

Übermässigkeit von Stickstoff- Einträgen und Ammoniak- Immissionen

Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Übermässigkeit von Stickstoff- Einträgen und Ammoniak- Immissionen

Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung

Impressum

Rechtliche Bedeutung

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert die bundesumweltrechtlichen Vorgaben (bzgl. unbestimmten Rechtsbegriffen und Umfang/Ausübung des Ermessens) und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind.

Herausgeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Autor

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität, BAFU

Begleitung BAFU

Abteilung Recht, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität

Zitierung

BAFU (Hrsg.) 2020: Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen. Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2003: 23 S.

Gestaltung

Cavelti AG, Marken. Digital und gedruckt, Gossau

Titelbild

Messeinrichtung zur Erfassung des atmosphärischen Stickstoff-Eintrags in ein Flachmoor.

© FUB Forschungsstelle für Umweltbeobachtung

PDF-Download

www.bafu.admin.ch/uv-2003-d

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

© BAFU 2020

Inhaltsverzeichnis

<u>Abstracts</u>	5
<u>Vorwort</u>	6
<u>Einleitung</u>	7
<u>1 Rechtsgrundlagen</u>	8
1.1 Vorsorgliche Emissionsbegrenzungen	8
1.2 Verschärfte Emissionsbegrenzungen	8
1.2.1 Übermässige Immissionen	8
1.2.2 Verschärfte Emissionsbegrenzungen bei einer einzelnen Anlage	9
1.2.3 Verschärfte Emissionsbegrenzungen bei mehreren Anlagen, Massnahmenpläne	9
<u>2 Drei Schritte zur Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoffeinträgen</u>	11
2.1 Empfindliche Ökosysteme und zugehörige Critical Loads	11
2.2 Ermittlung des Stickstoffeintrags	12
2.3 Bewertung der Übermässigkeit der Stickstoffeinträge	12
<u>3 Drei Schritte zur Beurteilung der Übermässigkeit von gasförmigen Ammoniak-Immissionen</u>	13
3.1 Empfindliche Ökosysteme und zugehörige Critical Levels	13
3.2 Ermittlung der Ammoniakkonzentration	13
3.3 Bewertung der Übermässigkeit der Ammoniak-Immissionen	13
<u>4 Vorgehen der kantonalen Vollzugsbehörde</u>	14
4.1 Beurteilung der Übermässigkeit	14
4.2 Vorsorgliche Massnahmen	14
4.3 Verschärfte Massnahmen	14
<u>Anhang 1</u>	17
<u>Anhang 2</u>	20
<u>Referenzen</u>	22

Abstracts

These implementation guidelines describe how to evaluate whether atmospheric nitrogen deposition and ambient concentrations of ammonia are excessive according to the provisions of the Ordinance on Air Pollution Control (OAPC) article 2 paragraph 5, and to decide if an action plan has to be developed. These recommendations are primarily addressed to cantonal implementing authorities.

Die vorliegende Vollzugshilfe zeigt auf, wie die Vorgaben in Artikel 2 Absatz 5 der Luftreinhalte-Verordnung LRV für Stickstoff-Einträge und Ammoniak-Immissionen konkretisiert werden können, um die Übermässigkeit zu beurteilen und zu entscheiden, ob ein kantonaler Massnahmenplan zu erstellen ist. Die vorliegende Vollzugshilfe richtet sich in erster Linie an die kantonalen Vollzugsbehörden.

Cette aide à l'exécution explicite comment les prescriptions de l'article 2 alinéa 5 de l'OPair s'appliquent aux dépôts azotés et aux immissions d'ammoniac lors de la détermination des dépassements et pour décider s'il y a lieu d'élaborer un plan cantonal de mesures. Cette aide à l'exécution s'adresse en premier lieu aux autorités cantonales en charge de la mise en œuvre.

Il presente aiuto all'esecuzione precisa come le direttive di cui all'articolo 2 capoverso 5 dell'ordinanza contro l'inquinamento atmosferico (OIA) possano essere applicate alle immissioni di azoto e di ammoniaca al fine di determinare le immissioni eccessive e decidere sulla necessità di elaborare un piano cantonale dei provvedimenti. Il presente aiuto all'esecuzione è destinato in primo luogo alle autorità esecutive cantonali.

Keywords:

air pollution control, Ordinance on Air Pollution Control, ambient limit values for air pollutants, excessive ambient air pollution, critical loads of nitrogen, critical levels of ammonia, action plan

Stichwörter:

Luftreinhaltung, LRV, Immissionsgrenzwerte, übermässige Immissionen, critical loads für Stickstoffeinträge, critical levels für Ammoniak, Massnahmenplan

Mots-clés:

protection de l'air, OPair, valeurs limite d'immission, immissions excessives, charges critiques pour l'azote, niveaux critiques pour l'ammoniac, plan de mesures

Parole chiave:

protezione dell'aria, OIA, valori limite d'immissione, immissioni eccessive, carichi critici per l'azoto, livelli critici per l'ammoniaca, piano dei provvedimenti

Vorwort

Stickstoffhaltige Luftschadstoffe haben schädliche Effekte auf naturnahe Ökosysteme wie Wälder, artenreiche Naturwiesen und Trockenrasen, alpine Heiden, Hoch- und Flachmoore. Auswirkungen auf die Vegetation können direkt durch gasförmige Verbindungen geschehen (in erster Linie durch Ammoniak) oder durch die übermässige Deposition reaktiver Stickstoffverbindungen (u.a. Ammoniak, Ammonium, Stickstoffdioxid, Nitrat). Ammoniak ist zudem eine Vorläufersubstanz für die Bildung von sekundärem Feinstaub.

Übermässige Stickstoffeinträge haben eine Überdüngung (Eutrophierung) sensibler Ökosysteme zur Folge, können die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser bewirken und tragen zur Versauerung von Böden bei. Es ist bekannt, dass Überdüngung zum Überhandnehmen von stickstoffliebenden bzw. zu einer Verdrängung von an nährstoffarme Standorte angepassten, meist seltenen, Pflanzenspezies führt. Das wirkt sich negativ auf die Biodiversität aus und die Artenzusammensetzung verschiedener Lebensräume gleicht sich zunehmend an. Untersuchungen in der Schweiz und im Ausland zeigen, dass übermässige Stickstoffeinträge im Wald das Baumwachstum beeinträchtigen und zu einer verminderten Resistenz der Bäume gegenüber Trockenheit und Krankheitserregern führen.

Diese vielfältigen negativen Auswirkungen unterstreichen die Notwendigkeit, die Emissionen stickstoffhaltiger Luftschadstoffe und damit den Stickstoffeintrag zu vermindern. Da die Luftreinhalte-Verordnung keine Immissionsgrenzwerte für Ammoniak und Stickstoffeinträge festlegt, sind kantonale Vollzugsbehörden mit komplexeren Fragestellungen konfrontiert als bei anderen Luftschadstoffen. Diese Vollzugshilfe soll dazu beitragen, den Vollzug zu erleichtern und zu vereinheitlichen.

Paul Steffen
Vizedirektor
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Einleitung

Für Stickstoffeinträge und Ammoniak sind im Anhang 7 der Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1) im Gegensatz zu anderen Luftschadstoffen keine Immissionsgrenzwerte festgelegt. Ob Stickstoffeinträge und Ammoniakkonzentrationen übermässig sind, kann mithilfe der im Rahmen der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung festgelegten kritischen Eintragsraten (Critical Loads) und kritischen Konzentrationen (Critical Levels) beurteilt werden (vgl. Göteborg-Protokoll, SR 0.814.327). Critical Loads und Critical Levels werden wirkungsorientiert festgelegt und entsprechen von ihrer Bedeutung her den Immissionsgrenzwerten. Nicht jede Pflanzenart und jedes Ökosystem «erträgt» gleich viel Stickstoff bzw. Ammoniak, ohne dass sich schädliche Wirkungen einstellen. Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat deshalb die schweizweiten Stickstoffeinträge und Ammoniakkonzentrationen mithilfe von Messungen, Erhebungen und Ausbreitungsrechnungen ermittelt. Zusammen mit Karten über das Vorkommen stickstoffempfindlicher Ökosysteme und unter Anwendung der entsprechenden Critical Loads und Critical Levels für die verschiedenen Ökosystemtypen wurden Überschreitungskarten für Stickstoffeinträge und Ammoniakkonzentrationen erstellt. Die Kantone können diese Karten direkt nutzen, um abzuschätzen, ob auf ihrem Gebiet die Stickstoffeinträge und die Immissionen von Ammoniak übermässig sind.

Unabhängig davon, ob Überschreitungen im Kantonsgebiet auftreten, haben die Kantone die Aufgabe, vorsorgliche Massnahmen anzuordnen. Vorsorgliche Massnahmen im Landwirtschaftsbereich (Hauptemittent von Ammoniak) sind in den Modulen der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft (BAFU und BLW 2011, 2012 und 2016) zusammengestellt. Sie präzisieren Artikel 4 LRV.

Wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass Critical Loads oder Critical Levels überschritten sind, vollzieht der Kanton zusätzlich zu den vorsorglichen auch verschärfte Massnahmen beim verantwortlichen Einzelemittenten oder erstellt einen Massnahmenplan, wenn mehrere Emittenten zur Überschreitung beitragen. Sind zur Beseitigung der übermässigen Immissionen Massnahmen in anderen Kantonen oder durch den Bund nötig, stellt der Kanton die entsprechenden Anträge an die Kantone oder den Bundesrat (Art. 34 LRV).

1 Rechtsgrundlagen

Das Umweltschutzgesetz (USG, SR 814.01) und die Luftreinhalte-Verordnung (LRV, SR 814.318.142.1) legen beim Immissionsschutz ein zweistufiges Vorgehen fest.

1.1 Vorsorgliche Emissionsbegrenzungen

Die erste Stufe schreibt vor, dass unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen sind, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist (Art. 11 Abs. 2 USG). Die allgemeinen vorsorglichen Emissionsbegrenzungen für Ammoniak gemäss Anhang 1 LRV gelten für die Tierhaltung nicht (Stand 1. Juni 2018). Die Behörde legt die vorsorglichen Emissionsbegrenzungen nach Artikel 4 LRV fest (Anhang 2 Ziff. 514 LRV)¹. Vorsorgliche Massnahmen sind in jedem Fall umzusetzen, selbst wenn die Immissionen nicht übermässig sind.

1.2 Verschärfte Emissionsbegrenzungen

In einem zweiten Schritt werden Emissionsbegrenzungen nach Artikel 11 Absatz 3 USG verschärft, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Einwirkungen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig (d.h. übermässig) werden.

1.2.1 Übermässige Immissionen

Übermässige Immissionen liegen dann vor, wenn einer oder mehrere der Immissionsgrenzwerte (IGW) in Anhang 7 LRV, die gemäss Artikel 14 USG festgelegt wurden, überschritten sind oder wenn ein Kriterium von Artikel 2 Absatz 5 LRV, der sich auf Artikel 14 USG stützt, erfüllt ist.

a Immissionsgrenzwerte

Für Ammoniak und Stickstoffeinträge gibt es keine IGW in Anhang 7 LRV. Demzufolge muss gestützt auf Artikel 2 Absatz 5 LRV im Einzelfall beurteilt werden, ob die Immissionen übermässig sind. Das heisst, die Stickstoffeinträge und Immissionen von Ammoniak gelten als übermässig, wenn sie Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften oder ihre Lebensräume gefährden oder wenn sie die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation oder die Gewässer beeinträchtigen (Art. 2 Abs. 5 lit. a und d LRV). Zur Beurteilung der Übermässigkeit von Luftverunreinigungen können die international festgelegten Critical Loads und Critical Levels herangezogen werden (s. folgenden Abschnitt).

b Kriterien im internationalen Rahmen

Die Schweiz hat im Jahr 2005 das Protokoll betreffend die Verringerung von Versauerung, Eutrophierung und bodennahem Ozon (Göteborg-Protokoll; SR 0.814.327) ratifiziert, welches am 17. Mai 2005 in Kraft gesetzt wurde. Dabei handelt es sich um ein Protokoll zum Übereinkommen von 1979 über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP; SR 0.814.32). Es definiert in Artikel 1 die Critical Loads und Critical Levels wie folgt:

¹ Es gilt die jeweils aktuelle Fassung. Der Bundesrat hat an seiner Sitzung vom 12. Februar 2020 eine Änderung der LRV genehmigt. Die Bestimmungen, welche die Landwirtschaft betreffen, gelten ab 1. Januar 2022. <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/uvek/medien/medienmitteilungen.msg-id-78064.html>

Critical Loads (kritische Eintragsraten)

«eine quantitative Schätzung der Exposition gegenüber einem oder mehreren Schadstoffen, unterhalb deren nach dem heutigen Wissensstand keine signifikanten schädlichen Auswirkungen auf bestimmte empfindliche Teile der Umwelt auftreten» (angegeben als Deposition pro Flächeneinheit, z.B. $\text{kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$).

Critical Levels (kritische Konzentrationen)

«Schadstoffkonzentrationen in der Atmosphäre, oberhalb deren nach dem heutigen Wissensstand unmittelbare nachteilige Auswirkungen auf Rezeptoren wie Menschen, Pflanzen, Ökosysteme oder Materialien auftreten können» (angegeben als Konzentration in der Luft, z.B. $\mu\text{g m}^{-3}$).

c Gleichwertigkeit von Critical Loads und Critical Levels mit den IGW

Die Critical Loads und Critical Levels haben den Stellenwert von wirkungsorientierten Belastungsgrenzen für Schadstoffdepositionen und -konzentrationen, bei deren Überschreitung mit Schäden an empfindlichen Rezeptoren gerechnet werden muss. Sie werden nach den gleichen Kriterien festgelegt wie die wirkungsorientierten IGW der LRV und sind daher von ihrer Bedeutung her gleichwertig mit diesen. Die LRV stellt schon in Anhang 7 auf beide Ansätze ab: bei den IGW für Feinstaub, SO_2 , NO_2 und O_3 auf die kritischen Konzentrationen und bei den IGW für Staubbiederschlag insgesamt und Schwermetalle auf die kritischen Eintragsraten. Critical Loads und Critical Levels im Sinne des Göteborg-Protokolls können deshalb nach Artikel 2 Absatz 5 LRV zur Beurteilung herangezogen werden, ob Immissionen übermässig sind oder nicht. Im Zusammenhang mit Stickstoffeinträgen und Ammoniak sind in erster Linie die Critical Loads für Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme die massgeblichen Belastungsgrenzen, oberhalb welcher mit schädlichen Auswirkungen gerechnet werden muss und bei deren Überschreitung demnach die Immissionen als übermässig beurteilt werden müssen. Zusätzlich können die Critical Levels für Ammoniak zur Beurteilung der Übermässigkeit herangezogen werden.

Die Critical Loads für Stickstoffeinträge sind an vielen Orten in der Schweiz deutlich überschritten, in geringerem Mass auch die Critical Levels für Ammoniak (siehe Anhang 1, Abb. 4 und Abb. 5). Sollten die vorsorglichen Emissionsbegrenzungen nicht ausreichen, um die Critical Loads und Critical Levels einzuhalten, müssen auch verschärfte Emissionsbegrenzungen angeordnet werden (Art. 11 Abs. 3 USG).

1.2.2 Verschärfte Emissionsbegrenzungen bei einer einzelnen Anlage

Steht fest oder ist zu erwarten, dass eine einzelne Anlage übermässige Immissionen verursacht, obwohl sie die vorsorglichen Emissionsbegrenzungen einhält, so verfügt die Behörde für diese Anlage ergänzende oder verschärfte Emissionsbegrenzungen. Diese sind so weit zu verschärfen, dass keine übermässigen Immissionen mehr verursacht werden (Art. 5, Art. 9 Abs. 1 und 2 LRV).

1.2.3 Verschärfte Emissionsbegrenzungen bei mehreren Anlagen, Massnahmenpläne

Steht fest oder ist zu erwarten, dass schädliche oder lästige Einwirkungen von Luftverunreinigungen durch mehrere Quellen verursacht werden, so erstellt die zuständige Behörde einen Plan der Massnahmen, die zur Verminderung oder Beseitigung dieser Einwirkungen innert angesetzter Frist beitragen (Art. 44a USG). Die Massnahmenpläne werden nach Artikel 31–34 LRV erstellt und umgesetzt. Es ist Sache des Massnahmenplans, die Massnahmen zur Verminderung und Beseitigung von übermässigen Immissionen zu bezeichnen.

Die Inhalte des Massnahmenplans sind nach Art. 32 LRV vorgegeben. Neben der Angabe der Emissionsquellen, der Analyse der Emissionsminderungsmöglichkeiten sowie der Massnahmen und ihrer Wirkungen ist auch die Beurteilung der rechtlichen Grundlagen vorgesehen, die für einzelne Massnahmen vorhanden oder noch zu schaffen sind. Letzteres steht in Beziehung zur Möglichkeit, dass die Kantone nach Artikel 34 Absatz 1 LRV

Anträge an den Bundesrat stellen können, falls der Massnahmenplan die Anordnung von Massnahmen vorsieht, welche in die Zuständigkeit des Bundes fallen.

2 Drei Schritte zur Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoffeinträgen

Da verschiedene Pflanzen und Ökosysteme unterschiedlich auf erhöhte Stickstoffeinträge reagieren und schädliche Effekte bei unterschiedlich hohen Belastungen auftreten, sind Critical Loads für Stickstoff ökosystemspezifisch. Sie gelten an denjenigen Orten, wo sich ein entsprechendes Schutzobjekt (Pflanze/Ökosystem) befindet.

Zur Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoffeinträgen in einem bestimmten Gebiet muss in einem ersten Schritt abgeklärt werden, welche empfindlichen Ökosysteme vorkommen und wie hoch die ökosystem-spezifischen Critical Loads für Stickstoff sind. In einem zweiten Schritt werden die effektiven Stickstoffeinträge in die Ökosysteme ermittelt und in einem dritten Schritt werden die ermittelten Einträge im Rahmen der Beurteilung mit den Critical Loads der Ökosysteme verglichen. Ist der Stickstoffeintrag höher als der Critical Load, so gilt die Belastung als übermässig.

Der Bund hat die folgenden schweizweiten Untersuchungen für national bedeutende Ökosysteme durchführen lassen.

2.1 Empfindliche Ökosysteme und zugehörige Critical Loads

Sensitive Ökosystemtypen wurden im Auftrag des BAFU mit Hilfe der folgenden nationalen Inventare und Datenbanken identifiziert und kartiert:

- 21 schutzwürdige Vegetationstypen aus dem Atlas schutzwürdiger Vegetationstypen der Schweiz (Hegg 1993)
 - darunter seltene und artenreiche, nicht bewirtschaftete Wälder, alpine Heiden, Wiesen und Oberflächengewässer
- Montane Heuwiesen, die Teil des Biodiversitätsmonitoring Schweiz sind
- Hochmoore aus dem Bundesinventar der Hochmoore
- Flachmoore aus dem Bundesinventar der Flachmoore
- Nährstoffarme alpine Seen in der südlichen Schweiz
- Trockenwiesen und –weiden aus dem Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden
- Standorte des Landesforstinventars (LF11 1990/1992) sowie Waldstandorte des interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogrammes

Ökosystemspezifische Critical Loads für Stickstoffeinträge werden entweder aufgrund von empirischen Studien abgeleitet (empirische Critical Loads, vgl. Bobbink 2011 und CLRTAP 2017, Kapitel V.2) oder mittels einer Massenbilanz berechnet, welche Austräge durch Ernte, Denitrifikationsverluste, Nitratauswaschung sowie Stickstoffimmobilisierung berücksichtigt (CLRTAP 2017, Kapitel V.3). Detaillierte Informationen zu deren Anwendung in der Schweiz sind publiziert (BAFU 2016, Rihm 2019).

Für die Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoffeinträgen in (halb-)natürliche Ökosysteme, wie sie in der Liste oben aufgeführt sind, sind empirische Critical Loads geeignet. Eine Übersicht über diese Ökosystemtypen und die zugehörigen empirischen Critical Loads gibt Tabelle 2 in Anhang 2. Die empirischen Critical Loads für die verschiedenen Ökosystemtypen umfassen jeweils einen Wertebereich. Der genaue Wert hängt vom lokalen Ökosystem (Artenvorkommen) sowie von lokalen Standortfaktoren ab (Bodenfaktoren, Feuchtigkeit, Höhe über Meer). Für die schweizweite Kartierung verwendete Werte sind in BAFU 2016 aufgelistet (Tabellen 2 und 3). Falls für einen Einzelstandort ein spezifischer Wert zugeordnet werden soll, sind Experten beizuziehen und oben genannte Faktoren zu berücksichtigen.

Für produktive Wälder, in denen der Stickstoffaustrag durch die Holzernte eine Rolle spielt, werden standortspezifische Critical Loads mittels einer Massenbilanzierung (Simple Mass Balance) gemäss Methodenhandbuch der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung berechnet (CLRTAP 2017, Kapitel V.3). Das BAFU hat als Grundlage für die Ermittlung der Critical Loads für produktive Wälder die Standorte des Landesforstinventars (LFI1 1990/1992; Raster 1x1 km) sowie Standorte des interkantonalen Walddauerbeobachtungsprogrammes verwendet.

2.2 Ermittlung des Stickstoffeintrags

Zur Ermittlung des Stickstoffeintrags können gemäss Artikel 27 Absatz 2 LRV neben Erhebungen und Messungen auch Modellrechnungen dienen. Das BAFU hat derartige Modellrechnungen für die ganze Schweiz durchführen (BAFU 2016) und durch Messungen validieren lassen (Seitler 2016), sodass schweizweit entsprechende Karten zu Verfügung stehen (vgl. Anhang 1, Abbildung 2). Der Gesamteintrag von Stickstoff setzt sich aus der Nass- und Trockendeposition von oxidierten und reduzierten stickstoffhaltigen Verbindungen zusammen (Abbildung 3)². Im Mittel stammen in der Schweiz ein Drittel der Stickstoffeinträge von oxidierten Stickstoffverbindungen, d.h. von Stickoxiden (NO_x) und deren Folgeprodukten, und zwei Drittel von reduzierten Stickstoffverbindungen, d.h. von Ammoniak und dessen Folgeprodukten. Abhängig vom Anteil der Nassdeposition sowie den umliegenden Emittenten kann dieser Anteil lokal jedoch stark variieren.

2.3 Bewertung der Übermässigkeit der Stickstoffeinträge

Die schweizweit ermittelten Stickstoffeinträge werden mit den Critical Loads für Stickstoff verglichen um zu beurteilen, ob die Einträge übermässig sind oder nicht. Für die Bewertung der Übermässigkeit wurden die unter Ziffer 2.1 beschriebenen Ökosysteme mit den entsprechenden Critical Loads berücksichtigt. Die aus der Analyse hervorgehenden Karten werden publiziert (BAFU 2016)³. Liegt der Stickstoffeintrag in ein Ökosystem höher als dessen Critical Load, ist der Eintrag als übermässig zu bewerten. Abbildung 4 zeigt die Überschreitungskarte der Critical Loads für Stickstoff und damit die Übermässigkeit der Einträge für das Jahr 2015.

² weitere Informationen im Anhang 1 sowie in EKL 2005 (Kapitel 2.4) und BAFU 2016 (Kapitel 3)

³ map.bafu.admin.ch (aufgerufen 7.2.2019)

3 Drei Schritte zur Beurteilung der Übermässigkeit von gasförmigen Ammoniak-Immissionen

Analog zur Beurteilung aufgrund der Critical Loads für Stickstoff kann eine Bewertung der Immissionssituation aufgrund der Critical Levels für Ammoniak erfolgen.

Moose und Flechten reagieren empfindlicher auf Ammoniak-Immissionen als höhere Pflanzen. Daher liegt der Critical Level für Moose und Flechten tiefer als für höhere Pflanzen. Dieser tiefere Critical Level ist auch auf Ökosysteme anzuwenden, in denen Moose und Flechten zentrale Bestandteile sind, namentlich Hochmoore.

3.1 Empfindliche Ökosysteme und zugehörige Critical Levels

In einem ersten Schritt werden die vorkommenden Ökosysteme (BAFU 2016, EKL 2014) und die zugehörigen Critical Levels für Ammoniak (siehe Anhang 2, Tabelle 3) bestimmt.

3.2 Ermittlung der Ammoniakkonzentration

In einem zweiten Schritt werden die Ammoniakkonzentrationen mittels Messungen und Modellen ermittelt. Das BAFU lässt die Ammoniak-Immissionen in der ganzen Schweiz modellieren und entsprechende Karten erstellen (BAFU 2016), welche den Kantonen zur Verfügung stehen. Zur Validierung der Modellrechnungen werden Passivsammlermessungen von Bund und Kantonen verwendet (Seitler 2018).

3.3 Bewertung der Übermässigkeit der Ammoniak-Immissionen

In einem dritten Schritt werden diese Ammoniakkonzentrationen mit dem Vorkommen empfindlicher Pflanzen bzw. Ökosysteme und deren Critical Levels verglichen um zu beurteilen, ob die Immissionen übermässig sind oder nicht. Wenn die Ammoniak-Immissionen in einem Ökosystem höher sind als sein Critical Level, sind die Immissionen als übermässig zu beurteilen. Die Schweizer Karte der Überschreitungen der Critical Levels für Ammoniak ist in Anhang 1, Abbildung 5) dargestellt. Die Karte zeigt, in welchen Regionen die Immissionen übermässig sind und wo nicht.

4 Vorgehen der kantonalen Vollzugsbehörde

4.1 Beurteilung der Übermässigkeit

Das BAFU empfiehlt, dass sich die kantonalen Vollzugsbehörden direkt auf die vorhandenen Schweizer Karten der Überschreitungen der Critical Loads für Stickstoff und Critical Levels für Ammoniak (s. Ziffern 2 und 3) abstützen um zu beurteilen, ob die Stickstoffeinträge und Ammoniak-Immissionen auf ihrem Kantonsgebiet übermässig sind. Falls die Kantone über eigene Messungen, Erhebungen oder Modellierung der Stickstoffeinträge und Ammoniak-Immissionen verfügen, können sie diese einbeziehen.

Dem Massstab und Detaillierungsgrad der vorhandenen Schweizer Karten ist Beachtung zu schenken, wenn kleinräumige Fragestellungen betrachtet werden. Gegebenenfalls sind ergänzende Abklärungen und Erhebungen mittels Messungen und/oder Ausbreitungsrechnungen durchzuführen. Diese sollten auch sensitive Flächen und/oder Schutzgebiete einbeziehen, welche in den schweizweiten Karten unter Umständen nicht berücksichtigt sind. Dies bedingt allerdings eine Erhebung der betroffenen Ökosysteme und der darin vorkommenden Spezies sowie die Zuordnung der richtigen Critical Loads bzw. Critical Levels durch Fachpersonen unter Berücksichtigung der nationalen und internationalen Fachliteratur.

4.2 Vorsorgliche Massnahmen

Der kantonalen Vollzugsbehörde stehen mit den Modulen der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft (BAFU und BLW 2011, 2012 und 2016) Hilfsmittel zur Verfügung, um – unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung – vorsorgliche Massnahmen zur Verminderung von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft nach dem Stand der Technik gemäss Artikel 4 LRV zu verfügen. Vorsorgliche Massnahmen sind in jedem Fall und bei allen Anlagen anzuordnen, selbst wenn die Immissionen nicht übermässig sind.

4.3 Verschärfte Massnahmen

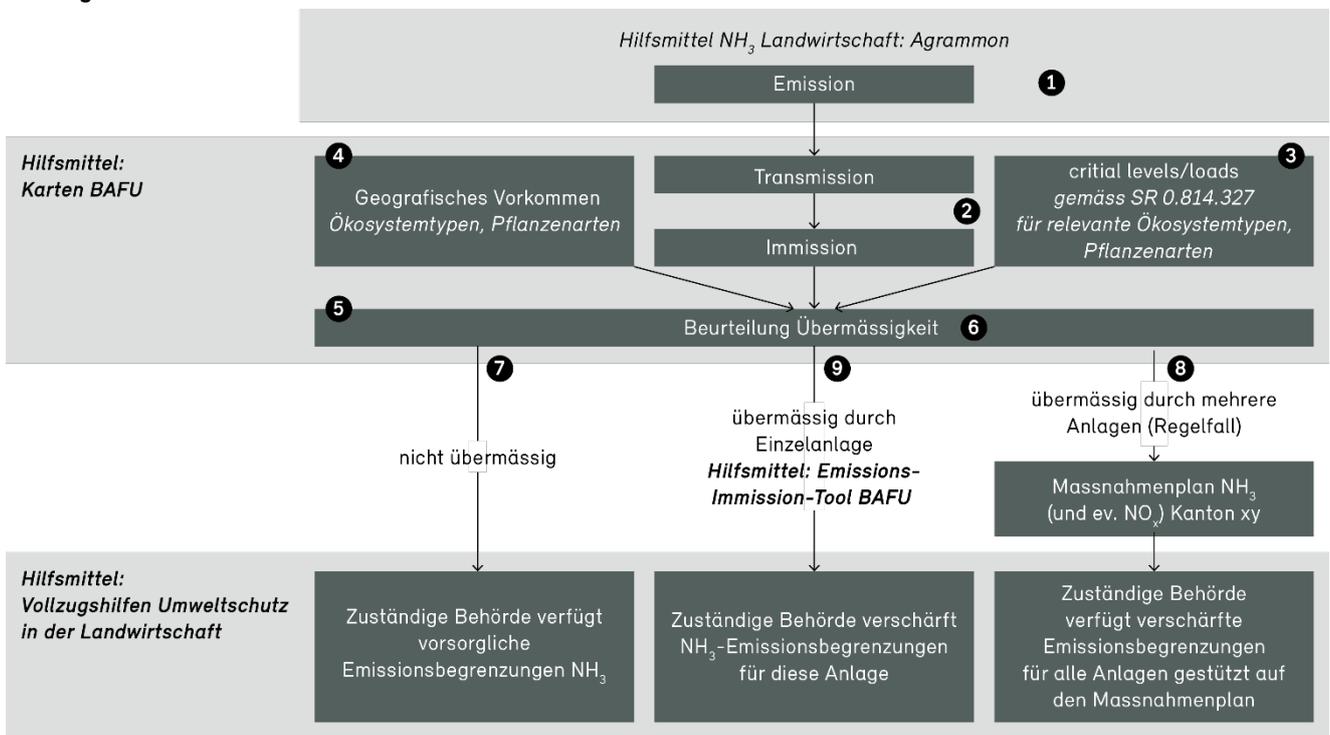
Sind die Immissionen übermässig, stellt sich die Frage, ob sie auf eine einzelne Anlage oder auf mehrere Anlagen zurückzuführen sind. Übermässige Stickstoffeinträge und Ammoniak-Immissionen kommen in der Regel durch eine Vielzahl von Anlagen zustande. In gewissen Fällen können sie aber bereits durch eine einzelne (landwirtschaftliche) Anlage entstehen (EKL 2014 Kap. 3.5.2 und 3.5.3).

Anhaltspunkte, ob eine einzelne Quelle oder eine Vielzahl von Quellen zu den übermässigen Immissionen führt, kann die Berechnung der landwirtschaftlichen Emissionen eines Betriebes oder einer Region mit dem Modell AGRAMMON⁴ in Verbindung mit Ausbreitungsrechnungen geben.

Kommen die übermässigen Immissionen durch mehrere Anlagen zustande, richtet sich das Verfahren nach Ziffer 1.2.3. Es ist ein kantonaler Massnahmenplan gemäss Art. 31–34 LRV zu erstellen. Er berücksichtigt alle Emissionsquellen, die zu den übermässigen Immissionen beitragen – unabhängig davon, ob sie innerhalb oder ausserhalb des von übermässigen Immissionen betroffenen Gebietes bzw. der von übermässigen Immissionen betroffenen Rasterquadrate liegen. Er ordnet emissionsmindernde Massnahmen zur Verminderung oder Beseitigung der übermässigen Immissionen an.

Für eine Abschätzung des Beitrags durch einen Einzelstall hat das BAFU ein einfaches Hilfsmittel erarbeiten lassen⁵. Damit können die aufgrund der Emissionen einer stationären Anlage (Stall, Laufhof, Güllelager) entstehenden Ammoniak-Immissionen und derjenige Teil der Stickstoffeinträge, welcher auf die Deposition von gasförmigem Ammoniak aus dieser Anlage zurückzuführen ist, abgeschätzt werden. Ergeben die Abklärungen, dass die übermässigen Immissionen durch eine einzelne Anlage verursacht werden, ist nach Ziffer 1.2.2 vorzugehen. Es ist zu beachten, dass das erwähnte Hilfsmittel die Emissionen und Immissionen, welche im Zusammenhang mit dem Ausbringen von Hof- und Mineraldünger und beim Weiden entstehen, nicht einschliesst. Ebenso wenig sind die Anteile der Stickstoffdeposition enthalten, welche durch Aerosol- und Nassdeposition von reduzierten Stickstoffverbindungen zustande kommen, sowie alle Formen der Deposition von oxidierten Stickstoffverbindungen. Für eine exakte Analyse des konkreten Einzelfalls sind alle betriebsspezifischen Emissionen beispielsweise mittels Agrammon zu berechnen und lokale Gegebenheiten für die Ausbreitungsrechnung zu berücksichtigen.

Abbildung 1
Ablauf grafisch



Kursive Bezeichnungen: Für diese Schritte/Anwendungen stehen Hilfsmittel zur Verfügung, die der Bund (BAFU) bereitgestellt hat

⁵ Stickstoffbelastungen durch Ammoniak-Emissionen von Ställen; Tool zur Abschätzung und Beurteilung von Stickstoffbelastungen durch Ammoniak-Emissionen von Ställen (aufgerufen 7.2.2019) – Anleitung und Excel-Tool verfügbar unter Dokumente auf: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftschadstoffquellen/landwirtschaft-als-luftschadstoffquelle.html> (aufgerufen 7.2.2019)

Tabelle 1**Erklärungen zum graphischen Ablaufschema**

Nicht markierte Zellen 2-5: Diese Analysen müssen nicht zwingend vom Kanton durchgeführt werden. Der Kanton kann sich direkt auf die Resultate des Bundes (BAFU) abstützen, indem die Karten gemäss Ziffern 2 und 3 und Anhang 1, Abbildungen 4 und 5 verwendet werden.

Nummer	Beschreibung
1	Erhebung der Ammoniak- und Stickoxidemissionen im Kanton. Hilfsmittel für NH ₃ -Emissionen: Agrammon ⁶
2	Ermittlung durch Ausbreitungsrechnungen und Modelle, für Ammoniak Überprüfung durch NH ₃ -Passivsammlernetz (Seitler 2018 und Locher 2014) oder andere Messungen des Kantons. Schweizweite NH ₃ -Konzentrationen und Stickstoffdepositionen im 1x1 km Raster sind auf map.bafu.admin.ch publiziert.
3	Tabellen der für die Schweiz relevanten empirischen Critical Loads für Stickstoff und der Critical Levels für Ammoniak siehe Anhang 2; rechtliche Basis: Göteborg-Protokoll SR 0.814.327; diesen Critical Loads und Critical Levels kommt die Bedeutung von Immissionsgrenzwerten zu.
4	Kartierung Ökosysteme (vgl. BAFU 2016)
5	Durch Vergleich der Stickstoffeinträge bzw. NH ₃ -Immissionen mit den Critical Loads bzw. Critical Levels ergeben sich Überschreitungskarten, mit deren Hilfe beurteilt werden kann, ob die Immissionen übermässig sind oder nicht. Schweizweite Karten der Überschreitungen von Critical Loads für Stickstoff im 1x1 km Raster sind auf map.bafu.admin.ch publiziert. Auf Anfrage von kantonalen Vollzugsbehörden stellt das BAFU zusätzliche Informationen zur Verfügung, beispielsweise zur Zusammensetzung des modellierten Stickstoffeintrages (Anh. 1 Abb. 3).
6	Wenn Critical Loads und Critical Levels im Kantonsgebiet bzw. im Massnahmenplangebiet eingehalten (also die Immissionen nicht übermässig) sind: • weiter bei Punkt 7, wenn sie nicht eingehalten (also die Immissionen übermässig) sind: • weiter bei Punkt 8, wenn Überschreitung durch mehrere Anlagen zustande kommt, oder • weiter bei Punkt 9, wenn Überschreitung durch eine stationäre Einzelanlage zustande kommt
7	Umsetzung vorsorglicher Massnahmen zur Verminderung der Ammoniak-Emissionen gemäss Modulen Umweltschutz in der Landwirtschaft ⁷ (BAFU und BLW 2011; BAFU und BLW 2012; BAFU und BLW 2016) und vorsorglicher Massnahmen zur Reduktion von Stickoxidemissionen Die technisch und betrieblich möglichen vorsorglichen Massnahmen zur Emissionsminderung sind bei allen Anlagen umzusetzen, soweit sie wirtschaftlich tragbar sind, unabhängig davon, ob die Immissionen übermässig sind oder nicht. Für die Beurteilung der wirtschaftlichen Tragbarkeit ist auf einen mittleren und wirtschaftlich gesunden Betrieb der betreffenden Branche abzustellen (vgl. Art. 4 Abs. 3 LRV).
8	Erstellen eines Massnahmenplans für NH ₃ , wenn die Critical Levels für Ammoniak überschritten (und damit die NH ₃ -Immissionen übermässig) sind und/oder Erstellen eines Massnahmenplans für NH ₃ und NO _x , falls die Critical Loads für Stickstoff überschritten (und damit die Immissionen übermässig) sind, bzw. Einbezug von NH ₃ und Stickstoffdepositionsproblematik in bestehende Massnahmenpläne, welche NO _x bereits enthalten (vgl. Ziffer 1.2.3). Die vorsorglichen Massnahmen sind auch unabhängig vom Massnahmenplan umzusetzen.
9	Umsetzung verschärfter Massnahmen bei der Einzelanlage (vgl. Ziffer 1.2.2) zusätzlich zu den vorsorglichen Massnahmen. Die Massnahmen sind so weit zu verschärfen, dass keine übermässigen Immissionen mehr verursacht werden.

⁶ www.agrammon.ch (aufgerufen 7.2.2019)

⁷ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/publikationen-studien/publikationen-wasser/vollzugshilfe-umweltschutz-in-der-landwirtschaft.html> (aufgerufen 7.2.2019)

Anhang 1

Abbildung 2

Stickstoffeintrag in der Schweiz 2015⁸

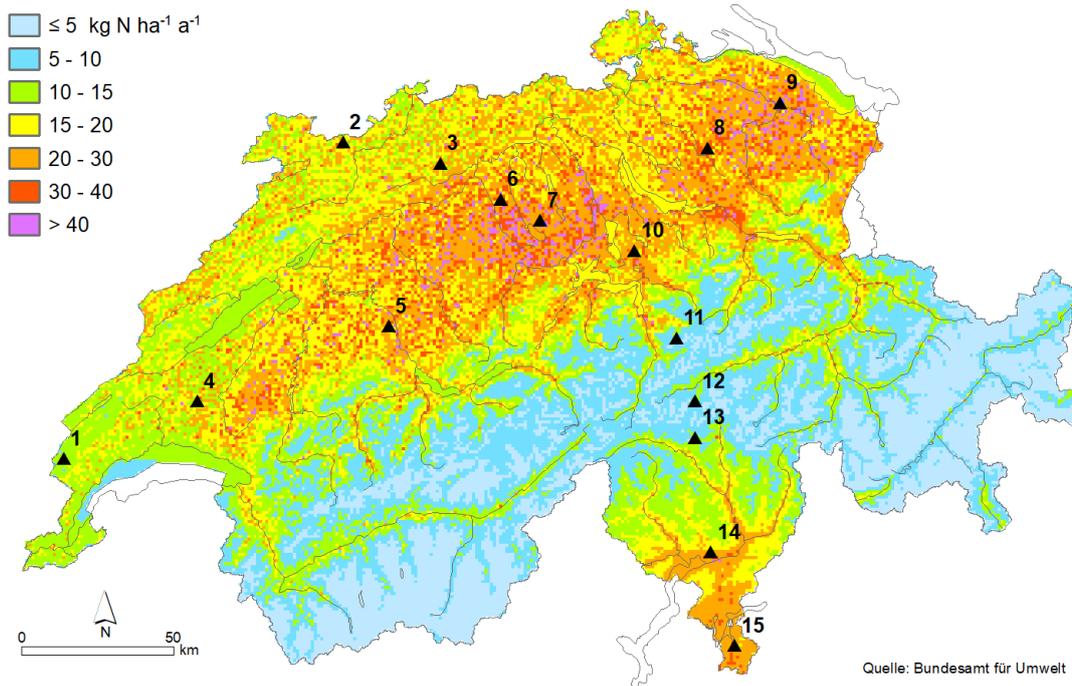
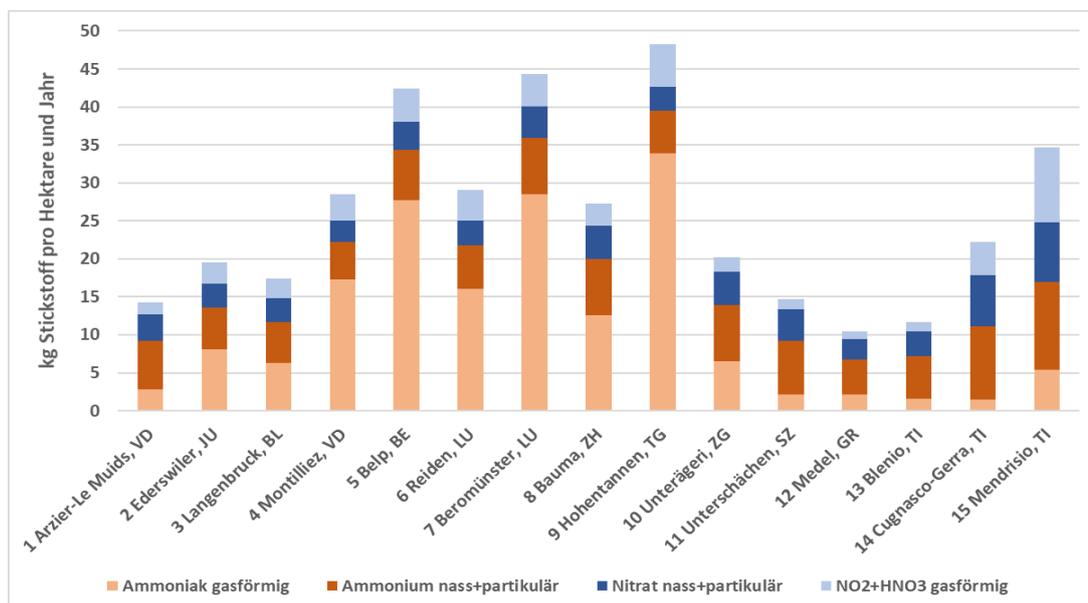


Abbildung 3

Zusammensetzung der Stickstoffdeposition an 15 ausgewählten Waldstandorten (Lage s. Abbildung 2) basierend auf der schweizweiten Modellierung



⁸ s. auch https://map.geo.admin.ch/?lang=de&topic=baflu&X=190000.00&Y=660000.00&zoom=1&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&catalogNodes=862&layers=ch.bafu.luftreinhaltung-stickstoffdeposition&layers_opacity=0.7 (aufgerufen 7.2.2019)

Enthalten sind:

Oxidierete (von Stickoxiden NO_x stammende) Anteile des Stickstoffeintrags (Blautöne):

$\text{NO}_2 + \text{HNO}_3$ gasförmig durch Deposition der Gase Stickstoffdioxid NO_2 und Salpetersäure HNO_3

Nitrat nass+partikulär durch Niederschläge, Staubsedimentation und Interzeption (Auskämmen) von nitrathaltigen Aerosolen (Partikeln, die NO_3^- enthalten)

Reduzierte (von Ammoniak NH_3 stammende) Anteile des Stickstoffeintrags (Rottöne):

Ammoniak gasförmig durch Deposition des Gases Ammoniak NH_3

Ammonium nass+partikulär durch Niederschläge, Staubsedimentation und Interzeption (Auskämmen) von ammoniumhaltigen Aerosolen (Partikeln, die NH_4^+ enthalten)

Für weitere Standorte kann das BAFU den kantonalen Luftreinhalte-Fachstellen auf Anfrage Informationen zur Verfügung stellen. Im Mittel stammen in der Schweiz ein Drittel der Stickstoffeinträge von oxidierten Stickstoffverbindungen (Stickoxide NO_x und Folgeprodukte) und zwei Drittel von reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak NH_3 und Folgeprodukte). Diese Anteile variieren je nach Standort, aufgrund lokaler Faktoren wie Emissionsdichte, Niederschlagsmenge und Ausbreitungsbedingungen.

Abbildung 4

Überschreitung der Critical Loads für Stickstoff für das Jahr 2015: Auf den gelb, orange, rot und violett markierten Flächen sind die Immissionen übermässig.

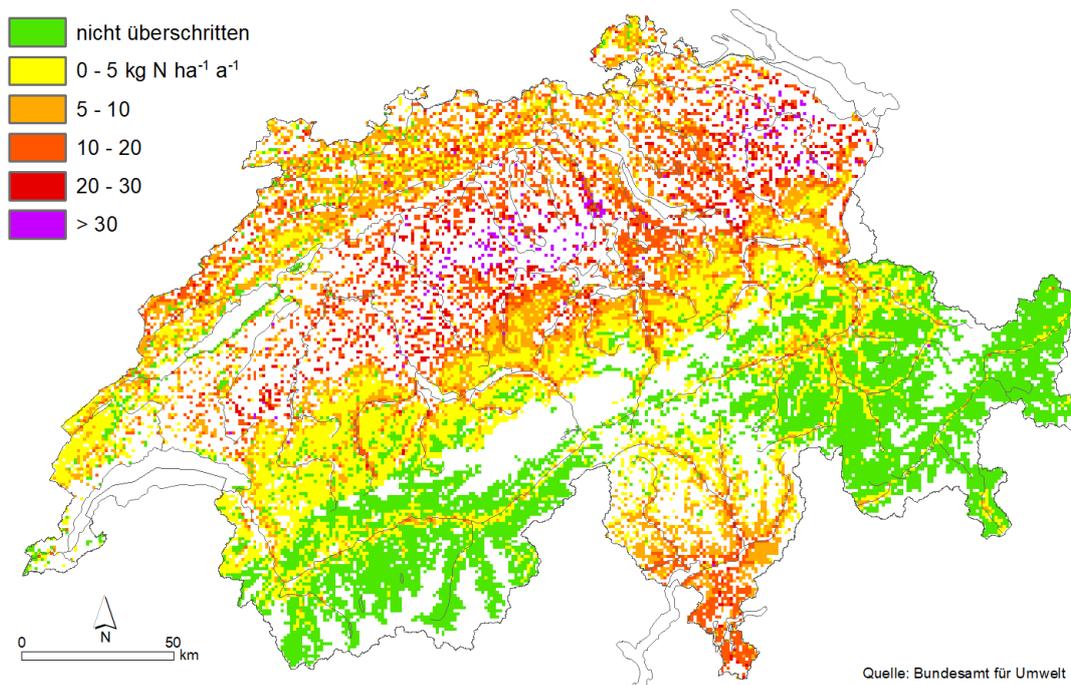
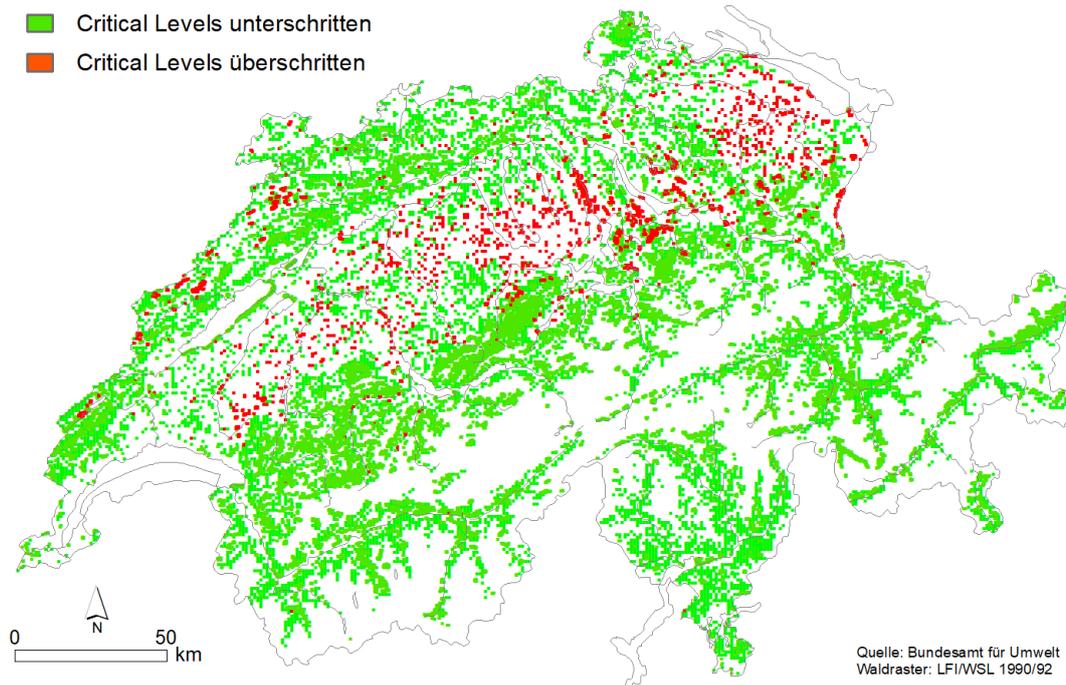


Abbildung 5

Überschreitung der Critical Levels (CLe) für Ammoniak für das Jahr 2015. In den rot markierten Gebieten sind die Immissionen übermässig. Die Kartierung basiert auf der modellierten Ammoniakkonzentration im 1 km² Raster sowie der Anwendung des Critical Levels von 1 µg/m³ für Hochmoore und 3 µg/m³ für Flachmoore, Trockenwiesen und -weiden und Wälder (siehe Anhang 2, Tabelle 3).



Anhang 2

Tabellen mit den empirischen Critical Loads für Stickstoffeinträge (CLN) und den Critical Levels für Ammoniak (CLE NH₃), die für die Schweiz relevant sind.

Tabelle 2

Übersicht der für die Schweiz relevanten empirischen Critical Load-Bereiche gemäss BAFU 2016 und CLRTAP 2017

Ökosystem	Critical Load Bereich ^a in kg N ha ⁻¹ a ⁻¹	Wirkung bei Überschreitung
Nadelwald ^b	5-15 ^c	Veränderungen in Bodenprozessen; Nährstoffungleichgewichte, Veränderungen der Mykorrhiza- und Bodenvegetation
Laubwald ^b	10-20 ^c	Veränderungen in Bodenprozessen; Nährstoffungleichgewichte, Veränderungen der Mykorrhiza- und Bodenvegetation
Alpine Zwergstrauchheiden	5-15 ^c	Rückgang von Flechten, Moosen und Sträuchern
Trockenrasen auf sauren und neutralen Böden	10-15 ^c	Zunahme von Gräsern, Rückgang typischer Arten, Rückgang der Artenvielfalt
Artenreiche (Halb-) Trockenrasen auf Kalk	15-25 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Verminderte Biodiversität, erhöhte Mineralisation, Stickstoffauswaschung; Oberflächenversauerung
Pfeifengraswiesen	15-25 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Verminderte Biodiversität, Rückgang von Moosen
Bergheuwiesen	10-15 ^{c,d}	Zunahme stickstoffliebender Grasarten, verminderte Biodiversität
Subalpines Grasland	5-10 ^c	Veränderte Artenzusammensetzung, erhöhte Pflanzenproduktion
Nährstoffarme Flachmoore	10-15 ^c	Vermehrt Seggen und Gefässpflanzen; negative Auswirkungen auf Moose
Nährstoffreiche Flachmoore	15-30 ^c	Zunahme von hohen Gräsern, Rückgang von Moosen
Hochmoore	5-10 ^c	Zunahme von Gefässpflanzen; Veränderungen des Wachstums und der Artenzusammensetzung von Moosen; erhöhte Stickstoffkonzentration in Torf und Torfwasser
Seichte, oligotrophe See- und Teichufer (Strandlingsgesellschaft)	3-10 ^c	Veränderte Artenzusammensetzung der Makrophyten; erhöhte Algen-Produktivität; Verschiebung der Nährstofflimitierung von N zu P
Alpine oligotrophe Seen	3-5 ^e	Verschiebung der Phytoplankton-Vergesellschaftung; Phytoplankton-Produktion erhöht

^aDie Bandbreite gibt an, in welchem Bereich sich der Critical Load befindet. Der genaue Wert hängt vom lokalen Ökosystem (Artenvorkommen) sowie von lokalen Standortfaktoren ab (Bodenfaktoren, Feuchtigkeit, Höhe über Meer). Spezifische für die Schweizweite Kartierung verwendete Werte sind in BAFU 2016 aufgelistet (Tabellen 2 und 3). Zur Beurteilung von Einzelstandorten sind Experten beizuziehen.

^bDie empirischen Critical Loads für Wälder werden für naturnahe, nicht bewirtschaftete Wälder verwendet. Für bewirtschaftete Wälder werden standortspezifische Critical Loads mittels einer Massenbilanz gerechnet, wie sie im Methodenhandbuch der Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung vorgegeben ist (CLRTAP 2017, Kapitel V.3).

^cBobbink 2011

^dRoth 2017. Diese Schweizer Studie hat gezeigt, dass der Critical Load Bereich kleiner ist als die Experteneinschätzung in Bobbink 2011. Dementsprechend wurde dieser angepasst.

^eDe Wit 2010, ICP Waters Report 2010

Tabelle 3**Critical Levels für Ammoniak gemäss CLRTAP 2017**

Vegetationstyp	Critical Level NH₃ in µg m⁻³	Zeitperiode
Flechten und Moose (inklusive Ökosysteme, in welchen diese zentraler Bestandteil sind)	1	Jahresmittelwert
Höhere Pflanzen (inklusive Heiden, Weiden und Waldbodenvegetation)	2-4	Jahresmittelwert

In der Regel wurde für die Schweizer Kartierung für jeden Ökosystemtyp der Mittelwert des angegebenen Bereichs der empirischen Critical Loads und der Critical Levels verwendet. Bei der Festlegung wurde jedoch auch die Sensitivität spezifischer Lebensräume berücksichtigt. Eine detaillierte Übersicht der verwendeten empirischen Critical Loads für die kartierten Ökosysteme ist in BAFU 2016, Tabellen 2 und 3 aufgeführt.

Referenzen

BAFU und BLW 2011: Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Stand Mai 2012. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1101

BAFU und BLW 2012: Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1225

BAFU und BLW (Hrsg.) 2016: Biogasanlagen in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1626

BAFU 2016: Rihm B., Achermann B., Critical Loads of nitrogen and their Exceedances, Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies no. 1642

Bobbink R., Hetteling J.-P. (Hrsg.) 2011: Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop held from 23-25 June 2010 in Noordwijkerhout, The Netherlands. Coordination Center for Effects, National Institute for Public Health and Environment RIVM, Bilthoven, The Netherlands. ISBN 978-90-6960-251-6

CLRTAP 2017. Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads and Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends⁹. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution **Fehler! Hyperlink-Referenz ungültig.**

De Wit H.A, Lindholm M., 2010, ICP Waters Report 101/2010, Nutrient enrichment effects of atmospheric N deposition on biology in oligotrophic surface waters – a review. NIVA Report No. 6007-2010. Norwegian Institute for Water Research (NIVA), Oslo, 39 p.

EKL 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene (EKL). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, Ed.), Schriftenreihe Umwelt Nr. 384, Bern. 168 S.

EKL 2014: Ammoniak-Immissionen und Stickstoff-Einträge. Abklärungen der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene zur Beurteilung der Übermässigkeit. Bern 62 S.

Hegg O., Béguin C., Zoller H. 1993: Atlas schutzwürdiger Vegetationstypen der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Locher R., 2014, Validierung der Schweizer Ammoniak-Immissionskarte 2010¹⁰, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

⁹ <https://www.umweltbundesamt.de/en/manual-for-modelling-mapping-critical-loads-levels?parent=68093> (aufgerufen 7.2.2020)

¹⁰ <https://digitalcollection.zhaw.ch/handle/11475/125> (aufgerufen 7.2.2019)

Rihm 2019: Rihm B., Mapping Nitrogen Deposition 2015 for Switzerland, Technical report commissioned by the Federal Office for the Environment

Roth T., Kohli L., Rihm B., Meier R., Achermann B. 2017, Using change-point models to estimate empirical critical loads for nitrogen in mountain ecosystems, Environ Pollut, 220, p1480-1487

Seitler, E., Thöni, L., Meier, M., 2016. Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2014. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt BAFU, der OSTLUFT, der WSL und der Kantone AG, BE, BL, GE, GR, LU, NE, SO, SZ, TI, ZG und ZH. Forschungsstelle für Umweltbeobachtung, Rapperswil SG, Switzerland.

Seitler E., Thöni L., 2018, Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000-2017