Ausgasung als NH ₃ (Ammoniak)
621-1	bei der Pflanzenproduktion
621-11	bei der Mineraldüngeranwendung
621-12	aus dem Boden (Hintergrund)
621-2	bei der Tierproduktion
621-21	im Stall
621-22	während Weidehaltung
621-23	im Lager
621-24	bei der Ausbringung
621-3	bei der Biogasproduktion
621-31	aus der Anlage
621-32	bei Lagerung von Gärresten
621-33	bei Ausbringung von Gärresten
622	Ausgasung als N ₂ O (Distickstoffmonoxid; Lachgas)
623	Ausgasung als sonstige Stickoxide (NO _x)
630	Austräge in die Hydrosphäre (Auswaschung)
631	Austräge über Oberflächenabfluss (Run-off)
632	Austräge über Dränage
633	Austräge in das Grundwasser

2.2.3 Typisierung der Stoffflussbilanzen

Bilanzen für die Düngeberatung unterscheiden sich erheblich von Bilanzen für Fragen des Umweltschutzes. Klärend muss künftig daher immer die Vollständigkeit der Stoffflüsse dokumentiert und bewertet (Tabelle 2-1) und der verwendete Bilanzierungstyp benannt werden (Tabelle 2-2)³. Für eine betriebsbezogene Bewertung ist der Typ 1 zu verwenden (einschließlich Deposition). Der Typ 0 wird für die Begründung der CS benötigt (vollständige/geschlossene Bilanz).

Tabelle 2-2: Definition von Stoffflussbilanzierungstypen

Stofffluss ID	Stoffflussname	Stoffflussbilanzierungstyp					
		Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5	Typ 0
400	Umwelteinträge (umweltrelevante Einträge)	x	(x)	-	x	-	x
411	NO _x -Deposition auf LF	x	x	-	x	-	x
412	NH _y -Deposition auf LF	x	-	-	x	-	x
600	Umweltausträge (umweltentlastend/-belastend)	-	-	-	(x)	(x)	x
610	Denitrifikation zu N ₂ (umweltentlastend)	-	-	-	-	-	x
620	Austräge in die Atmosphäre (reaktiver Stickstoff)	-	-	-	x	x	x
630	Austräge in die Hydrosphäre (Auswaschung)	-	-	-	-	-	x

x Einträge sind addiert/Austräge sind subtrahiert, (x) Stofffluss ist teilweise erfasst; - Stofffluss ist nicht erfasst

2.2.4 Vorratsänderungen und Mehrjahresmittel

Im Einzeljahr können N-Vorratsänderungen (im Boden in Form von organischer Bodensubstanz/ Humusvorrat oder im Betrieb in Form von Dünger-/Futtermittelvorrat) beim Abgleich von Hoftorbilanzdaten mit den CS maßgebliche Größen annehmen.

Bei gleichbleibender Nutzungsart sind jedoch Änderungen im Humusvorrat in den meisten Fällen im langjährigen Durchschnitt (hier analog der CL bezogen auf 100 Jahre) vernachlässigbar. Bei gleichbleibender Nutzung und Bewirtschaftung verändert sich das langjährige Niveau des Humusvorrats im Boden nur langsam, so dass die jährliche Nettoänderung vernachlässigbar klein ist im Vergleich zu den übrigen N-Bilanzgrößen. Auch Vorratsänderungen im Betrieb gleichen sich üblicherweise innerhalb weniger Jahre aus.

³ Beispielsweise ist der Überschuss nach Typ 1 bei Tierhaltungsbetrieben mehr als doppelt so hoch wie nach Typ 5, da im Typ 1 die Umweltausträge (einschl. „Verluste“) nicht pauschal abgezogen sind und die Hintergrunddeposition (so genau wie derzeit möglich) vollständig berücksichtigt ist.

Um Effekte durch Vorratsänderung im Boden und im Betrieb zu minimieren, sollten immer gleitende Mehrjahresmittel (mindestens drei Jahre) als Bewertungsgrundlage herangezogen werden (ggf. sind hier Ausnahmen erforderlich).

2.3 Sonstige Grundlagen der Bilanzierung

2.3.1 Critical Levels und Critical Loads

Neben den international eingeführten kritischen Eintragsfrachten (Critical Loads; Kapitel 2.1) müssen bei der Bemessung von kritischen Überschüssen auch die international eingeführten kritischen Konzentrationen (Critical Levels CLe) beachtet werden (vgl. Kapitel 3.3.2). Der CLe für Ammoniak für niedere Pflanzen ($1 \mu\text{g NH}_3 \text{ m}^{-3}$) wird in großen Teilen Deutschlands überschritten.

2.3.2 Sättigung der Vegetation (Kompensationspunkt)

Neuere Atmosphären-Chemietransportmodelle berücksichtigen die N-Sättigung der Vegetation (Kompensationspunkt). Der Kompensationspunkt gibt an, ab wann die Vegetation kein N mehr aufnimmt oder (netto) vermehrt N emittiert. Der Kompensationspunkt für Ammoniak ist in großen Teilen Nordwest- und Süddeutschlands deutlich überschritten. Diese Gebiete mit hohen N-Konzentrationen in der Luft weisen bei Chemietransportmodellen einschl. Kompensationspunkt deshalb vergleichsweise geringe N-Depositionen auf.

Empfindliche Vegetation kann geschädigt werden durch hohe Konzentrationen in der Luft oder hohe Eintragsfrachten. Bei der Nutzung von neueren Atmosphären-Chemietransportmodellen einschl. Kompensationspunkt ist es daher künftig besonders wichtig, Konzentrationen und Frachten – Critical Level und Critical Loads – parallel zu bewerten (Sättigung der Böden vgl. Kapitel 4.2).

2.3.3 Flächendaten für Konzentrationen und Eintragsfrachten

Luftmessdaten der Länder (Konzentrationsmessungen und Messungen der nassen Deposition) sind die entscheidenden Größen zur Kalibrierung von Konzentrations- und Depositionsflächendaten. Als Kalibrierhilfe für die Hintergrund-Gesamtdosition werden auch Kronenraumbilanzen für Waldflächen genutzt. Damit die Verteilung in der Fläche besser abgesichert werden kann, werden für die modellierten Flächendaten zusätzlich Emissionskatasterdaten von Punkt-, Linien- und Flächenquellen eingesetzt.

Die Hintergrunddeposition ist differenziert nach Nutzungstyp, Relief und Lage. Die Auflösung der Daten vom internationalen bis zum regionalen Maßstab hat einen Einfluss auf die Höhe der Hintergrunddeposition (StickstoffBW 2016).

Eine räumliche Korrektur der Konzentrations- und Depositionsflächendaten ist insbesondere relevant, wenn sich stickstoffempfindliche Lebensräume im Umfeld von Tierhaltungsanlagen mit Intensiv-Grünland⁴ oder Aufbringungsflächen von Gärresten befinden.

⁴ Bei Weidehaltung wird nach dem Entwurf zur Novellierung der Düngeverordnung (DüV) noch mit 60% Verlust (aktuell 75%) gerechnet (= Emission in die Atmosphäre; vgl. auch Emissionsinventare). Bei bis zu 2,4 GVE/ha (auf Basis 170 kg Grenze für 700 kg Lebendmas-

2.3.4 Konzentrationen und Deposition in der Agrarberatung

Für eine sachgerechte Bewertung der Umweltauswirkung der Düngung (vgl. Kapitel 2.2.1) muss sowohl die N-Konzentration in der Luft als auch die Deposition in der Agrarberatung künftig berücksichtigt werden, weil

- die Konzentrationen und die Deposition mit Blick auf die Einhaltung der CLe und CL in benachbarten Gebieten und mögliche Austräge in die Gewässer⁵ erheblich variieren kann,
- die gebietsbezogenen Konzentrationen und die gebietsbezogenen Depositionen laufend erhoben, verbessert und veröffentlicht werden und
- dies methodisch zum Schließen der Bilanz im Sinne einer vollständigen und sachgerechten Betrachtung zwingend erforderlich ist (Bilanz Typ 0).

se und 230 kg Absetzgewicht) werden somit $243 \text{ kg} \times 0,6 = 146 \text{ kg N-Emission ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zulässig. Die räumliche Korrektur ist insbesondere wichtig, wenn auf der benachbarten geschützten Fläche zusätzlich nur $0,3 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erlaubt werden. Ammoniakmessungen deuten an, dass bei Intensiv-Grünlandnutzung die Deposition rund 2-fach höher ist als in Ackerbaugebieten (z.B. Bayern; FGN-Sitzung vom 11.11.2015)

⁵ So wurde im Rahmen der Status-quo-Analysen für die Räume Weser und Niedersachsen (AGRUM-Projekte) berechnet, dass die N-Einträge in das Grundwasser rund 1/3 durch die atmosphärische Depositionen verursacht werden (hier Deposition nach MAPESI), da neben den landwirtschaftlichen Bilanzüberschüssen (hier Typ 5) und der atmosphärischen Deposition die sonstigen Quellen nur noch eine untergeordnete Bedeutung haben (Kreins P., pers. Mitteilung Juli 2016, vgl. auch Kreins et al. (2010)).

3 Methodik der kritischen Überschüsse (Critical Surplus)

Analog zu den Critical Loads werden auch für die Hoftorbilanz umweltfachlich begründete Bewertungsmaßstäbe für den „Soll-Überschuss“ (kritischer Überschuss – Critical Surplus – CS) notwendig. CS sind ohne Alternative. Die Bilanzmethode – wie sie für die Critical Loads verwendet wird –, muss dazu erweitert werden.

3.1 Bilanzglieder der Critical Surplus (CS_{SMB})

Critical Surplus (CS) geben an, welche Höchstmenge an reaktivem Stickstoff in kg pro Jahr aus Anlagen/Flächen emittiert werden darf, ohne die Schutzziele zu gefährden. CS werden begründet mit einer einfachen Massenbilanz (Simple-Mass-Balance – SMB).

Zur methodischen Weiterentwicklung aus den CL_{SMB} Summanden ist es zweckmäßig, die Abkürzungen der CL_{SMB}-Summanden umzustellen und zu ergänzen (Tabelle 3-1). Methodisch wichtige Unterschiede:

- N_{vol} ist in naturnahen Ökosystemen zu vernachlässigen und Bestandteil von N_{de}.
- N_{de} bezieht sich auf den Ober/Unterboden, während N₂ auch den Untergrund einschließt.

Tabelle 3-1: Liste der CS_{SMB}-Summanden

	CS _{SMB} -Summandenbezeichnung	CL _{SMB}	CS _{SMB}
(1)	Deposition in den Bilanzraum	CL	N _{dep}
(2)	Entzug/Abfuhr durch die (landwirtschaftliche) Nutzung	N _{ue}	N _{exp}
(3)	Zulässige Auswaschung in Gewässer	N _{le}	N _{le}
(4)	Emission in die Atmosphäre als N ₂ (Teil der Denitrifikation) ⁶	N _{de}	N ₂
(5)	Immobilisierung/ Mobilisierung durch Bodenhumus-Zuwachs/-Abbau (hier über einen Zeitraum von 100 Jahren)	N _i	N _i
(6)	Umweltverträgliche Düngung/Zufuhr und biologische N-Fixierung	-	N _{imp}
(7)	Gesellschaftlich noch tolerierte, zulässige Emission in die Atmosphäre	-	N _{vol}

Durch Einsetzen der CS_{SMB}-Summanden in die Formel 1 ergibt sich für nicht gedüngte Systeme

Formel 2
$$N_{dep} = N_{exp} + N_{le} + N_2 + N_i$$

⁶ Bilanzüberschüsse enthalten i.d.R. potenzielle N₂-Emissionen (Denitrifikation), da N₂-Verluste ökonomisch kritisch sind. Der CS umfasst ebenfalls N₂-Emissionen (Denitrifikation), 1. um keinen Methodenwechsel zwischen Bilanzüberschüssen vs. CS/CL herbeizuführen und 2. da die Auftrennung zwischen N_{le} und N₂ derzeit noch schwierig ist und 3. aus Umweltsicht die Energieeffizienz von Haber-Bosch-N im Kontext der Denitrifikation kritisch ist.

Durch die Erweiterung von CL nach CS ergibt sich für gedüngte Systeme⁷

Formel 3
$$N_{\text{imp}} + N_{\text{dep}} = N_{\text{exp}} + N_{\text{le}} + N_2 + N_i + N_{\text{vol}}$$

Durch die Umformung ergibt sich für CS:

Formel 4
$$N_{\text{imp}} + N_{\text{dep}} - N_{\text{exp}} = N_{\text{le}} + N_2 + N_i + N_{\text{vol}} = \text{CS}$$

Der CS entspricht der Summe aus zulässigen Emissionen an reaktivem Stickstoff in die Atmosphäre und zulässigen Emissionen an reaktivem Stickstoff in die Hydrosphäre und als unschädliches N_2 , sowie der langjährigen Netto-N-Immobilisierung (Formel 4).

Die Unterschiede zwischen regionalen (z.B. Bundesland, Kreis, Gemeinde), betrieblichen und standortspezifischen Bilanzen können hier zunächst vernachlässigt werden (z.B. unterschiedliche Datenqualität).

Vorratsänderungen im Betrieb sind bei mehrjährigen Betrachtungen vernachlässigbar. Änderungen im organisch gebundenen Stickstoff-Bodenvorrat sind bei gleichbleibender Nutzungsart aufgrund der langjährigen Betrachtung i.d.R. gering, aber für eine jährliche Berichterstattung relevant (vgl. Kapitel 2.2.3).

3.2 Gliederung des Critical Surplus ($N_{\text{vol}} : N_{\text{le}} : N_2$)

Die CS teilen sich dem Grunde nach auf in die Emissionen

- an reaktivem Stickstoff in die Atmosphäre N_{vol} (Summe aus NH_3 , N_2O , NO_x , etc.),
- an reaktivem Stickstoff in die Hydrosphäre N_{le} und
- als unschädliches elementares N_2 (Hauptanteil der Denitrifikation)

D.h. in ein Verhältnis

$$N_{\text{vol}} : N_{\text{le}} : N_2$$

Dieses Verhältnis sachgerecht zu quantifizieren, ist eine zentrale Herausforderung für die Einführung der Hoftorbilanz. Während die NH_3 - und N_2O -Emissionen inzwischen recht gut quantifiziert werden können, ist die Ermittlung der Denitrifikation zu N_2 mit deutlich größeren Unsicherheiten verbunden. Ob als Näherung die Aufteilung 1:1:1 nach UBA (2014)⁸ als Fachkonvention übernommen werden kann, ist zu prüfen. Bis zum Vorliegen gesicherter Erkenntnisse sollte die Auftei-

⁷ Im Bedarfsfall Ergänzung um N_{fix} (N-Zufuhr durch biologische N-Fixierung)

⁸ "Der Überschuss ist eine Bilanzgröße, die sich nicht direkt messen lässt, denn er entweicht überwiegend in die Umwelt. Wichtigster Austragspfad ist die Denitrifikation (also die Umwandlung reaktiven Stickstoffs in Luftstickstoff, ...), danach folgen etwa gleichbedeutend die Emission reaktiven Stickstoffs in die Atmosphäre und der Eintrag reaktiven Stickstoffs als Nitrat in Grund- sowie Oberflächengewässer."

lung der CS im Rahmen einer Expertenbefragung abgeschätzt werden (als vorläufige betriebstypenspezifische Fachkonvention).

3.3 Typisierung der Critical Surplus

In der Praxis werden harmonisierte CL und CS für verschiedene Situationen bezüglich der Lage der zu bewertenden landwirtschaftlich genutzten Fläche/des Betriebs benötigt (Tabelle 3-2). In der Anwendung werden auch Kombinationen oder weitere Differenzierungen wichtig werden (z.B. Intensiv-Grünland im Moorgebiet; Sonderkulturanbau in Wasserschutzgebieten; standortspezifische Differenzierungen in Trockengebieten).

Tabelle 3-2: Typen und Anwendungsbereiche der Critical Surplus

Abk.	Kurzbeschreibung	Begründung	Anwendungsbereiche
CS-A	schutzguttypisch – Fläche ist selbst Schutzgut (umwelt-/naturschutzrechtlich geschützt)	CL und CS beziehen sich im Fall A auf die gleiche Fläche und sind konsistent ermittelt. Angabe in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.	Umweltberatung für geschützte Wiesen & Weiden, Wasserschutzgebiete
CS-B	gebietstypisch – im Einwirkungsbereich liegt ein Schutzgut	Der CS ist gebietstypisch bzw. standort-, lage- und entfernungsabhängig. CL und CS im Gebiet sind über Ausbreitungsberechnungen (Atmosphäre und Hydrosphäre) konsistent ermittelt. Angabe in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.	Umweltberatung für geschützte Gebiete, z.B. mit Mooren, Flechten-Kiefernwäldern, dystrophen Gewässern; Luftreinhalte(wald)gebiete,
CS-C	betriebstypisch – kein Schutzgut im Einwirkungsbereich	Ferntransporte über die Atmosphäre <u>und</u> die Hydrosphäre begrenzen die CS-C (Schutz von Klima, Meere, Gewässer, Umwelt und Gesundheit). Der CS-C ist nicht lage- und entfernungsabhängig. Angabe in $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ oder je Produkteinheit bei flächenlosen Betrieben.	Umwelt- und Düngungsberatung, insbesondere bei Intensiv-Grünland, Tierproduktion, Sonderkulturen, Marktfruchtbau
CS-D	produkttypisch – kein Schutzgut im Einwirkungsbereich	Umrechnung über die Datengrundlagen, die für die CS-C-Festlegung genutzt wurden. Angabe in $\text{kg N je Produkteinheit}$.	Umwelt- und Verbraucherberatung; tierische vs. pflanzliche Lebensmittel, insbesondere Milch, Milchprodukte, Fleisch, Gemüse

3.3.1 Schutzguttypische, kritische Überschüsse (CS-A)

CL und CS beziehen sich im Fall A auf die gleiche Fläche und sind konsistent ermittelt (Kapitel 2.1 vs. Kapitel 3-2).

3.3.2 Gebietstypische, kritische Überschüsse (CS-B)

Der CS-B (geschützte Fläche im Einwirkungsbereich) ist standort-, lage- und entfernungsabhängig und muss über Ausbreitungsberechnungen (Atmosphäre und Hydrosphäre) in Abhängigkeit vom CL der geschützten Fläche ermittelt werden.

Durch generalisierte Annahmen lassen sich robuste Faustzahlen (Entfernungsklassen) ableiten und begründen. Von praktischer Bedeutung ist der CS-B für Gebiete mit Überschreitung der CLe, erhöhten Überschüssen und erhöhtem Anteil von geschützten Flächen.

Die sachgerechten Entfernungsklassen liegen im km-Maßstab. Erste Untersuchungen deuten an, dass die für Süddeutschland festzusetzenden sachgerechten Entfernungsklassen wegen geringeren Windstärken, stärkerem Relief und höheren Waldanteilen feiner abgestuft sein müssen als in Norddeutschland⁹.

3.3.3 Betriebstypische, kritische Überschüsse (CS-C)

Für die Tier- und Pflanzenproduktion und für bestimmte Intensivkulturen müssen derzeit verschiedene Emissionsmengen in die Atmosphäre und die Hydrosphäre als „unvermeidbar“ nach dem Stand der Technik angesetzt werden¹⁰. Die CS-C müssen betriebstypenspezifisch entwickelt werden, da z.B. Milchvieh- und Gemüsebaubetriebe technisch bedingt grundsätzlich sehr viel höhere Überschüsse erzeugen als (sonstige) Ackerbaubetriebe. Entsprechend erzeugen auch Tierhaltungsbetriebe mit Auslauf/Laufhof und Weidegang höhere Überschüsse als Tierhaltungsbetriebe mit geschlossenen Ställen und der Möglichkeit der Abluftreinigung.

Die Höhe der CS-C wird für Deutschland/ein Bundesland bestimmt durch

- den Schutz des Klimas und der Ozonschicht,
- den Schutz der Gewässer sowie
- den Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit nach NEC-RL¹¹.

3.3.4 Produkttypische, kritische Überschüsse (CS-D)

Mittelfristig sollten die Emissionen für die Optimierung der Maßnahmen zur Reduzierung des reaktiven Stickstoffs in der Umwelt auf Produkteinheiten umgelegt werden (z.B. Emission je kg Milch). Das setzt jedoch sehr genaue Vorgaben für einheitliche Methoden und Abgleich der Forschung zur N-Effizienz voraus (Beachtung der Effizienz bei Ökobetrieben/der Standorteigenschaften; ökonomische vs. naturale Effizienz). Entsprechende Kennzahlen sind für die nationale Stickstoffstrategie vorgesehen (sog. Nitrogen use efficiency NUE). Die CS-D sollten methodisch auf Basis der CS-C entwickelt werden.

3.4 Sonstige Anforderungen an die Critical Surplus – CS

Die CS müssen zwischen verschiedenen Fällen hinreichend differenzieren und zusammen mit den CLe und CL eine sachgerechte Prüfung geplanter Vorhaben auf ihre Verträglichkeit für relevante

⁹ Im gesamtschweizerischen Mittel tragen die Ammoniak Quellen bis 1 km (4 km), 25% (50%) zur Ammoniak-Konzentration an Ökosystemstandorten bei (EKL 2014). Nach Mohr et al. (2015) stammen 34% der Ammoniak-Deposition in einem belasteten norddeutschen Moorgebiet (4 bis 6 µg m⁻³) aus 500 km² (etwa bis in 11 km Entfernung); davon ca. 13% aus der Tierhaltung und ca. 21% aus der Düngung – d.H. aus der Düngung kommt rund 1,5 mal mehr NH_x-N als aus den Ställen.

¹⁰ Das Verfahren wird auch bei der Industrieüberwachung angewandt (analog der „Best Available Techniques Reference Documents“, die es bislang noch nicht für die Düngung gibt)

¹¹ Langfristiges Ziel der Richtlinie ist die Einhaltung der CLe und CL durch Festlegung von Emissionshöchstmengen.

Schutzgüter sicher ermöglichen. Die Entwicklung der CS-Werte muss ebenso transparent sein wie die Entwicklung der Bilanzen, damit sie rechtssicher sind.

CS müssen angemessen und damit das mildeste Mittel sein, um eine sachgerechte Prüfung sicher zu stellen.

Da die Menge der national zulässigen Emissionsmengen in die Luft gesetzlich geregelt, d.h. gedeckelt ist, muss die Entwicklung der CS zunächst grob auf Ebene des Bundes und der Länder beginnen. Zwischen kurzfristigen Zielen (Einhaltung der Emissionshöchstmengen) und langfristigen Umweltzielen (Einhaltung der CLe und CL) muss unterschieden werden.

Die Annahmen und Konventionen müssen nach spätestens fünf Jahren überprüft werden (Stand des Wissens), insbesondere da Bilanzglieder – wie die Denitrifikation – in der Regel nur indirekt als Restglied umfassender Modellierungen abschätzbar und nicht mit vertretbarem Aufwand messbar sind.

4 Stand der Critical Loads

4.1 Critical Loads werden bereits angewendet

Schon heute wird die CL-Methode genehmigungsrechtlich angewendet. Die Spanne der sogenannten empirischen CL (CLemp) bildet dabei den fachlichen Rahmen. Die SMB-Formeln werden für die kg-genaue Ermittlung der CL-Werte innerhalb der Spanne genutzt. Mit den SMB-Formeln können auch Einzelwerte oberhalb und unterhalb der CLemp-Wertespanne begründet werden.

4.2 Aktuelle und geplante Datengrundlagen für die Critical Load-Ermittlung

Für die Ermittlung von CL nach der SMB-Methode für bundesdeutsche FFH-Gebiete wurden im Jahr 2014 über das Bund-Länder-Fachgespräch Critical Loads (FGCL) insgesamt 19.804 Kennzahlen für 1.990 Standorttypen veröffentlicht (StickstoffBW 2014). Diese erste Expertenschätzung auf Basis eines mathematisch/heuristischen Ansatzes zur Umsetzung der SMB-Methode in Deutschland soll nun in einen vereinfachten, empirisch besser begründeten und nachvollziehbaren Algorithmus überführt werden. Beispielsweise wird jetzt – wie in der Schweiz – der pauschale Ansatz der zulässigen Auswaschung in Gewässer (N-Sättigung der Böden) als Eingangsgröße in die SMB-Formeln diskutiert. Die Ermittlung der Immobilisierung soll ebenfalls deutlich vereinfacht werden (z.B. durch wenige diesbezüglich ungleiche Fallgruppen für junge Böden und Moore). Forschungsbedarf besteht für die Neufassung der kritischen N-Konzentration in der Bodenlösung für die in Deutschland vorkommenden Vegetationseinheiten und Gewässer (N_{crit}). In der Praxis hat sich gezeigt, dass der Anwendungsbereich gängiger Formeln genau untersucht und festgelegt werden muss. Die Arbeiten sollen bis zum Jahr 2020 abgeschlossen sein (Stand 2014). Die Neufassung von N_{crit} verzögert sich derzeit, da ein entsprechender politischer Auftrag über die zuständigen Bund-Länder-Gremien noch nicht abschließend beraten wurde (StickstoffBW 2016).

Überprüft werden muss weiterhin die Anwendbarkeit der Critical Loads auf N-Depositionsmodelle, die den NH_3 -Kompensationspunkt berücksichtigen (N-Sättigung der Vegetation). Von praktischer Bedeutung ist dies in Gebieten mit Überschreitung der CLe.

4.3 Empirische Befunde müssen geklärt werden

Auch müssen noch eine Reihe von scheinbaren Widersprüchen zwischen (europaweit eingeführten) empirischen CL und Biodiversitätsbeobachtungen in wenig gedüngtem Offenland wissenschaftlich geklärt werden, denn die Bewirtschaftungsform ist für den Erhalt häufig bedeutender als die N-Deposition. Unter Umständen müssen bestimmte FFH-Wiesen und -Weiden sogar mit N-Mengen oberhalb der empirischen Critical Loads gedüngt werden. Besonderes Augenmerk gilt hier den besonders stickstoffempfindlichen Arten. Weiterhin müssen die generellen Bewertungsunterschiede bezüglich der Biodiversität und dem Schutz besonders stickstoffempfindlicher Lebensräume (mit ggf. geringer Biodiversität, aber besonders schutzwürdigen Arten) weiter geklärt werden.

5 Ausblick

Die Zusammenführung der Agrar- und Umweltbilanzen ist insbesondere vor dem Hintergrund der geplanten Einführung einer zulässigen Zusatzbelastung in Gebieten von gemeinschaftlicher Bedeutung in Höhe von deutlich weniger als einem $\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ erforderlich.

5.1 Critical Surplus-Detailformeln, -Annahmen und -Beispiele

Auf Basis der SMB-Glieder (1) bis (7) kann die Entwicklung einer Fachkonvention zur Ermittlung der CS an Beispielen angegangen werden. Überschneidende Annahmen der CS- und CL-Ermittlung sollten dabei abgeglichen und transparent kommuniziert werden (z.B. Denitrifikationsfaktoren oder N-Konzentrationen im Bodenwasser und N-Frachten für den Austrag in Gewässer). Für eine kurzfristige Lösung sollte der pauschale Ansatz der Auswaschung in Gewässer als Eingangsgröße in die SMB-Formeln erwogen werden. Weiterhin sind belastbare Ausbreitungsberechnungen (einschl. Emissionsfaktoren) für gedüngte Flächen (CS-B) und für das Ausbringen von Dünger erforderlich.

5.2 Kartierung von Critical Load- und Critical Surplus-Überschreitungen (Exceedance)

Für übergreifende Bewertungen und als Grundlage für zielführende Maßnahmen müssen die CS-Überschreitungen wie auch die CL-Überschreitungen mittelfristig in verschiedenen Maßstäben erhoben und in Karten dargestellt werden.

5.3 Stickstoffbilanzierung in Deutschland und den Bundesländern

Neben der Landwirtschaft sind auch Industrie und Verkehr wichtige Quellen für reaktiven Stickstoff in der Umwelt. Die „Zusammenführende Einbindung der landwirtschaftlichen N-Bilanzen in die sonstigen N-Flüsse von Industrie und Verkehr (übergreifende Bewertung im Kontext der Industrie- und Verkehrsemissionen)“ ist ein wichtiges Element des Anliegens der Umweltministerien, die bisher auf Einzelaspekte ausgerichteten Stickstoffminderungsansätze ganzheitlich zu bündeln (85. UMK). Diese Zusammenführung steht ebenfalls auf der Tagesordnung des Bund-Länder-Fachgesprächs Stickstoffbilanz und ist für die umweltschutzfachlich begründeten Maßnahmen zur Reduzierung der N-Frachten von großer Bedeutung.

Unabhängig von den hier dargestellten methodischen Fragen sollten im Rahmen der nationalen N-Strategie die umweltrechtlich zulässigen Zusatzbelastungen für geschützte stickstoffempfindliche Pflanzengesellschaften und die düngerechtlich zulässigen Überschüsse im Umfeld von/auf Flächen mit geschützten stickstoffempfindlichen Pflanzengesellschaften naturwissenschaftlich zusammengeführt (Depositionshöchstmenge vs. Emissionshöchstmenge) und transparent kommuniziert werden.

6 Literatur

- BMUB (2016a): Auf dem Weg zu einer nationalen Stickstoffstrategie (Stand: 19.09.2016), - <http://www.bmub.bund.de/themen/strategien-bilanzen-gesetze/nachhaltige-entwicklung/stickstoffstrategie/>.
- BMUB (2016b): Informationspapier: Regelungsüberlegungen zur Begrenzung und Verminderung der Umweltauswirkungen von Intensivtierhaltungsanlagen.- BMUB Pressedienst, 3. Seiten, Bonn.
- Bobbink R. & J.-P. Hettelingh [Hrsg.] (2011): Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships.- RIVM report 680359002, 246 Seiten, Bilthoven, Niederlande.
- EKL Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (2014): Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge.- 62 Seiten, Bern.
- FGNB Bund-Länder-Fachgespräch Stickstoffbilanz (2015): Abgleich der N-Bilanzen von Bund und Ländern (FGNB-Bilanzmatrix). Datenmappe. Stand Juni 2015, Internetausgabe September 2015.- <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/.../stickstoffbw/fachgespraeche>.
- Kreins P, Behrendt H, Gömann H, Heidecke C, Hirt U, Kunkel R, Seidel K, Tetzlaff B, Wendland F (2010) Analyse von Agrar- und Umweltmaßnahmen im Bereich des landwirtschaftlichen Gewässerschutzes vor dem Hintergrund der EG-Wasserrahmenrichtlinie in der Flussgebietseinheit Weser. Braunschweig: vTI, 342 p, Landbauforsch SH 336.
- ICP M&M International Cooperative Programme Modelling & Mapping [Hrsg.] (2010): Manual on methodologies and criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends. Printversion UBA-Texte 52/2004, updated version 2010.- http://www.icpmapping.org/Mapping_Manual.
- Mohr K., Suda J., Kros H., Brümmer C., Kutsch W. L., Hurkuck M., Woesner E. & W. Wesseling (2015): Atmosphärische Stickstoffeinträge in Hochmoore Nordwestdeutschlands und Möglichkeiten ihrer Reduzierung – eine Fallstudie aus einer landwirtschaftlich intensiv genutzten Region.- Thünen Report 23, 111 Seiten, Braunschweig.
- StickstoffBW (2014): Ermittlung standortspezifischer Critical Loads für Stickstoff - Dokumentation der Critical Limits und sonstiger Annahmen zur Berechnung der Critical Loads für bundesdeutsche FFH-Gebiete - Stand 2014.- Fachdokumentendienst Umweltbeobachtung, ID U26-S7-N12, 187 Seiten und Datenmappe, Karlsruhe.
- StickstoffBW (2016): Beurteilung der Stickstoffdeposition in Baden-Württemberg - Kurzmitteilung 1/2016 für eine zwischen Bund und Ländern abgestimmte Stickstoffstrategie.- Fachdokumentendienst Umweltbeobachtung, ID U10-S7-J16 - 8 Seiten, Karlsruhe.
- UBA (2014): Reaktiver Stickstoff in Deutschland.- 56. Seiten, Dessau.
- UNECE United Nations Economic Commission for Europe [Hrsg.] (2010): Empirical critical loads and dose-response relationships.- ECE/EB.AIR/WG.1/2010/14, 8 Seiten, <http://www.unece.org>, Genf.