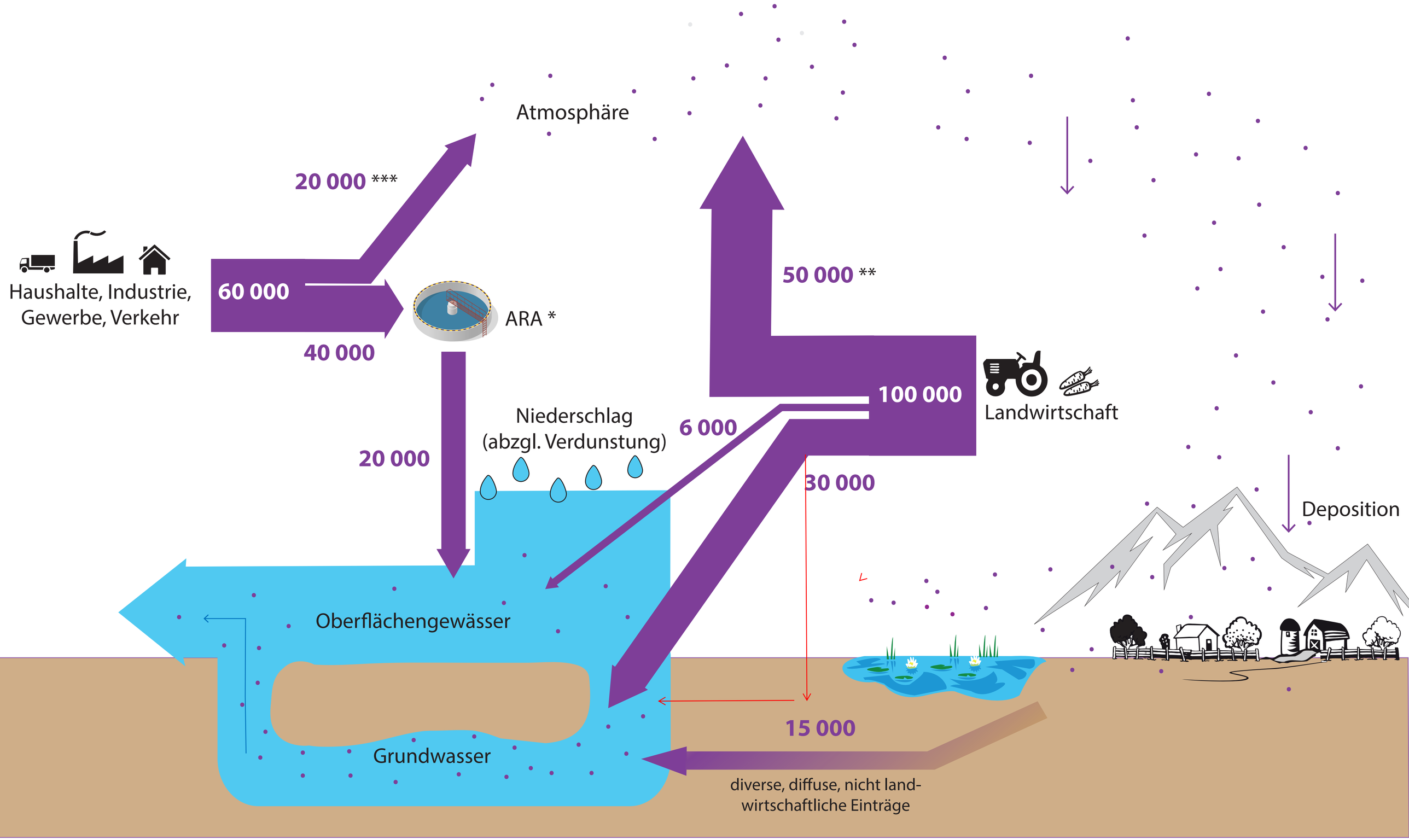
Flüsse der reaktiven Stickstoffverbindungen in t N/a



* In den ARAs entsteht 18 500 t nicht reaktiver Stickstoff (N_2), sowie 1 500 t Lachgas (N_2O).

** Zusammensetzung: 42 000 t Ammoniak und 8 000 t Lachgas

*** Zusammensetzung: 17 000 t Stickoxide und 3 000 t Ammoniak

KVU (AG Saul), Februar 2021

Vol. 15, No. 8, 2020

scnat
akademie der naturwissenschaften

swiss academies
factsheets

akademien-schweiz.ch

Übermässige Stickstoff- und Phosphoreinträge schädigen Biodiversität, Wald und Gewässer

In der Schweiz gelangt nach wie vor zu viel Stickstoff und Phosphor in die Umwelt. Kritische Belastungsgrenzen für Stickstoffeinträge in die Umwelt sind vielerorts deutlich überschritten. Vor allem die Stickstoff- und Phosphorüberschüsse der Landwirtschaft und die Stickstoffemissionen des Verkehrs belasten die Umwelt und beeinträchtigen die Biodiversität, die Luft, die Gewässer- und Trinkwasserqualität sowie die Waldfunktionen stark. Zudem verstärken sie den Klimawandel und beeinträchtigen die menschliche Gesundheit. Ursachen wie auch Auswirkungen der übermässigen Einträge sind wissenschaftlich seit Jahrzehnten gut dokumentiert. Allerdings ist kaum eines der diesbezüglichen vom Bundesrat verabschiedeten Reduktionsziele erreicht. Sollen die negativen Effekte auf die Biodiversität und Ökosystemleistungen verringert werden, sind die Ursachen für die übermässigen Einträge dringend anzugehen. Dieses Faktenblatt zeigt hierzu Handlungsansätze auf.

1. Tragfähigkeit der Ökosysteme

Die Wissenschaft hat planetare Grenzen identifiziert, innerhalb derer die Bedingungen für menschliches Leben stabil bleiben. Werden sie überschritten, sind die Lebensgrundlagen der Menschheit gefährdet. **Die planetaren Grenzen sind hinsichtlich Biodiversitätsverlust, Stickstoff- und Phosphorkreislauf bereits deutlich überschritten.**[1, 2]

Auch der Schweizer «Stickstoff-Fussabdruck» liegt deutlich über dem global tragbaren Niveau; der Schweizer «Phosphor-Fussabdruck» ist nicht quantifiziert.[3] Zudem sind in weiten Teilen der Schweiz kritische Belastungsgrenzen der Stickstoffeinträge aus der Luft überschritten (critical loads, d.h. Eintragsmengen, unterhalb derer nach dem Stand des Wissens keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt auftreten) (Abbildung 1).

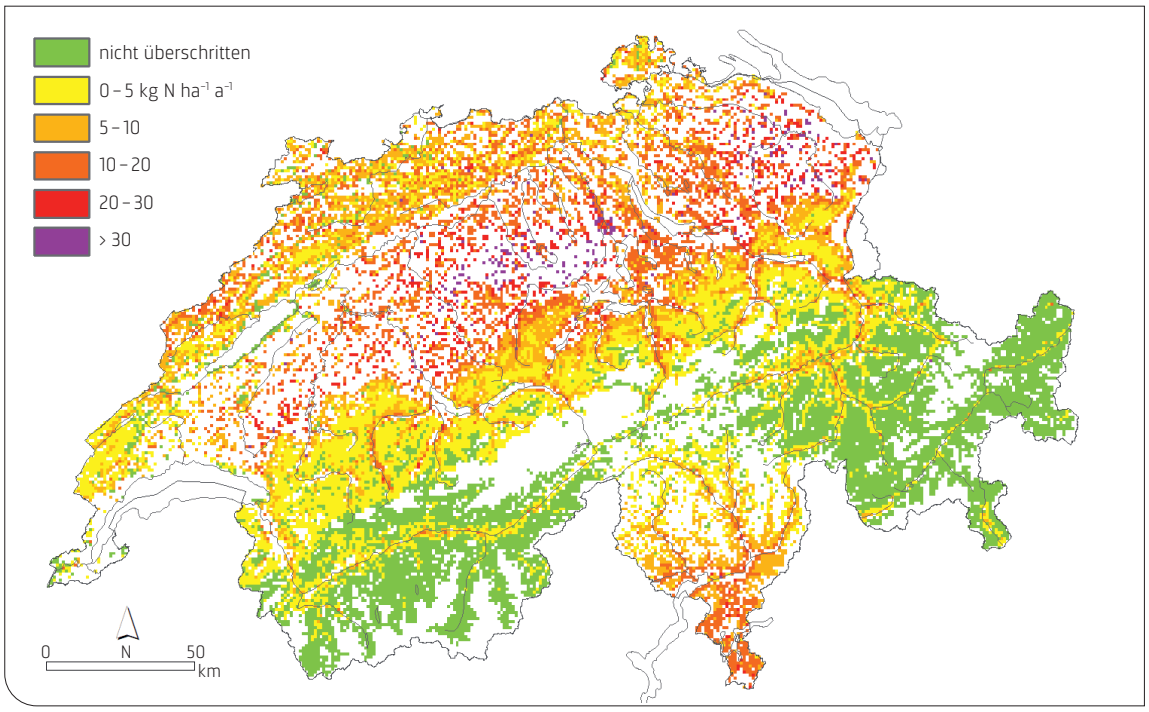


Abbildung 1: Überschreitung der kritischen Belastungsgrenzen für Stickstoffeinträge aus der Luft für das Jahr 2015: Auf den gelb, orange, rot und violett markierten Flächen sind die Einträge aus der Luft übermässig. Quelle: BAFU (Hrsg.) 2020[4]

2. Bestehende nationale und internationale Ziele

Unerwünschte Emissionen von Stickstoff gelangen hauptsächlich als Gase in Form von Ammoniak, Stickstoffoxiden und Lachgas sowie gelöst in Wasser als Nitrat in die Umwelt; Phosphor an feste Bestandteile gebunden oder gelöst in Wasser. Entsprechend beziehen sich nationale und internationale Ziele auf verschiedene Formen von Stickstoff und Phosphor.

Mit dem «Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes» vom 11.9.2009 hat der Bundesrat als Ziel eine Reduktion der Emissionen für Ammoniak um ca. 40 Prozent und für Stickoxide um ca. 50 Prozent im Vergleich zu 2005 festgelegt.[5] Für die Landwirtschaft wurden seit den 1990er-Jahren vom Bundesrat agrarpolitische Etappenziele zur Reduktion der Stickstoff- und Phosphorüberschüsse[6] und später der Ammoniak-Emissionen verabschiedet. Zusätzlich sind in den Umweltzielen Landwirtschaft auf Grundlage des geltenden Rechts Ziele formuliert zu Phosphor (Sauerstoffgehalt in Seen zu keiner Zeit und in keiner Seetiefe weniger als 4 mg/L[a]), zu Ammoniak-Emissionen (max. 25 000 t N/Jahr; –40 Prozent gegenüber 2005), zu Stickstoffeinträgen in Gewässer (–50% gegenüber 1985) und zu Lachgas (–33% bis 2050 gegenüber 1990). Keines dieser Umweltziele (mit Ausnahme der Ziele für Phosphor in einigen Seen) und keines der entsprechenden aktuellen agrarpolitischen Etappenziele wurden bisher erreicht.[7, 8]

Die Schweiz hat sich zudem im Rahmen von internationalen Verträgen (OSPAR, IKSR) dazu verpflichtet, angemessene Massnahmen zur Reduktion der Stickstoff- und Phosphoreinträge in Gewässer zu treffen.[9]

a Der Eintrag von Phosphor führt zu verstärktem Algenwachstum. Der Abbau dieser Biomasse benötigt Sauerstoff und führt zu Sauerstoffmangel in Seen und entsprechend negativen Auswirkungen auf Gewässerorganismen.

3. Emissionen, Einträge und kritische Belastungsgrenzen

Stickstoff

Der Stickstoffkreislauf der Schweiz wird insbesondere durch Futter- und Düngemittelimporte, Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung sowie Stickoxid-Emissionen aus Verbrennungsprozessen und Stickstoffeintrag in Gewässer angetrieben.[10–13]

Stickstoffhaltige Luftschadstoffe, die u.a. die menschliche Gesundheit und die Biodiversität beeinträchtigen, stammen in der Schweiz zu 70 Prozent von der Landwirtschaft, 18 Prozent vom Verkehr, 9 Prozent von Industrie und Gewerbe und 3 Prozent von den Haushalten.[7] Zwei Drittel des Stickstoffes, der in die Umwelt gelangt, wird durch Ammoniak-Emissionen der Landwirtschaft verursacht, wobei die Tierproduktion, angetrieben durch die Nachfrage nach Fleisch und Milchprodukten, 90 Prozent dazu beiträgt;[14] ca. ein Drittel stammt aus Stickoxid-Emissionen von Verbrennungsprozessen.[15] Lachgas, ein starkes Treibhausgas,[b] macht einen Anteil von rund 6 Prozent an den Treibhausgasemissionen der Schweiz aus, wovon ca. zwei Drittel aus der Landwirtschaft (Düngung und Hofdüngerbewirtschaftung) stammen.[16]

In grossen Teilen des Mittellandes und des Juras gelangt ein Vielfaches mehr an Stickstoff in die Lebensräume als unter natürlichen Bedingungen. Die natürliche Eintragsra-

b 1 kg Lachgas entspricht 298 kg CO_2-Äquivalenten

te im Schweizer Flachland wird basierend auf Messungen im Schweizer Hochgebirge[17] und im Norden Europas[18, 19] auf 0,5 – 5 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr geschätzt (Abbildung 2). 2015 betrug die durchschnittliche Eintragsrate in der Schweiz 15 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr,[20] war also 3 – 30 mal höher als die natürliche Eintragsrate. In den Schweizer Wäldern lag die durchschnittliche Eintragsrate 2015 gar bei 20 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr.[20] Je nach Standort schwankt dieser Wert zwischen 2 und über 65 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr.[21] Damit sind kritische Belastungsgrenzen für Stickstoffeinträge aus der Luft in der Schweiz in weiten Teilen der Schweiz und vielen Lebensräumen deutlich überschritten (Abbildung 1).[c]

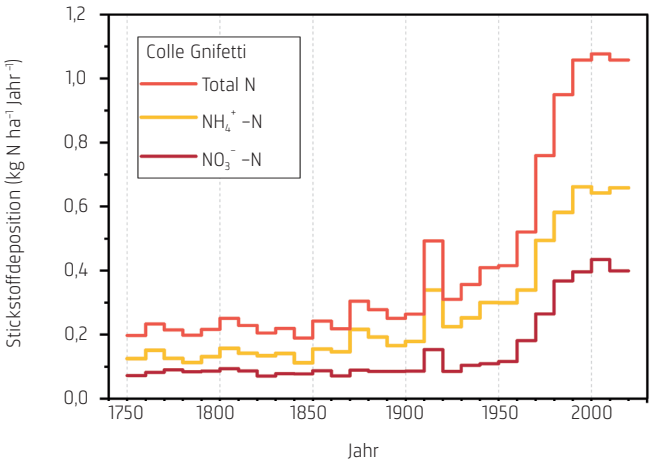


Abbildung 2: Auch hochalpine Standorte zeigen einen deutlichen Anstieg der Stickstoffeinträge, wie diese Zeitreihe der Stickstoffdeposition in den letzten 270 Jahren im Monte-Rosa Massiv zeigt. Die Einträge wurden aus einem Eiskern vom Colle Gnifetti in den Schweizer Alpen rekonstruiert und sind als Mittelwerte über 10 Jahre gezeigt. Auf diesem Gletscher bleibt geschätzt nur ca. 25% des Niederschlages liegen, der Rest wird weggeweht. Deshalb wird die Depositionsrate um ca. einen Faktor vier unterschätzt und ist nicht direkt mit der Depositionsrate im Mittelland vergleichbar. An hochalpinen Standorten sind zudem die jährlichen Variationen grösser als im Flachland, weil atmosphärischer Transport und Niederschlag stärker schwanken.
Grafik: Margit Schwikowski; Anja Eichler

Von den diffusen[d] Stickstoffeinträgen in Grund- und Oberflächengewässer stammen 65 Prozent von menschlichen Aktivitäten. Die dadurch verursachten Nitratwerte beeinträchtigen u. a. die (Trink)wasserqualität. Dabei stammen 38 Prozent vom gesamten Stickstoffeintrag in Gewässer aus dem Ackerland (inkl. Gemüsebau).[22]

Phosphor

Der Schweizer Phosphorhaushalt wird insbesondere durch die Land- und Abfallwirtschaft beeinflusst.[23] Jährlich werden ca. 16 500 t Phosphor in die Schweiz importiert, wovon 90 Prozent in der Landwirtschaft (Futtermittel, Mineraldünger) verwendet werden (Stand 2015). Exportiert werden hingegen nur ca. 4000 t pro Jahr. Für die Gewässerqualität und Biodiversität ist insbesondere der diffuse jährliche Eintrag von rund 900 t gelöstem direkt für Pflanzen verfügbare Phosphor in die Gewässer problematisch. Ackerland trägt 22 Prozent, Grünland und Obstbau 45 Prozent und Wald 16 Prozent zu diesen Einträgen bei.[22]

4. Auswirkungen übermässiger Stickstoff- und Phosphoreinträge

Übermässige Einträge von Stickstoff und/oder Phosphor in die Umwelt beeinträchtigen Gewässer-, (Trink-)Wasser-, Boden- und Luftqualität, Treibhausgasbilanz, Waldfunktionen, Biodiversität sowie die menschliche Gesundheit.[16, 24–28] In der Schweiz gehören übermässige Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Umwelt zu den Hauptgefährdungsursachen für die Biodiversität.

Die Auswirkungen auf die Biodiversität entstehen in Folge toxischer, eutrophierender[e] und versauernder Wirkung oder einer erhöhten Empfindlichkeit von Pflanzen auf Stress wie z. B. Trockenheit oder Krankheitserreger (Abbildung 3). Andere Faktoren wie Landnutzungsänderungen oder Klimawandel können die negativen Effekte verstärken. Wegen den flächendeckenden Stickstoffeinträgen über die Luft werden die Standortbedingungen weiträumig einheitlicher. Sehr häufige Pflanzenarten verdrängen in der Folge zahlreiche andere Pflanzenarten, die an stickstoffarme Bedingungen angepasst sind.[29–31] Ähnlich verhält es sich mit übermässigen Phosphoreinträgen in Gewässer: Endemische Fischarten sterben aus und Generalisten breiten sich aus.[32] Regionale Besonderheiten gehen dadurch verloren und die Lebensräume verarmen grossflächig. Diese Problematik ist im Mittelland und in Tallagen bereits weit fortgeschritten und beschleunigt sich auch in Berggebieten stark.[33, 34] Die negativen Auswirkungen auf die Biodiversität sind häufig irreversibel.[24, 32]

Stickstoff- und Phosphorüberschüsse verändern Artenzahlen, die Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften, Interaktionen zwischen Arten sowie Ökosystemprozess.[24] Dies führt nicht nur zum Verschwinden von Arten und zum Verlust genetischer und funktioneller Diversität, sondern beeinträchtigt auch Ökosystemleistungen. So reduzieren Nitrateinträge ins Grundwasser dessen Nutzbarkeit als Trinkwasser stark und können hohe Kosten verursachen.

Externe Kosten der übermässigen Stickstoff- und Phosphoreinträge

Die Emissionen von Ammoniak, Stickoxiden, Lachgas und Nitrat führen in der Schweiz zu externen Kosten im Bereich von 860 bis 4300 Millionen CHF pro Jahr[f] (Emissionssituation 2014; Berechnungsansatz gemäss European Nitrogen Assessment[24]).[35, 36] Die Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung sind dabei am grössten. Des Weiteren sind Auswirkungen auf das Klima, auf Wasser- und Landlebensräume sowie die Trinkwasserbelastung und die Schädigung der Ozonschicht berücksichtigt. Die Emissionen der Landwirtschaft tragen zu

c Kritische Belastungsgrenzen von Stickstoff [kg N ha^{-1} $Jahr^{-1}$] für Gewässer 3 – 20; Hochmoore 5–10; Flachmoore und artenreiche Wiesen 10 – 30; Nadelwälder 5 – 15; Laubwälder 10 – 20.[25]

d Einträge in Gewässer, welche nicht über ungereinigtes oder gereinigtes Abwasser (Kläranlagen, Regenüberläufe) erfolgen.

e Anreicherung von Stickstoff oder Phosphor in Lebensräumen mit unerwünschten Auswirkungen auf die Biodiversität und Wasserqualität.

f Die grosse Spannweite resultiert insbesondere aus Unsicherheiten bei Dosis-Wirkungsbeziehungen, bei Kosten zur Reduktion der Auswirkungen sowie der Schätzung des Anteils von Stickstoff an den Auswirkungen[24]

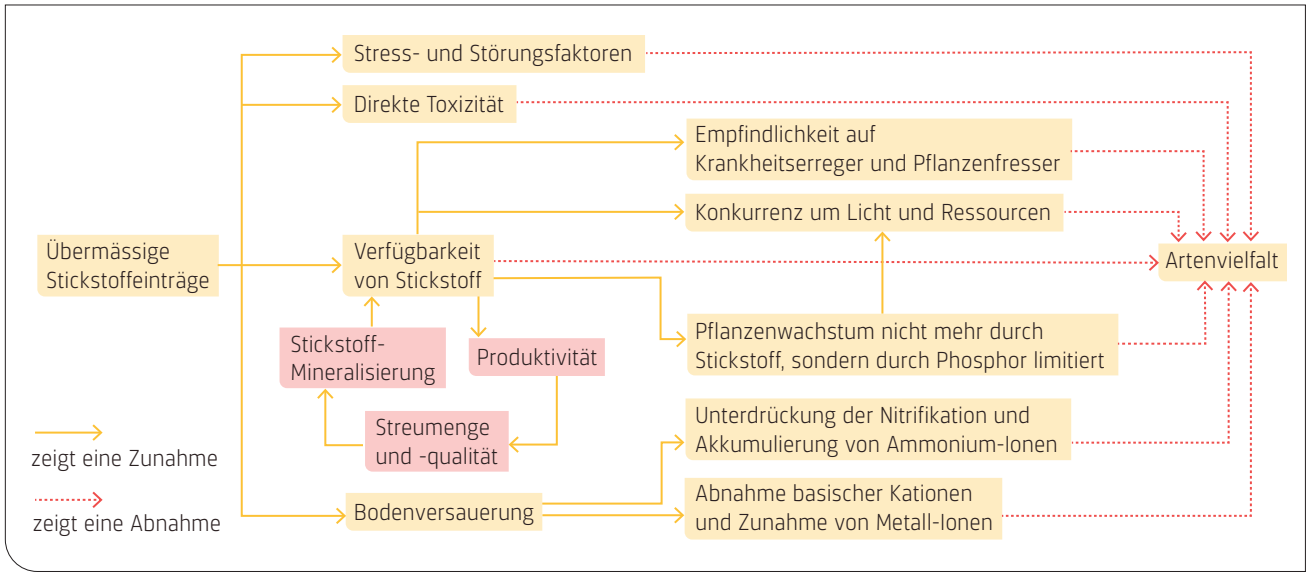


Abbildung 3: Auswirkungen übermässiger Stickstoffeinträge auf die Artenvielfalt.
Angepasst von Dise et al.[70] in The European Nitrogen Assessment;[24] reproduziert mit Genehmigung von Cambridge University Press PLSclear.

diesen Kosten 60 – 70 Prozent bzw. 516 bis 2580 Mio. CHF pro Jahr bei.

Die Kosten für die Belüftung von Seen (Sauerstoffeinsatz), die wegen der Phosphorüberschüsse der Landwirtschaft anfallen, werden von Avenir Suisse für 2015 auf 275 Mio. CHF geschätzt.[37] Dabei sind weitere Ausgaben für die Belüftungsanlagen sowie weitere Umweltkosten nicht berücksichtigt.

Auswirkungen auf ausgewählte Lebensräume, Artengruppen und Ökosystemleistungen

Gewässer und Trinkwasser

Übermässige Stickstoffeinträge haben direkt negative Auswirkungen auf die Gewässer- und Trinkwasserqualität; einige Gewässerorganismen reagieren darauf sehr empfindlich.[38] Auch wenn sich die Qualität der Oberflächengewässer im Vergleich zu den 1970 – 1980er-Jahren stark verbessert hat, treten an Messstellen nach wie vor Überschreitungen der Zielvorgaben für Nitrat auf. **Im Grundwasser wurde von 2007 bis 2014 der Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung (max. 25 mg Nitrat/L) für Gewässer zur Trinkwassernutzung an 15 – 20 Prozent der Messstellen (vorwiegend im Mittelland) überschritten; an 80 Prozent der Messstellen im Mittelland ist er erhöht.** In Ackerbaugebieten ist der Nitratwert im Grundwasser an ca. 40 Prozent der Messstellen zu hoch.[26]

Die übermässigen Phosphoreinträge in Seen vor allem in den 1950er- bis 1980er-Jahren haben neben grossen Problemen hinsichtlich der Gewässerqualität auch zu veränderten Lebensgemeinschaften, zu Fischsterben und zum Aussterben von endemischen Fischarten und anderen Gewässerorganismen in den Schweizer Seen geführt.[39 – 42] Seither sind insbesondere dank Phosphatverbot in Waschmitteln und dem Ausbau der Kläranlagen die Phosphatkonzentrationen in vielen Seen deutlich gesunken. Doch in mehreren grösseren Seen und vielen Kleinseen mit umgebender landwirtschaftlicher Nutzung sind die Phosphoreinträge nach wie vor zu hoch[7] und verursachen Algenwachstum und unerwünschte Veränderungen im Nahrungsnetz. Ebenso sind Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser einiger Seen in Folge der Phosphoreinträge aus früheren Jahren und der Anreicherung von Phosphor im Sediment zu gering oder erreichen nur dank Belüftungs- oder Zirkulationshilfen die numerischen Anforderungen der GSchV.[7] Doch auch mit diesen Symptombekämpfungen ist in vielen Seen eine Naturverlaichung der Fische im Tiefenwasser wegen Sauerstoffmangels bis heute nicht möglich.

Die negativen Effekte der übermässigen Stickstoff- und Phosphoreinträge und die diesbezügliche Situation der Seen und des Grundwassers könnten sich durch den Klimawandel, die dadurch entstehende Trockenheit sowie Erwärmung der Gewässer zusätzlich verschlimmern.[26, 27]

Böden

Stickstoffeinträge können zu einer Bodenversauerung mit unerwünschten Folgen in Lebensräumen führen.[24] In der Schweiz tragen die Stickstoffeinträge heute mit ca. 85 Prozent zu den versauernden Einträgen bei.[43]

Wald

Kritische Belastungsgrenzen der Stickstoffdeposition sind auf rund 90 Prozent der Schweizer Waldfläche überschritten; dies insbesondere im Mittelland und Tessin, an der Alpennordflanke sowie im Jura.[20] Die Quantifizierung der Auswirkungen von Stickstoffeinträgen in Wälder ist schwierig,[44] und kritische Belastungsgrenzen für einige Organismen(gruppen) wie z. B. Mykorrhiza liegen sehr wahrscheinlich tiefer als bisher angenommen.[45] Die übermässigen Stickstoffeinträge und die dadurch entstehende Nährstoffungleichgewichte und Bodenversauerung verändern Mykorrhiza-Gemeinschaften, stören ihre Symbiose mit Bäumen sowie die Nährstoffversorgung der Bäume.[28, 46] Sie hemmen die Tiefendurchwurzelung und das Wachstum von Feinwurzeln[47] und beeinträchtigen dadurch die Baumvitalität und auf Standorten mit Stickstoffeinträgen über 30 kg Stickstoff pro Hektare und Jahr auch den Holzzuwachs.[48, 49] Weiter wurde eine erhöhte Anfälligkeit

der Bäume auf Parasiten beobachtet.[47] Im Zusammenhang mit der Bodenversauerung wird zudem eine höhere Anfälligkeit auf Trockenheit und Windwurf festgestellt.[50, 51] **Dies kann die Funktion der Schutzwälder gefährden und ist im Kontext des Klimawandels relevant. Waldböden sorgen des Weiteren für sauberes Trinkwasser. Fortlaufend hohe Stickstoffdeposition gefährdet diese Filterwirkung.**[52]

Wiesen, Weiden und Moore

Kritische Belastungsgrenzen der Stickstoffdeposition sind auf fast allen Hochmooren, auf drei Viertel der Flachmoore und auf einem Drittel der Trockenwiesen und -weiden der Schweiz überschritten.[20] Das Biodiversitätsmonitoring Schweiz zeigt, dass die Artenvielfalt verschiedener Organismengruppen in Wiesen und Weiden mit zunehmender Stickstoffdeposition abnimmt.[34, 53] In Mooren beeinträchtigt dies neben der Biodiversität auch die Funktion als Kohlenstoffspeicher, wodurch mehr Treibhausgase freigesetzt werden.[24] Trotz verfassungsmässigem Schutz sind die Moore auch in den letzten 15–20 Jahren deutlich nährstoffreicher geworden, was zu unerwünschten Veränderungen der typischen Lebensgemeinschaften geführt hat.[54]

Insekten

Die Anreicherung von Stickstoff in Lebensräumen wirkt sich durch Veränderung der Pflanzengemeinschaften, der Vegetationsstruktur und der veränderten Nutzung (z. B. intensiveres Mahdregime) indirekt negativ auf Insekten und andere Tiere aus.[25, 29, 55–58] Für Insekten führt dies in vielen Fällen zu einer Verschlechterung der Lebensraumqualität, wie etwa einem ungeeigneteren Mikroklima[59, 60] oder einer Abnahme von Nahrungsangebot und -qualität.[61, 62]

Spezialisierte Insektenarten, die auf eine oder wenige Pflanzenarten angewiesen sind, sind durch den Stickstoffeintrag besonders bedroht.[63, 64] Sie verlieren durch das Verschwinden dieser Pflanzenarten in Folge der Stickstoffeinträge ihre Lebensgrundlage. Generell sinkt in Landlebensräumen die Diversität von Pflanzen und dazugehörigen Insektenpopulationen mit zunehmendem Stickstoffeintrag.[25, 65, 66]

5. Handlungsansätze

Um die vom Bundesrat gesetzten Ziele zu erreichen und den Zustand der Biodiversität, die Gewässer-, Trinkwasser-, Boden- und Luftqualität zu verbessern, Waldfunktionen zu erhalten, den Beitrag der Schweiz zum Klimawandel zu reduzieren sowie das Risiko für die menschliche Gesundheit zu verringern, sind Stickstoff- und Phosphorüberschüsse sowie -emissionen dringend deutlich zu reduzieren.

Für Erfolge ist es unumgänglich, die Stickstoff- und Phosphorkreisläufe mittels einer Kombination von Massnahmen zu optimieren (Box). Diese sollten möglichst an der Quelle ansetzen. Gesamtheitliche, umweltbereichs- und sektorübergreifende Ansätze sind am besten geeignet: Damit lassen sich tendenziell höhere und effizientere Emissionsreduktionen erreichen und Synergien nutzen. Zudem lässt sich so die Verlagerung von Problemen, z. B. von einer Stickstoffform zur anderen oder vom In- ins Ausland, vermeiden.[24, 67] Dabei trägt eine gute Zusammenarbeit der Akteure auf nationaler und kantonaler Ebene sowie zwischen Praxis, Vollzug und Wissenschaft wesentlich zum Erfolg bei. Ebenso wichtig ist die fachliche und in gewissen Fällen finanzielle Unterstützung der Betroffenen bei der Umsetzung von Massnahmen.

Box: Handlungsansätze zur Reduktion der übermässigen Stickstoff- und Phosphoreinträge[24, 38, 68, 69]

- **Erhaltung wertvoller Gebiete:** Vermeidung von neuen, zusätzlichen Stickstoff- und Phosphoreinträgen in intakte, noch wenig belastete Gebiete.
- **Konsum:** Förderung eines höheren Anteils pflanzlicher im Vergleich zu tierischen Proteinen in der menschlichen Ernährung, eines suffizienten, umweltbewussten Konsumverhaltens sowie Reduktion von Nahrungsmittelverlusten.
- **Produktionsintensität:** Anpassung der landwirtschaftlichen Produktionsintensität an das Potenzial und die ökologische Tragfähigkeit des Standortes. Tierbestände und -rassen an der regionalen Futterbasis des Grünlandes ausrichten sowie Einsatz und Import von Kraftfutter verringern; Einsatz und Import von Stickstoff- und Phosphordünger im Pflanzen- und Futterbau reduzieren.
- **Pflanzliche Kalorienproduktion:** Steigerung des Anteils pflanzlicher im Vergleich zu tierischen Kalorien an der Kalorienproduktion in der Schweiz.
- **Subventionen:** Abschaffung oder Umgestaltung von Subventionen, welche direkt oder indirekt Stickstoff- und Phosphorüberschüsse sowie -emissionen verursachen, wie z. B. Subventionen, welche hohe Nutztierbestände fördern.
- **Organisatorische und technische Massnahmen in der Landwirtschaft:** Verringerung von Stickstoff- und Phosphorüberschüssen sowie -emissionen durch organisatorische und technische Massnahmen in der Landwirtschaft wie z. B. Verbreitung von Praktiken, welche die Stickstoff- und Phosphorauswaschung vermindern.
- **Verkehr, Industrie, Gewerbe:** Verringerung von Emissionen durch planerische und technische Massnahmen.

6. Fazit

Die Ursachen und das Ausmass der übermässigen Stickstoff- und Phosphoreinträge in der Schweiz sind gut bekannt. Ihre stark negativen Auswirkungen auf die Biodiversität, die Qualität von Gewässern, Trinkwasser, Böden und der Luft sowie auf die Waldfunktionen, das Klima und die menschliche Gesundheit sind wissenschaftlich umfassend belegt. Der aktuelle Stand des Wissens erlaubt es, Massnahmen gut abzustützen. Die wissenschaftlichen Daten zeigen, dass für das Erreichen national und international gesetzter Ziele und die Vermeidung hoher externer Kosten ein rasches Handeln der Akteure auf nationaler und kantonaler Ebene wichtig ist. Damit deutlich wird, welche Massnahmen erfolgreich und wo weitere Kurskorrekturen nötig sind, müssen transparent erhobene Indikatoren und messbare, verbindliche Ziele gesetzt werden, deren Erreichung regelmässig überprüft wird.

SDGs: Die internationalen Nachhaltigkeitsziele der UNO

Mit dieser Publikation leistet die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz einen Beitrag zu SDGs 2, 3, 6, 11, 12, 13, 14:
«Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern», «Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern», «Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten», «Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten», «Für nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sorgen», «Umgehend Massnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen», «Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen» und «Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern».

› sustainabledevelopment.un.org
› eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html

1 – 70 Eine Version dieses Factsheets mit Literaturangaben ist erhältlich unter biodiversitaet.scnat.ch/publications/factsheets

IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN UND KONTAKT
Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) •
Forum Biodiversität Schweiz • Haus der Akademien •
Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern • Schweiz •
Tel. +41 31 306 93 40 • biodiversity@scnat.ch • biodiversitaet.ch

Jodok Guntern, Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forum Biodiversität:
jodok.guntern@scnat.ch

Prof. Dr. Florian Altermatt, Präsident Forum Biodiversität:
florian.altermatt@eawag.ch

ZITIERVORSCHLAG
Guntern J et al. (2020) Übermässige Stickstoff- und Phosphoreinträge schädigen Biodiversität, Wald und Gewässer. Swiss Academies Factsheet 15 (8)

AUTORINNEN UND AUTOREN
Jodok Guntern (Forum Biodiversität Schweiz, SCNAT) • Anja Eichler (PSI) • Frank Hagedorn (WSL) • Loïc Pellissier (ETH Zürich, WSL) • Margit Schwikowski (PSI) • Ole Seehausen (Universität Bern, Eawag) • Christian Stamm (Eawag) • Marcel van der Heijden (Agroscope, Universität Zürich) • Peter Waldner (WSL) • Ivo Widmer (Forum Biodiversität Schweiz, SCNAT) • Florian Altermatt (Universität Zürich, Eawag)

REDAKTION
Daniela Pauli (Forum Biodiversität Schweiz, SCNAT) • Marcel Falk (SCNAT)

ILLUSTRATIONEN
Monika Rohner

LAYOUT
Olivia Zwygart (SCNAT)

ISSN (print): 2297–1580
ISSN (online): 2297–1599

DOI: 10.5281/zenodo.4269631

CC BY NC ND

Cradle to Cradle™-zertifiziertes und klimaneutrales Faktenblatt gedruckt durch die Vögeli AG in Langnau.

CERTIFIED cradle to cradle GOLD

Literatur

1 Rockström J, Steffen WL, Noone K, Persson A, Chapin III FS (2009) **A safe operating space for humanity.** Nature 461: 472–475.

2 Steffen W, Richardson K, Rockström J, et al (2015) **Planetary Boundaries: Guiding human development on a changing planet.** Science 347: 1259855.

3 Dao H, Peduzzi P, Chatenoux B, De Bono A, Schwarzer S, Friot D (2015) **Environmental Limits and Swiss Footprints Based on Planetary Boundaries.** A study commissioned by the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN).

4 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.

5 Schweizerischer Bundesrat (2009) **Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes.**

6 Herzog F, Prasuhn V, Spiess E, Richner W (2008) **Environmental cross-compliance mitigates nitrogen and phosphorus pollution from Swiss agriculture.** Environmental Science and Policy 11: 655–668.

7 BAFU, BLW (2016) **Umweltziele Landwirtschaft.** Statusbericht 2016.

8 Schweizerischer Bundesrat (2020) **Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolotik ab 2022 (AP22+).**

9 BAFU (2014) **Grundlagenpapier zur Stickstoffproblematik Luft, Boden, Wasser, Biodiversität und Klima.**

10 Heldstab J, Leippert F, Biedermann R, Schwank O (2013) **Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020.** Stoffflussanalyse und Entwicklungen.

11 Heldstab J, Reutimann J, Biedermann R, Leu D (2010) **Stickstoffflüsse in der Schweiz Stoffflussanalyse für das Jahr 2005.**

12 Herzog F, Richner W (2005) **Evaluation der Ökomassnahmen – Bereich Stickstoff und Phosphor.**

13 Reutimann J, Heldstab J, Leippert F (2013) **Stickstoff in der Land- & Ernährungswirtschaft: Stickstoffflüsse, Verluste und Reduktionspotentiale.**

14 Kupper T, Bonjour C, Achermann B, Rihm B, Zaucker F, Menzi H (2013) **Ammoniakemissionen in der Schweiz 1990–2010 und Prognose bis 2020**.

15 EKL (2014) **Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge.** Abklärungen der EKL zur Beurteilung der Übermässigkeit.

16 BAFU (2020) **Kenngrössen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2018.**

17 Schwikowski M (2016) **40 Jahre Eiskernforschung auf dem Colle Gnifetti.** GeoPanorma 26–29.

18 Akselsson C, Belyazid S, Hellsten S, Klarqvist M, Pihl-Karlsson G, Karlsson PE, Lundin L (2010) **Assessing the risk of N leaching from forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden.** Environmental Pollution 158: 3588–3595.

19 Binkley D, Högberg P (1997) **Does atmospheric deposition of nitrogen threaten Swedish forests?** Forest Ecology and Management 92: 119–152.

20 Rihm B, Künzle T (2019) **Mapping Nitrogen Deposition 2015 for Switzerland – Technical Report on the Update of Critical Loads and Exceedance, including the years 1990, 2000, 2005 and 2010.**

21 Rihm B, Achermann B (2016) **Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances.** Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE).

22 Hürdler J, Spiess E, Prasuhn V (2015) **Diffuse Nährstoffeinträge in Gewässer.** Aqua & Gas 66–78.

23 Binder CR, de Baan L, Wittmer D (2009) **Phosphorflüsse der Schweiz. Stand Risiken und Handlungsoptionen.**

24 Sutton MA, Howard CM, Eirsman JW, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, van Grinsven H, Grizzetti B (2011) **The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives.**

25 Bobbink R, Hettelingh J-P (2011) **Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships.** Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. UNECE Coordination Centre for Effects, pp 23-25.

26 26. BAFU (2019) Z**ustand und Entwicklung Grundwasser Schweiz.** Ergebnisse der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA, Stand 2016. Umwelt-Zustand Nr 1901 138.

27 Kiefer I, Steinsberger T, Wüest A, Müller B (2020) **Sauerstoffzehrung in Seen.** Aqua & Gas 7/8: 62–70.

28 de Witte LC, Rosenstock NP, van der Linde S, Braun S (2017) **Nitrogen deposition changes ectomycorrhizal communities in Swiss beech forests.** Science of the Total Environment 605: 1083–1096.

29 Hautier Y, Niklaus P, Hector A (2009) **Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication.** Science 324: 636–638.

30 Bobbink R, Hicks K, Galloway J, Spranger T, Alkemade R, Ashmore M, Bustamante M, Cinderby S, Davidson E, Dentener F, Emmett B, Erisman JW, Fenn M, Gilliam F, Nordin A, Pardo L, De Vries W (2010) **Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis.** Ecological Applications 20: 30–59.

31 Staude IR, Waller DM, Bernhardt-Römermann M, et al (2020) **Replacements of small- by large-ranged species scale up to diversity loss in Europe's temperate forest biome.** Nature Ecology and Evolution 4: 802–808.

32 Alexander TJ, Vonlanthen P, Seehausen O (2016) **Does eutrophication-driven evolution change aquatic ecosystems?** Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 372: 20160041.

33 Graf R, Müller M, Korner P, Jenny M, Jenni L (2014) **20% loss of unimproved farmland in 22 years in the Engadin, Swiss Alps.** Agriculture, Ecosystems & Environment 185: 48–58.

34 Roth T, Kohli L, Rihm B, Achermann B (2013) **Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland.** Agriculture, Ecosystems & Environ-ment 178: 121–126.

35 Dümmler P, Roten N (2018) **Eine Agrarpolitik mit Zukunft.** Avenir Suisse.

36 Schweizerischer Bundesrat (2016) **Antwort des Bundesrates vom 17. August 2016 auf die Interpellation 16.3512.**

37 Dümmler P, Anthamatten J (2020) **Weiterhin wachsende Kosten der Landwirtschaft. Avenir Suisse.**

38 SRU (2015) **Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängendes Umweltproblem.** Sondergutachten.

39 Makri S, Lami A, Lods-Crozet B, Loizeau JL (2019) **Reconstruction of trophic state shifts over the past 90 years in a eutrophicated lake in western Switzerland, inferred from the sedimentary record of photosynthetic pigments.** Journal of Paleolimnology 61: 129–145.

40 Vonlanthen P, Bittner D, Hudson a G, Young K a, Müller R, Lundsgaard-Hansen B, Roy D, Di Piazza S, Largiadèr CR, Seehausen O (2012) **Eutrophication causes speciation reversal in whitefish adaptive radiations.** Nature 482: 357–62.

41 Spaak P (2012) **Wie Nährstoffe Gewässer verändern.** EAWAG News 72: 4–7.

42 Auderset Joye D, Schwarzer A (2012) **Rote Liste Armleuchteralgen.** Gefährdete Arten der Schweiz. Stand 2010.

43 Augustin S, Achermann B (2012) **Deposition von Luftschadstoffen in der Schweiz: Entwicklung, aktueller Stand und Bewertung.** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 163: 323–330.

44 Thimonier A, Kosonen Z, Braun S, Rihm B, Schleppi P, Schmitt M, Seitler E, Waldner P, Thöni L (2019) **Total deposition of nitrogen in Swiss forests: Comparison of assessment methods and evaluation of changes over two decades.** Atmospheric Environment 198: 335–350.

45 van der Linde S, Suz LM, Orme CDL, et al (2018) **Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi.** Nature 558: 243–248.

46 Krüger I, Sanders T, Potocic N, Ukonmaanaho L, Rautio P (2020) **Increased evidence of nutrient imbalances in forest trees across Europe.** ICP Forests Brief No. 4.

47 Braun S, Rihm B, Flückiger W (2012) **Stickstoffeinträge in den Schweizer Wald: Ausmass und Auswirkungen.** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 163: 355–362.

48 Etzold S, Ferretti M, Reinds GJ, et al (2020) **Nitrogen deposition is the most important environmental driver of growth of pure, even-aged and managed European forests.** Forest Ecology and Management 458: 117762.

49 de Witte LC, Braun S, Hopf S (2018) **Zu viel Stickstoff im Wald. Wald und Holz 29–31.**

50 Mayer P, Brang P, Dobbertin M, Hallenbarter D, Renaud J-P, Walthert L, Zimmermann S (2005) **Forest storm damage is more frequent on acidic soils.** Annals of Forest Science 62: 303.

51 Braun S, Schindler C, Volz R, Flückiger W (2003) **Forest damages by the storm «Lothar» in permanent observation plots in Switzerland: The significance of soil acidification and nitrogen deposition.** Water, Air, and Soil Pollution 142: 327–340.

52 Waldner P, Braun S, Kurz D, Thimonier A (2016) **Nährstoffflüsse im Wald mit Fokus auf Stickstoff und basische Kationen**. In: Pluess AR, Augustin S, Brang P (eds) Wald im Klimawandel. Grundlagen für Adaptionsstrategien. Bundesamt für Umwelt (BAFU); Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Haupt-Verlag, 61–745.

53 Koordinationsstelle BDM (2011) **Stickstoffeintrag aus der Luft verändert Vielfalt.** BDM-FACTS 3: 1–4.

54 Bergamini A, Ginzler C, Schmidt BR, Bedolla A, Boch S, Ecker K, Graf U, Küchler H, Küchler M, Dosch O, Holderegger R (2019) **Zustand und Entwicklung der Biotope von nationaler Bedeutung: Resultate 2011–2017 der Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz.**

55 Pöyry J, Carvalheiro LG, Heikkinen RK, Kühn I, Kuussaari M, Schweiger O, Valtonen A, van Bodegom PM, Franzén M (2017) **The effects of soil eutrophication propagate to higher trophic levels.** Global Ecology and Biogeography 26: 18–30.

56 Nijssen ME, WallisDeVries MF, Siepel H (2017) **Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna.** Biological Conservation 212: 423–431.

57 Farrer EC, Suding KN (2016) **Teasing apart plant community responses to N enrichment: the roles of resource limitation, competition and soil microbes.** Ecology letters 19: 1287–1296.

58 Cleland EE, Harpole WS (2010) **Nitrogen enrichment and plant communities.** Annals of the New York Academy of Sciences 1195: 46–61.

59 WallisDeVries MF, van Swaay CAM (2006) **Global warming and excess nitrogen may induce butterfly decline by micro-climatic cooling.** Global Change Biology 12: 1620–1626.

60 Klop E, Omon B, WallisDeVries MF (2015) **Impact of nitrogen deposition on larval habitats: the case of the Wall Brown butterfly Lasiommata megera.** Journal of Insect Conservation 19: 393–402.

61 Kurze S, Heinken T, Fartmann T (2018) **Nitrogen enrichment in host plants increases the mortality of common Lepi-doptera species.** Oecologia 188: 1227–1237.

62 Lebeau J, Wesselingh RA, Van Dyck H (2016) **Floral resource limitation severely reduces butterfly survival, condition and flight activity in simplified agricultural landscapes.** Oecologia 180: 421–427.

63 Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG (2019) **Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers.** Biological Conservation 232: 8–27.

64 Biesmeijer JC, Roberts SPM, Reemer M, Ohlemüller R, Edwards M, Peeters T, Schaffers a P, Potts SG, Kleukers R, Thomas CD, Settele J, Kunin WE (2006) **Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands.** Science 313: 351–354.

65 Stevens CJ, Duprè C, Dorland E, Gaudnik C, Gowing DJG, Bleeker A, Diekmann M, Alard D, Bobbink R, Fowler D, Corcket E, Mountford JO, Vandvik V, Aarrestad PA, Muller S, Dise NB (2010) **Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe.** Environmental Pollution 158: 2940–2945.

66 Öckinger E, Hammarstedt O, Nilsson SG, Smith HG (2006) **The relationship between local extinctions of grassland butterflies and increased soil nitrogen levels.** Biological Conservation 128: 564–573.

67 Schmidt A, Mann S, Mack G (2017) I**nstrumente Evaluation Stickstoff (IES).** Schlussbericht.

68 Gubler L, Ismail S, Seidl I (2020) **Biodiversitätsschädigende Subventionen in der Schweiz.** Swiss Academies Factsheet 15 (7)

69 Tilman D, Clark M (2014) **Global diets link environmental sustainability and human health.** Nature 515: 518–522.

70 Dise NB, Ashmore M, Belyazid S, Bleeker A, Bobbink R, de Vries W, Erisman JW, Spranger T, Stevens CJ, van den Berg L (2011) **Nitrogen as a threat to European terrestrial biodiversity.** In Sutton MA, Howard CM, Eirsman JW, Billen G, Bleeker A, Grennfelt P, van Grinsven H, Grizzetti B (eds) (2011) The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives. Cambridge University Press.