



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt BAFU

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

14.07.2014

Grundlagenpapier zur Stickstoffproblematik Luft, Boden, Wasser, Biodiversität und Klima

Referenz/Aktenzeichen: N281-1904

Kontakt:

Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien

Sektion Luftqualität

3003 Bern

luftreinhaltung@bafu.admin.ch

Inhalt

1	EINLEITUNG	3
2	QUELLEN UND VERURSACHER	5
3	EMISSIONEN VON STICKSTOFFVERBINDUNGEN.....	8
3.1	ATMOSPHERE	8
3.2	WASSER.....	9
4	STICKSTOFFVERBINDUNGEN IN DER UMWELT	10
4.1	ATMOSPHERE	10
4.2	WASSER.....	13
5	AUSWIRKUNGEN	15
5.1	AUSWIRKUNGEN AUF DIE MENSCHLICHE GESUNDHEIT	15
5.2	AUSWIRKUNGEN AUF ÖKOSYSTEME UND BIODIVERSITÄT	15
5.3	AUSWIRKUNGEN AUF DEN BODEN.....	18
5.4	AUSWIRKUNGEN AUF DAS GRUNDWASSER.....	20
5.5	AUSWIRKUNGEN AUF DIE MEERE (NORDSEE, MITTELMEER).....	20
5.6	AUSWIRKUNGEN AUF DAS KLIMA UND DIE STRATOSPHERISCHE OZONSCHICHT.....	21
6	REDUKTIONSZIELE UND HANDLUNGSBEDARF	22
6.1	LUFTREINHALTUNG.....	22
6.2	GEWÄSSERSCHUTZ	26
6.3	BODENSCHUTZ.....	28
7	SCHLUSSFOLGERUNG	29
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	30

1 Einleitung

Stickstoff (N) in seinen verschiedenen chemischen Verbindungen spielt bei einer Vielzahl von Umweltproblemen eine wesentliche Rolle. Stickstoffverbindungen, die durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre und ins Wasser ausgestossen und über kürzere und längere Distanzen verfrachtet werden, tragen zur Versauerung und Eutrophierung von Böden, Grundwasser, Oberflächengewässern und sogar der Meere bei. Beeinträchtigt werden die Funktionen und die Vitalität von zahlreichen empfindlichen Ökosystemen, deren Biodiversität sowie deren Qualität. Stickstoffverbindungen sind auch von grosser Bedeutung bei der Bildung des bodennahen Ozons und weiterer Photooxidantien, die vor allem während Sommersmogepisoden in erhöhten Konzentrationen auftreten. Diese Folgeschadstoffe haben Auswirkungen auf die Vegetation und die menschliche Gesundheit. Stickstoffverbindungen tragen überdies zur Bildung sekundärer Aerosole bei, die Bestandteil des lungengängigen Feinstaubes sind.

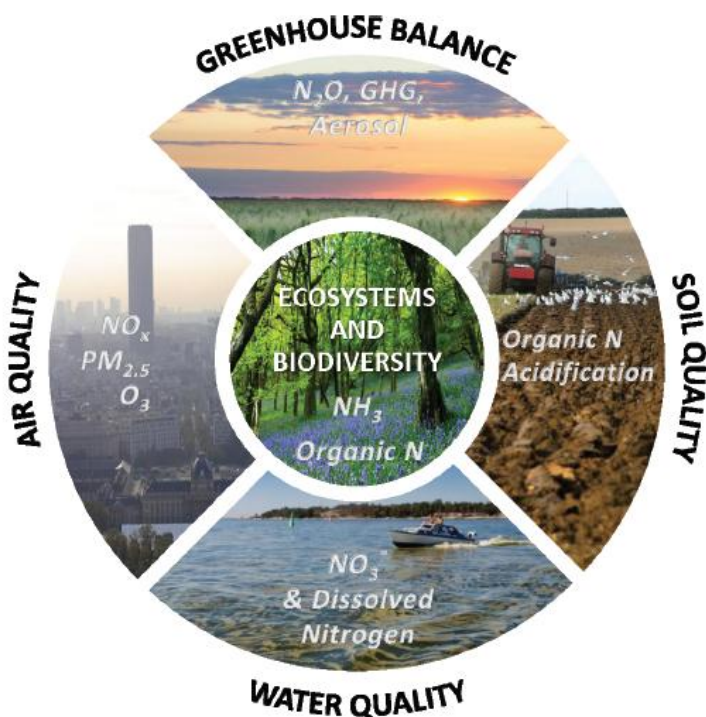


Abb. 1: Problemkreis Stickstoff: Auswirkungen von reaktiven Stickstoffverbindungen auf Mensch und Umwelt (Quelle: European Nitrogen Assessment 2011).

Stickstoff ist das häufigste Element in der Luft. Er liegt zum allergrössten Teil als nicht reaktiver molekularer Stickstoff (N_2) vor. Stickstoff spielt im Stoffwechsel aller Lebewesen eine zentrale Rolle im Zusammenhang mit der Bildung von Aminosäuren und Proteinen. Allerdings sind nur wenige natürliche Prozesse bzw. Lebewesen in der Lage, aus dem inerten Luftstickstoff (N_2) für das Leben verfügbare, reaktive N-Verbindungen wie Ammonium (NH_4^+) oder Nitrat (NO_3^-) herzustellen. Ökosysteme kommen daher mit geringem Angebot an reaktiven N-Verbindungen aus. Zahlreiche Lebensräume und Arten sind auf ein tiefes Stickstoff-Niveau angewiesen. Zu hohe Stickstoffeinträge sind neben anderen eine wichtige Ursache für das Verschwinden von Arten, eine Ausbreitung von stickstofftoleranten Arten und damit für die anhaltende Abnahme und Nivellierung („Homogenisation“) der Biodiversität. Da die Menge pflanzenverfügbarer Stickstoffverbindungen ein bestimmender Faktor für den Ertrag ist, ist die Landwirtschaft stark auf diese Stoffe angewiesen.

Bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren tierische und menschliche Ausscheidungen die wesentlich verfügbaren Stickstoffdünger. Der Kreislauf Boden → Kulturpflanzen → Nutztiere → Ausscheidungen → Boden war weitgehend geschlossen. Mit dem Haber-Bosch-Verfahren wurde es am Anfang des 20. Jahrhunderts möglich, durch einen chemischen Prozess pflanzenverfügbare N-Verbindungen in grossem Mass aus inertem Luftstickstoff zu gewinnen. Das machte die Intensivierung der Landwirtschaft und die Steigerung der Nahrungsmittelproduktion für die wachsende Weltbevölkerung möglich. Da-

durch wurde der N-Kreislauf sowohl national als auch global intensiviert und der Umgang mit dem bis dahin sehr kostbaren Dünger verändert. Heute ist der Eintrag von reaktiven N-Verbindungen in Luft, Boden, Oberflächengewässer und Grundwasser beträchtlich.

Landwirtschaftliche Quellen sind hauptsächlich für den Ausstoss von reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak NH_3 und sein Umwandlungsprodukt Ammonium NH_4^+) in die Luft verantwortlich. Auch bei der Belastung der Gewässer mit Nitrat ist die Landwirtschaft die Hauptverursacherin.

Die wichtigste Quelle für oxidierte Stickstoffverbindungen stellen Verbrennungsprozesse dar. Industrie, Feuerungen und der motorisierte Verkehr haben seit Beginn des 20. Jahrhunderts zu einem massiven Anstieg von Emissionen oxidierten Stickstoffverbindungen (Stickoxide NO_x : Stickstoffmonoxid NO , Stickstoffdioxid NO_2) in die Luft geführt. Sie führen durch Umwandlung in der Atmosphäre zu Salpetersäure (HNO_3) und Nitrat (NO_3^-), einem Bestandteil des Feinstaubes, und tragen zur Ozonbildung (Sommersmog) bei.

Sowohl der direkte Eintrag von reaktiven N-Verbindungen als auch die Verfrachtung derartiger Verbindungen in der Luft (über Gase, Feinstaub und Niederschläge) in Böden und Gewässer führt zu Lachgasemissionen (N_2O) in die Luft. Lachgas (Distickstoffoxid, N_2O) trägt zur Klimaerwärmung bei und schädigt die stratosphärische Ozonschicht.

Die in den bisher vorgelegten Strategien des Bundes zur Stickstoffproblematik aufgeführten ökologischen Ziele und Massnahmen fanden Eingang in die Landwirtschafts- und Umweltpolitik. Massnahmen wurden teilweise bereits umgesetzt. Vom Erreichen der Ziele ist die Schweiz heute allerdings noch weit entfernt. Der angestrebte Reduktionspfad kann insbesondere im Bereich Landwirtschaft nicht eingehalten werden. Zum Erreichen der Umweltziele Landwirtschaft [BAFU/BLW 2008], in Bezug auf das nationale Ziel des Luftreinhaltekonzepts LRK des Bundesrates [BBI 2009] sowie bezüglich der Ziele der Waldpolitik 2020 [BBI 2011] besteht jedoch erheblicher Handlungsbedarf.

2 Quellen und Verursacher

Stickstoffhaltige Verbindungen werden aus Emissionsquellen und dem Einsatz von Düngern sowie über die Stickstofffixierung in die Umwelt eingebracht. Diese Verbindungen unterliegen auf ihrem Pfad in die verschiedenen Umweltkompartimente mannigfachen Umwandlungsprozessen. Diese Prozesse und die wichtigsten Auswirkungen sind in Abb. 2 schematisch dargestellt.

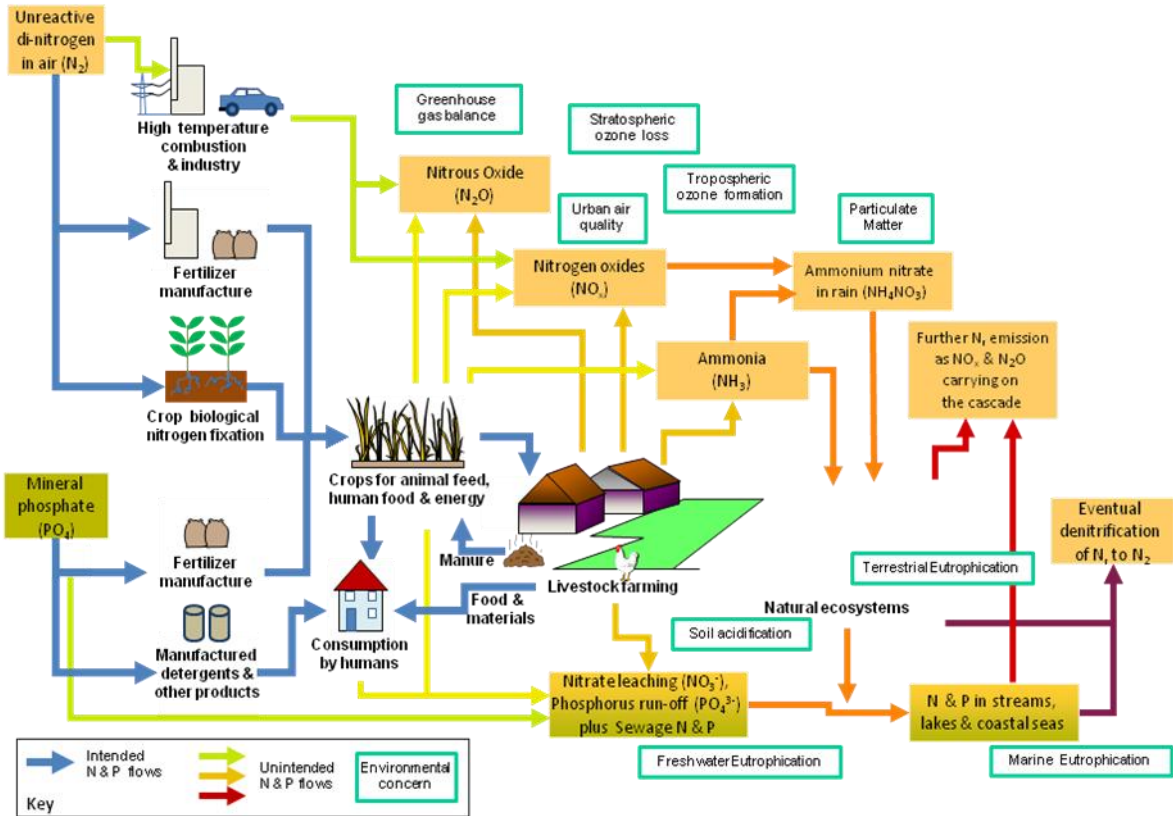


Abb. 2: Vereinfachte Darstellung der Stickstoffkaskade mit den wichtigsten Quellen von reaktivem Stickstoff (N_r) und den Flüssen in die verschiedenen Umweltkompartimente. (Quelle: European Nitrogen Assessment 2011).

Die Stoffflussanalyse ist ein wichtiges Hilfsmittel, um die wichtigen Stickstoffflüsse zu quantifizieren. Damit gewinnt man einen Überblick über alle relevanten N-Flüsse und kann die Bedeutung eines interessierenden Flusses im Vergleich zu den übrigen Flüssen einordnen. Damit bietet die Analyse auch ein Instrument, um Reduktionsstrategien zu entwickeln. Abb. 3 zeigt diese Quantifizierung für das Jahr 2005 für die Schweiz.

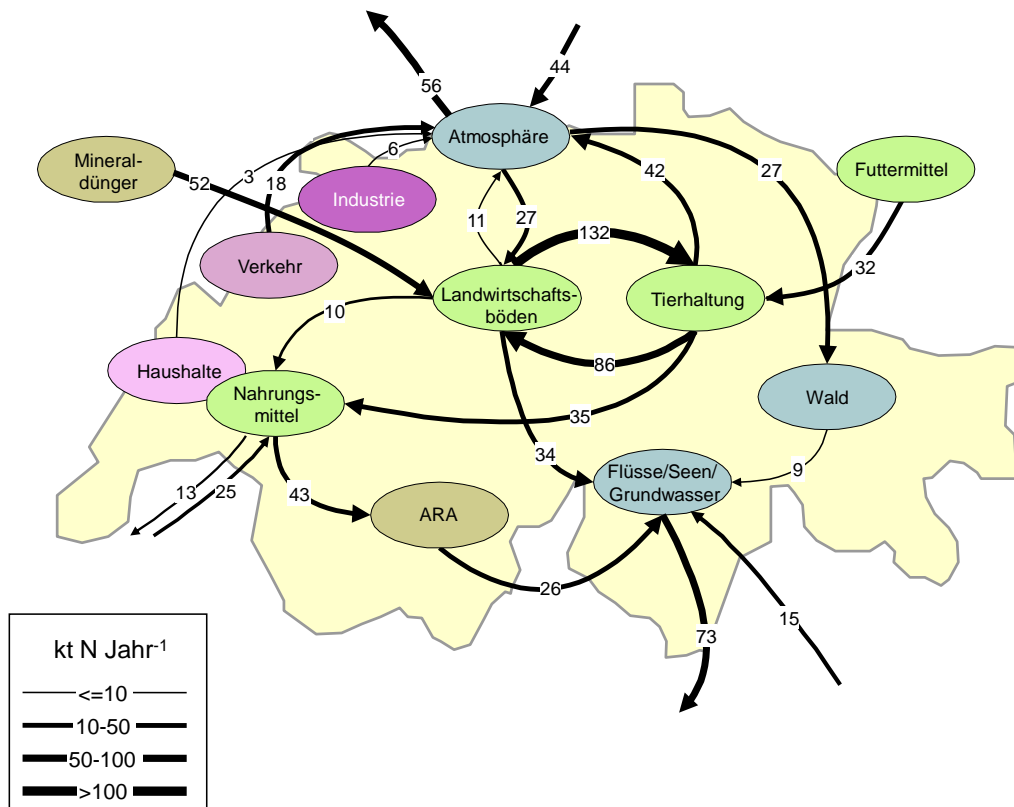


Abb. 3: Relevante Flüsse von reaktiven N-Verbindungen im Jahr 2005. Werte in kt N Jahr⁻¹ (vereinfachte Darstellung ohne Siedlungs- und nicht-produktiven Flächen aus BAFU 2010).

In der Schweiz betrug der Fluss von reaktiven Stickstoffverbindungen in die Landwirtschaft im Jahr 2005 rund 110 kt N, davon 52 kt aus Mineraldüngern, 27 kt aus der Deposition von stickstoffhaltigen Luftschadstoffen und 32 kt aus eingeführten Futtermitteln (BAFU 2010). Vom Stickstoff in den Mineraldüngern gehen etwa 6% in Form von Ammoniak (NH₃) oder Stickoxiden (NO_x) verloren. Der weitestgehend grösste Teil des im Pflanzenbau gebundenen Stickstoffs wird für die Tierernährung eingesetzt, ein kleiner Teil von 10 kt gelangt direkt in die menschlichen Nahrungsmittel. Die Nährstoffausscheidungen von Nutztieren können aufgrund der Altersstruktur, Nutzungsart und Fütterungsweise bzw. Produktionsintensität der Tiere berechnet werden. Insgesamt scheiden die Nutztiere in der Schweiz jährlich rund 130 kt N aus, davon gelangen nur gegen 70% in den Acker- und Futterbau und der Rest geht in die Atmosphäre verloren. Im Zusammenhang mit dem Einsatz insbesondere der Hofdünger in der Pflanzenproduktion gehen weitere 11 kt N als Ammoniak in die Atmosphäre. Aus Landwirtschaftsböden gehen 34 kt N hauptsächlich als Nitrat ins Grundwasser und in Oberflächengewässer.

Der Stickstoff in den Nahrungsmitteln wird von den Menschen wieder ausgeschieden. In der Schweiz werden heute rund 44% dieses Stickstoffs durch die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) aus dem Abwasser eliminiert (Nitrifikation/Denitrifikation), der Rest gelangt hauptsächlich als Nitrat in die Gewässer. Die Treibstoffverbrennung in Motoren ist mit 18 kt N eine weitere wichtige Emissionsquelle für reaktive Stickstoffverbindungen.

Die wichtigsten treibenden Flüsse sind:

- Mineraldünger- und Futtermittel-Importe
- Stickoxid-Emissionen aus Verbrennungsprozessen
- Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft
- Stickstoffeintrag via Abwasser in die ARA.

Diese treibenden Stoffflüsse sind, gemeinsam mit der Art und Weise, wie die landwirtschaftlichen Böden bearbeitet und bepflanzt werden, verantwortlich für die Ankurbelung der übrigen, induzierten Stoffflüsse:

- Emissionen aus Böden oder Abwasser- und Abfallbehandlungsanlagen in die Atmosphäre
- Deposition aus der Atmosphäre auf die Böden und Wälder
- Auswaschung und Abschwemmung aus Böden in die Hydrosphäre
- Export via Flüsse ins Ausland.

Der Mensch hat mit seinen Aktivitäten in die natürlichen Stickstoffkreisläufe eingegriffen, was in den letzten Jahrzehnten die Stickstoffumsätze zwischen Atmosphäre, Hydrosphäre, Pflanzen und Böden vervielfacht hat, mit negativen Folgen für empfindliche Ökosysteme, für die Bodenfruchtbarkeit, die Biodiversität und die Gesundheit. Um diese Probleme zu lösen, bedarf es erstens einer Reduktion der treibenden Stoffflüsse und zweitens einer Schliessung der Kreisläufe (siehe Kapitel Reduktionsziele und Minderungsmaßnahmen).

3 Emissionen von Stickstoffverbindungen

3.1 Atmosphäre

In der Schweiz war im Jahr 2010 bei den Stickoxid-Emissionen die Hauptquelle der Verkehr (58%), bei den Ammoniak-Emissionen die Landwirtschaft (93%). Von den gesamten Emissionen von stickstoffhaltigen Luftschadstoffen (NO_x-N und NH₃-N) werden 66% von der Landwirtschaft ausgestossen, 22% vom Verkehr, 8% von der Industrie und Gewerbe und 4% von den Haushalten. Die Stickoxid-Emissionen haben zwischen 1990 und 2010 dank strenger Abgasvorschriften um rund 44% abgenommen. Ein weiterer Rückgang bis 2020 ist voraussichtlich als Folge weiterer technischer Massnahmen zur Emissionsminderung zu erwarten. Die Ammoniak-Emissionen haben von 1990 bis 2005 vor allem aufgrund eines Rückgangs der Nutztierzahlen um 17% abgenommen. Seither haben sie sich kaum mehr verändert.

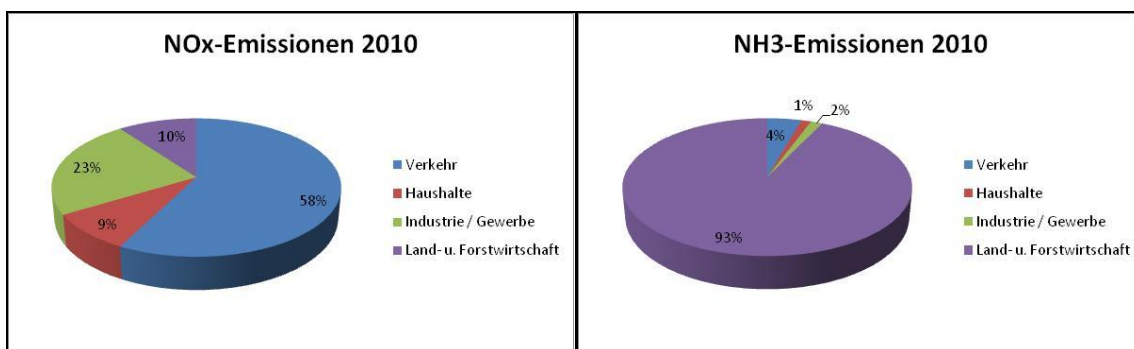


Abb. 4: Quellenanteile der Emissionen von Stickoxiden und Ammoniak in der Schweiz im Jahr 2010.

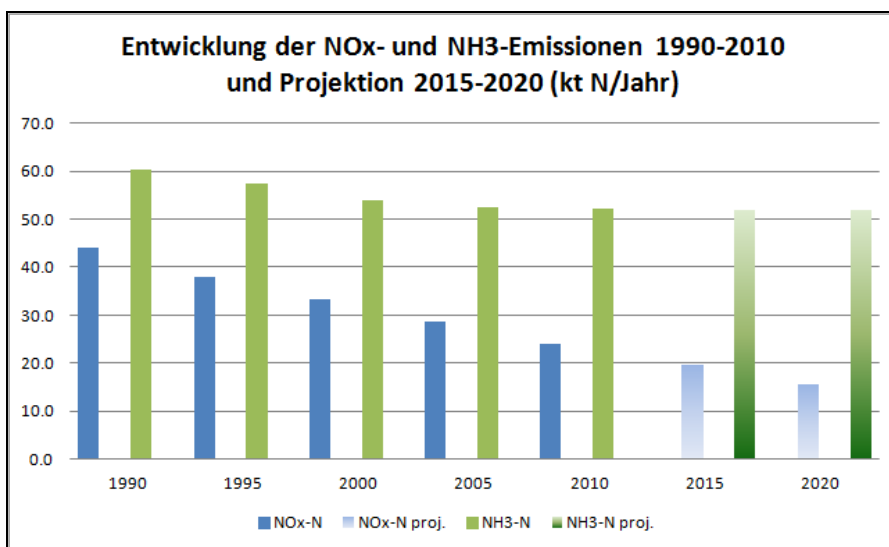


Abb. 5: Emissionen von Stickoxiden und Ammoniak 1990-2020 (angegeben als kt N/a) aus anthropogenen Quellen in der Schweiz

Die wichtigste Quelle für Lachgas (N₂O) sind mikrobielle Abbauprozesse von Stickstoffverbindungen in den Böden. In der Schweiz sind ca. 80% der Lachgasemissionen auf die Landwirtschaft zurückzuführen. Davon stammen knapp 90% aus den landwirtschaftlich genutzten Böden. Die Lachgas-Emissionen hängen hauptsächlich von der Menge der eingesetzten Hof- und Mineraldünger ab. Die Emissionen sind zwischen 1990 und 2000 gesunken und bleiben seither ungefähr konstant.

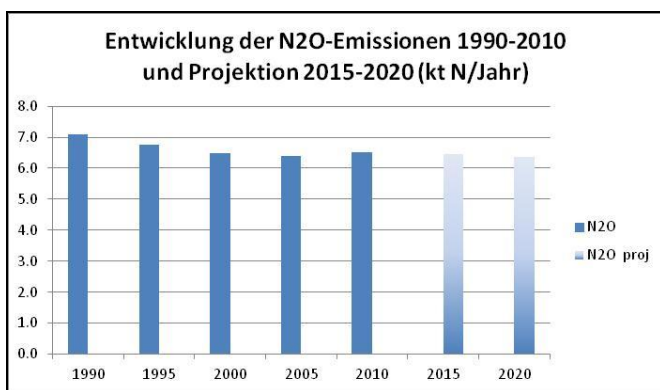


Abb. 6: Entwicklung der Lachgas-Emissionen in der Schweiz 1990-2020 (Angaben in kt N/a)

3.2 Wasser

Hauptemittentin von Nitrat in der Schweiz ist mit rund 75% die Landwirtschaft (BLW 2008, BLW 2012). Landesweit werden pro Jahr rund 34'000 t Nitrat-N aus der Landwirtschaft in die Gewässer (v.a. Grundwasser) ausgewaschen (Zahl für 2005, gemäss BAFU 2010).

Ausserdem gelangen heute mit dem kommunalen Abwasser pro Jahr rund 41'000 t Stickstoff (N) in die Schweizer ARA (nach Strähl 2013). Dort werden heute davon etwa 18'000 t durch Denitrifikation in nicht-reaktiven Stickstoff umgewandelt. Somit werden 23'000 Tonnen Stickstoff über die ARA in die Oberflächengewässer eingetragen. Zusätzlich gelangen 3 bis 4% der Zulauffracht jeder Kläranlage über Mischwasserüberläufe direkt in die Gewässer. Heute eliminieren die Schweizer ARA im Durchschnitt 44% des Stickstoffs. Bei Anlagen im Rheineinzugsgebiet liegt die Eliminationsleistung mit 52% etwas höher; dies aufgrund eines speziellen Aktionsprogramms zum Schutze des Rheins und der Nordsee, welches den Ausbau von ARA mit einer weitergehenden Stickstoffelimination förderte (Strähl 2013).

4 Stickstoffverbindungen in der Umwelt

4.1 Atmosphäre

Die Überwachung der Luftschadstoff-Konzentrationen in der Schweiz zeigt bei den Stickoxiden eine Abnahme der Belastung, die gut mit dem Rückgang der berechneten Emissionen (s. Abb. 5) übereinstimmt. Stickstoffdioxid (NO_2) entsteht hauptsächlich in der Atmosphäre durch Oxidation des primär ausgestossenen Stickstoffmonoxids NO (NO_2 ist also vorwiegend ein Sekundärschadstoff). Die Belastung der Luft durch NO_2 hat seit dem Jahr 1990 deutlich abgenommen. Der Immissionsgrenzwert des Jahresmittels von Stickstoffdioxid wird in den grossen Städten teils noch überschritten, besonders entlang von stark befahrenen Hauptverkehrsstrassen. In den vorstädtischen Gebieten liegt die Belastung unter dem Grenzwert, im ländlichen Raum abseits der Strassen deutlich darunter.

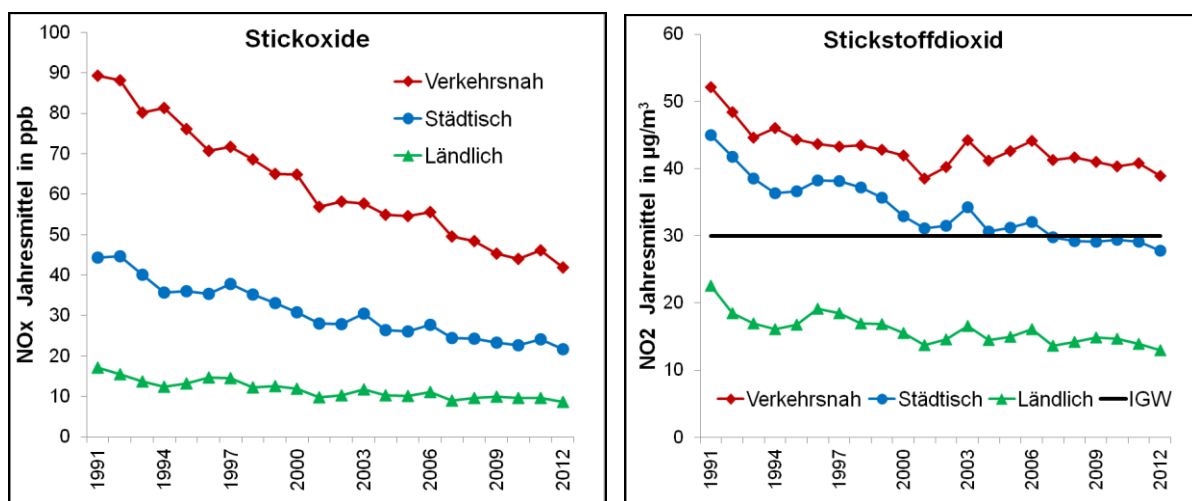


Abb. 7: Entwicklung der Konzentrationen von Stickoxiden und Stickstoffdioxid an verschiedenen Standorttypen in der Schweiz

Die Ammoniak-Konzentrationen werden in der Schweiz seit dem Jahr 2004 an 24 Standorten gemessen. Der Verlauf an 19 ländlichen Standorten (Abb. 8) zeigt keine Abnahme der NH_3 -Konzentration zwischen 2004 und 2012.

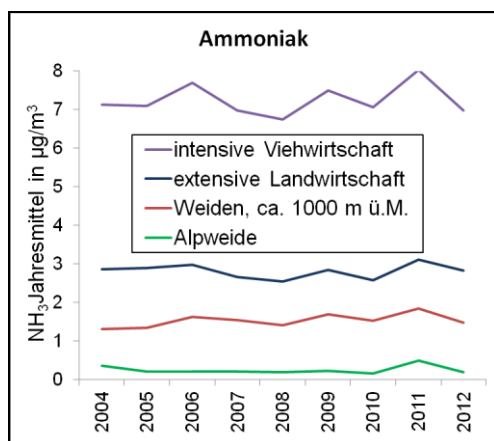


Abb. 8: Entwicklung der Konzentrationen von Ammoniak an verschiedenen ländlichen Standorttypen in der Schweiz

Aus den gasförmigen Stickoxiden und dem Ammoniak bildet sich auch Ammoniumnitrat, ein Bestandteil des sekundären Feinstaubs. Ammoniumnitrat gehört zusammen mit organischen Verbindungen zu den Hauptbestandteilen des Feinstaubs PM_{10} . Auf der Alpennordseite beträgt die Konzentra-

tion von Ammoniumnitrat im Jahresmittel rund $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, was einem Viertel des Immissionsgrenzwertes für das gesamte PM10 und auch rund einem Viertel der typischen Feinstaubbelastung abseits grosser Quellen entspricht. Auf der Alpensüdseite sind die Konzentrationen von Ammoniumnitrat mit rund $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas tiefer. Ammoniumnitrat hat einen ausgeprägten Jahresgang mit sehr tiefen Werten im Sommer und hohen Werten im Winter, weil es bei höheren Temperaturen in Ammoniak und Salpetersäure zerfällt. An Wintertagen können die Konzentrationen $20\text{-}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ betragen, in Wintersmoglagen wurden bis ca. $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen, bei einem Tagesimmissionsgrenzwert von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den gesamten Feinstaub PM10. Im Gegensatz zu den übrigen anthropogenen Feinstaubbestandteilen sind die Konzentrationen von Ammoniumnitrat nicht rückläufig.

Die Messungen der Summe von gasförmigem Ammoniak und partikelgebundenem Ammonium (N_reduziert) sowie der Summe von gasförmiger Salpetersäure und partikulärem Nitrat (N_oxidiert) zeigen keine wesentliche Veränderung der Konzentrationen seit Messbeginn 1994 (Abb. 9a).

Die Frachten von Ammonium und Nitrat im Niederschlag sind seit 1985 unverändert hoch (Abb. 9b). Die verfügbaren Immissionsdaten für Ammonium lassen demnach den für 1990 bis 2000 berechneten Rückgang der Ammoniak-Emissionen nicht erkennen.

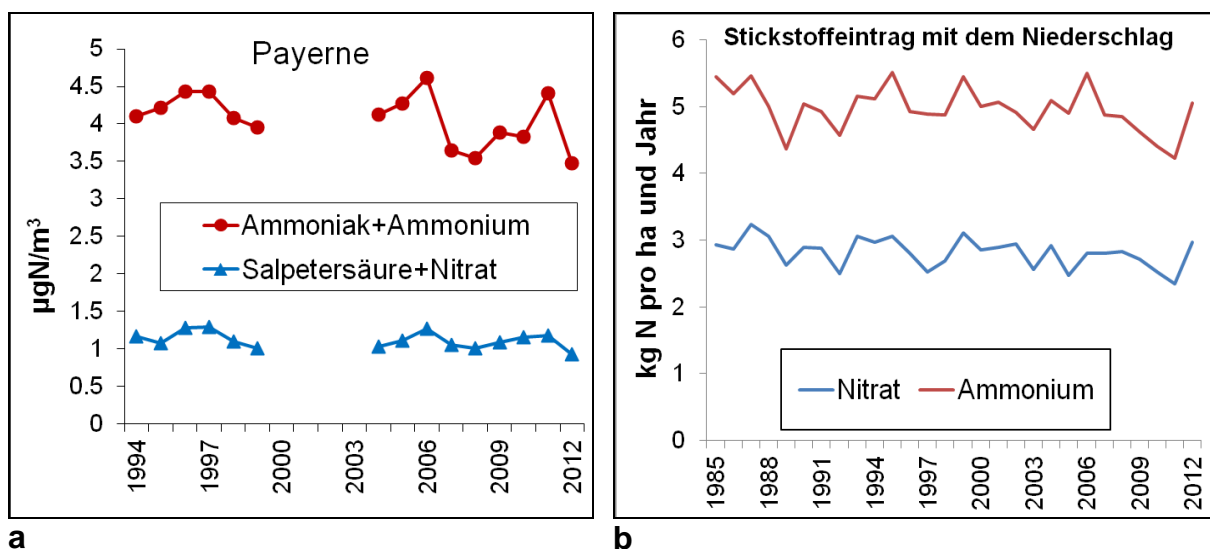


Abb. 9: a) Entwicklung der Konzentrationen von Total-Ammonium und Total-Nitrat am ländlichen Standort Payerne (gas- und partikelförmig)
 b) Stickstoffeintrag mit dem Niederschlag (Nassdeposition) als Mittel der zwei Standorte Payerne und Dübendorf

Die nachstehende Karte (Abb. 10) zeigt die räumliche Verteilung des gesamten Stickstoffeintrags im Jahr 2010 in der Schweiz. Dieser umfasst sowohl die nasse Deposition mit dem Niederschlag als auch die trockene Deposition der gasförmigen und partikelförmigen Stickstoffkomponenten.

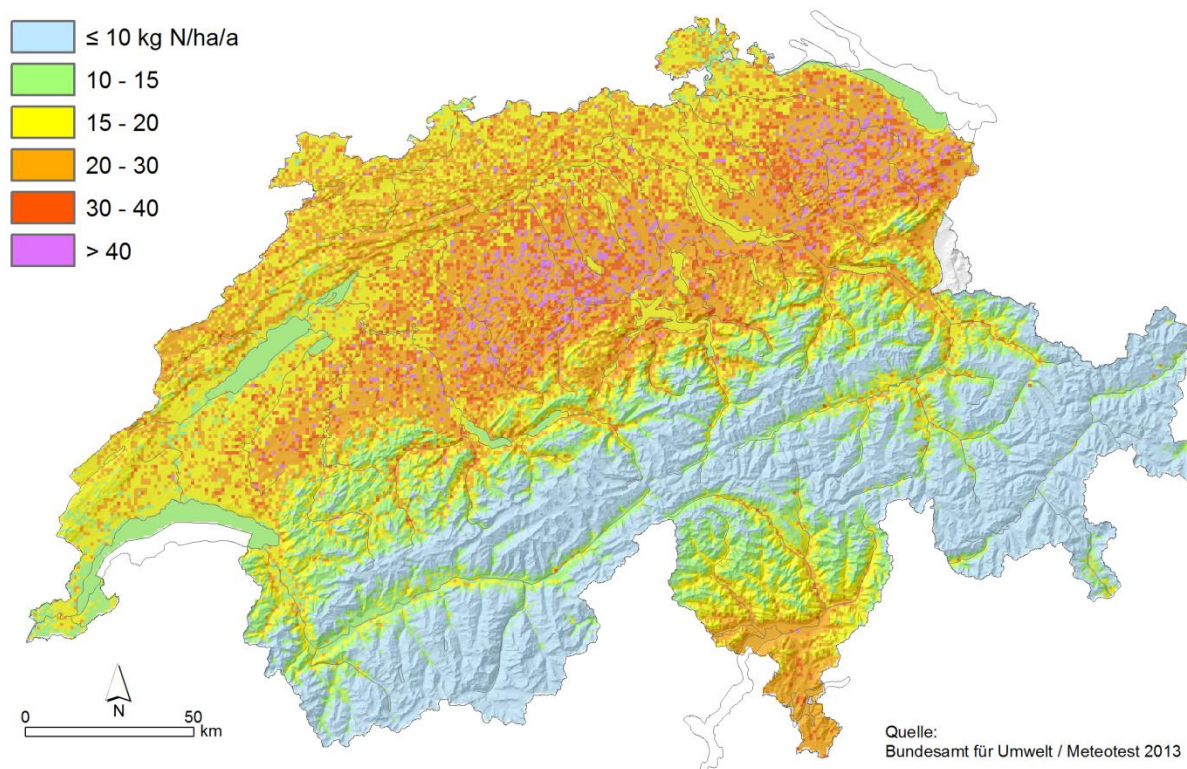


Abb. 10: Deposition von stickstoffhaltigen Luftschadstoffen in der Schweiz 2010. Die kritischen Eintragswerte (Critical Loads) für Waldökosysteme liegen im Bereich 10-20 kg N pro Hektare und Jahr, für Hochmoore und artenreiche alpine Weiden bei 5-10 kg N pro Hektare und Jahr (UNECE, 2010). Quelle der Karte: BAFU/Meteotest 2013.

Lachgas (N_2O) wird in der Schweiz systematisch auf dem Jungfraujoch gemessen und zeigt einen stetigen Anstieg der Konzentration (Abb. 11). Dies wird auch bei anderen Messstationen weltweit beobachtet (WMO 2012). Wegen der langen Lebensdauer von Lachgas werden die gemessenen N_2O -Konzentrationen an den Hintergrundstationen durch die globalen Emissionen bestimmt.

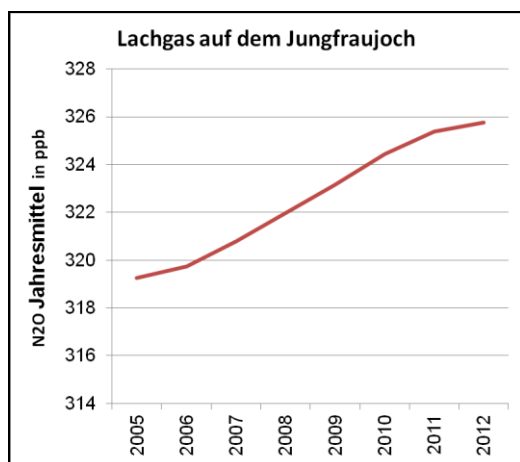


Abb. 11: Lachgas-Konzentration auf dem Jungfraujoch

4.2 Wasser

Im Grundwasser tritt vor allem das gut wasserlösliche und daher mobile Nitrat in erhöhten Konzentrationen auf. Im Jahr 2011 lag die Nitrat-Konzentration landesweit an 16% der Messstellen der Nationalen Grundwasserbeobachtung NAQUA bei mehr als 25 mg/L, dem Anforderungswert der Gewässerschutzverordnung. Während die Nitrat-Konzentration im Grundwasser an unbeeinflussten Standorten in höheren Lagen deutlich unter 5 mg/L liegt, treten die höchsten Nitrat-Konzentrationen unter Ackerland auf. An knapp der Hälfte dieser Messstellen wurde der Anforderungswert der GSchV von 25 mg/L im Jahr 2011 überschritten. Unter Wald liegen die Nitrat-Konzentrationen häufig zwischen 5 und 10 mg/L (NAQUA 2013).

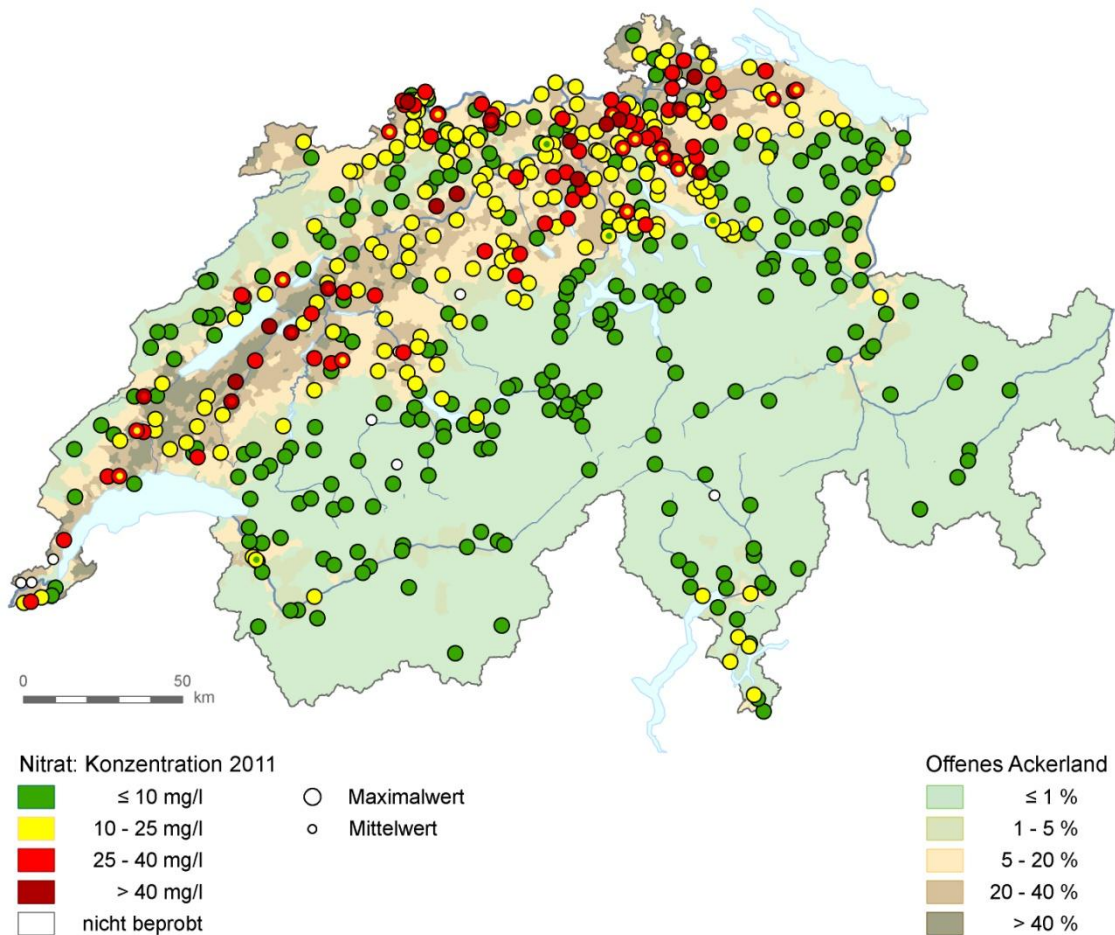


Abb. 12: Nitrat-Konzentration im Grundwasser 2011 und Ackeranteil. Mittel- und Maximalwert pro NAQUA-Messstelle. (Quelle: NAQUA, 2013)

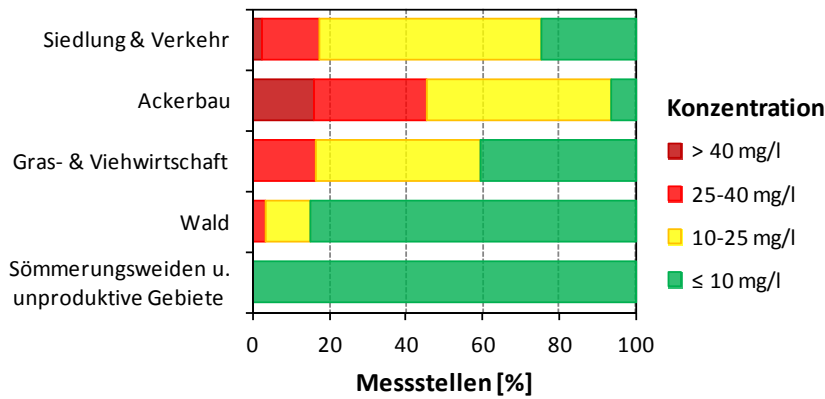


Abb. 13: Nitrat-Konzentration 2011 im Grundwasser in Abhängigkeit von der Hauptbodennutzung im Einzugsgebiet der Messstellen. Maximalwert pro NAQUA-Messstelle. Messstellen pro Hauptbodennutzung: Siedlung & Verkehr: 93 Mst.; Ackerbau: 93 Mst.; Gras- & Viehwirtschaft: 140 Mst.; Wald: 159 Mst.; Sömmerungsweiden und unproduktive Gebiete: 35 Mst. (NAQUA 2013).

Ein Rückgang der Nitrat-Konzentration im Grundwasser fand primär von Mitte der 90-er Jahre bis Anfang dieses Jahrhunderts statt. Heute liegen die Nitrat-Konzentrationen gegenüber dem Referenzjahr 2002, in dem das landesweit repräsentative Monitoring der Nationalen Grundwasserbeobachtung gestartet wurde, auf unverändert hohem Niveau. Der zwischenzeitliche Anstieg der Nitrat-Konzentrationen mit Höchstwerten in den Jahren 2005 und 2006 dürfte eine Folge der ausgeprägten Trockenheit in den Jahren 2003 und 2005 sein. Besonders markant war der Anstieg der Nitrat-Konzentration im Grundwasser unter Ackerland, d.h. dort, wo der Stickstoff-Überschuss im Boden am grössten ist und der Boden intensiv bearbeitet wird. Ohne Reduktion des Stickstoff-Überschusses im Boden ist keine weitere Abnahme der Nitrat-Konzentrationen im Grundwasser zu erwarten.

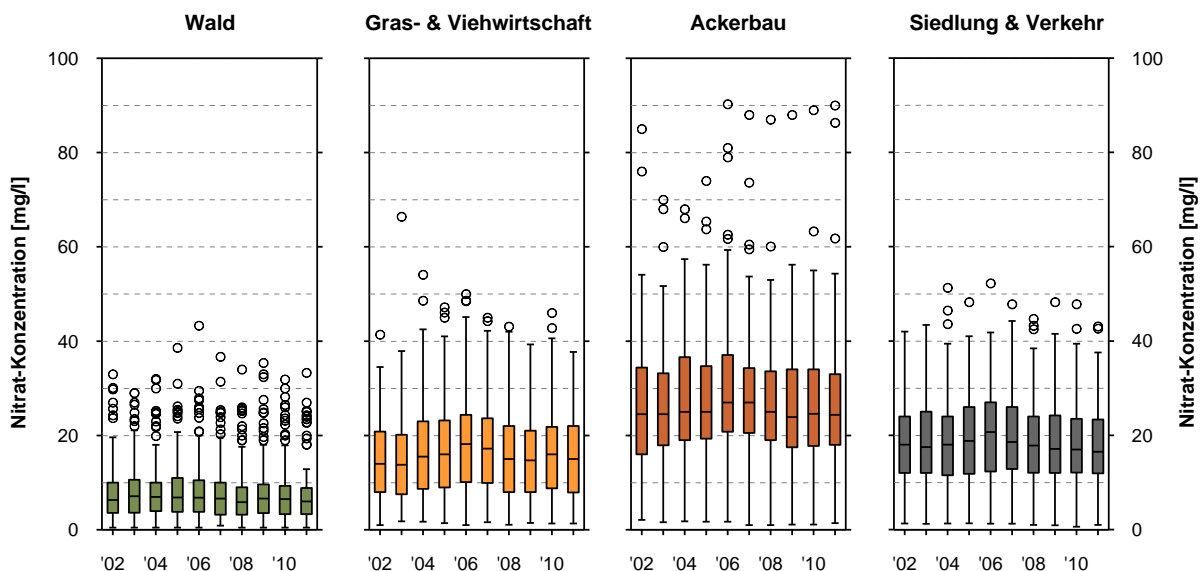


Abb. 14: Entwicklung der Nitrat-Konzentration im Grundwasser von 2002 bis 2011 in Abhängigkeit von der Hauptbodennutzung. Maximalwert pro NAQUA-Messstelle (NAQUA 2013).

5 Auswirkungen

5.1 Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Von den Stickstoffverbindungen in der Umgebungsluft haben gasförmiges Stickstoffdioxid NO_2 und die Partikelbestandteile Nitrat und Ammonium für die menschliche Gesundheit die grösste Bedeutung. NO_2 führt zu Entzündungserscheinungen in den Atemwegen und verstärkt die Reizwirkung von Allergenen. Nimmt die NO_2 -Belastung der Aussenluft zu, werden kurzfristig mehr Todesfälle registriert, mehr Menschen müssen wegen Atemwegserkrankungen ins Spital und es treten mehr Herzrhythmusstörungen auf. Längerfristig häufen sich Infektionskrankheiten der Atemwege, die Lungenfunktion der Bevölkerung wird schlechter und Todesfälle kommen vermehrt vor. Einzelne Bevölkerungsgruppen wie Kinder, ältere Personen und Asthmatiker sind besonders betroffen. Der grösste Teil der Bevölkerung in der Schweiz ist Stickstoffdioxid-Immissionen ausgesetzt, die unter dem Grenzwert liegen. In den Stadtzentren und entlang von Hauptverkehrsachsen ist die Schadstoffbelastung jedoch nach wie vor zu hoch. Der Jahresmittel-Grenzwert wird dort, besonders verkehrsnah, deutlich überschritten.

Aus gasförmigen stickstoffhaltigen Stoffen können sich in der Atmosphäre sekundäre Partikel wie Nitrat und Ammonium bilden, die ein Bestandteil von Feinstaub sind. Eine chronisch erhöhte Feinstaubbelastung führt zu mehr Herz-/Kreislauf- und Atemwegserkrankungen in der Bevölkerung und verkürzt deren Lebenserwartung.

Ihre potentielle Schädigung besteht nicht nur aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung, sondern auch in ihrem Beitrag zur eingeatmeten Partikelmasse. Ebenfalls Bestandteil der Partikel sind organische Stickstoffverbindungen wie zum Beispiel die Nitroaromaten.

Stickoxide führen durch photochemische Prozesse in der Atmosphäre zur Bildung von Ozon. Dieses macht den grössten Teil des Sommersmogs aus und ist ein aggressives Reizgas, welches aufgrund seiner geringen Wasserlöslichkeit tief in die Lungen eindringen kann. Die akuten Wirkungen von erhöhten Ozonwerten reichen von Augenbrennen, eingeschränkter Lungenfunktion, Entzündungsreaktionen in den Atemwegen bis zu Spitaleintritten und Todesfällen.

Ammoniak und Salpetersäure liegen in der Aussenluft in der Schweiz normalerweise nicht in gesundheitsrelevanten Konzentrationen vor.

5.2 Auswirkungen auf Ökosysteme und Biodiversität

Stickoxide und Ammoniak werden nach der Emission über unterschiedlich grosse Distanzen verfrachtet, umgewandelt und schliesslich nahe oder fernab der Emissionsquellen trocken oder nass deponiert. Die Folgen sind eine Überdüngung (Eutrophierung) und Versauerung von Ökosystemen mit vielfältigen Langzeit-Auswirkungen auf Vegetation und Fauna (Abnahme der Biodiversität), Struktur und Funktion. Zu den empfindlichen Ökosystemen gehören unter anderem Wälder, Trockenrasen und andere artenreiche Naturwiesen, Hochmoore, Flachmoore, Heidelandschaften und nährstoffarme Still- und Fliessgewässer.

In der Schweiz werden die sogenannten Critical Loads für Stickstoff, das heisst die nach dem Stand des Wissens aus ökologischer Sicht maximal tolerierbaren Stickstoff-Einträge in naturnahe Ökosysteme, weiträumig überschritten. Räumlich differenzierte Analysen haben ergeben, dass mehr als 90% der Waldstandorte, 100 % der Hochmoore, 84 % der Flachmoore und 42 % der artenreichen Trockenwiesen und -weiden mit übermässigen Stickstoffeinträgen aus der Luft belastet werden. Die spezifische Artenvielfalt dieser Lebensräume nimmt entsprechend ab, was die Erhebungen von Infoflora zur Aktualisierung der Roten Listen bestätigen. Je nach Region und Ökosystem sind die Überschreitungen unterschiedlich stark. Waldökosysteme filtern die Luftschadstoffe stärker aus als andere Ökosysteme und sind deshalb besonders betroffen. Die Stickstoffeinträge in diese Ökosysteme sind teilweise 3- bis 4-mal so hoch wie die kritischen Eintragsraten (Critical Loads).

In stickstoffbelasteten Waldökosystemen wird die erhöhte Auswaschung von Nitrat aus dem Boden beobachtet. Dies geht einher mit einer fortschreitenden Bodenversauerung mit all ihren negativen Folgen wie Nährstoffverarmung und Freisetzung von toxischen Aluminiumionen. Die Bäume geraten durch die einseitige N-Deposition zunehmend in ein Nährstoffungleichgewicht. Je nach Standortver-

hältnissen nimmt die Versorgung mit Phosphor, Kalium und Magnesium ab, diejenige mit Stickstoff zu. In der Folge kann die Anfälligkeit gegenüber Parasiten zunehmen und die Toleranz gegenüber Trockenstress und Frost beeinträchtigt werden. Im Zusammenhang mit Bodenversauerung werden auch eine verminderte Tiefendurchwurzelung von Waldbäumen und ein erhöhtes Risiko für Windwurf beobachtet.

Stickstoffliebende Pflanzen werden durch die erhöhte N-Deposition gefördert, die Verdrängung von Pflanzen, welche auf nährstoffarme Böden spezialisiert sind, ist die Folge. Dies führt zu Veränderungen und zu einer Abnahme der Biodiversität in Lebensräumen. Insbesondere die Bodenvegetation in Wäldern und die artenreichen Trockenrasen sowie andere artenreiche Naturwiesen sind betroffen. Mit dem Biodiversitäts-Monitoring Schweiz (BDM) konnte gezeigt werden, dass das Nährstoffangebot im Boden in Wäldern, in Wiesen/Weiden und im Gebirge mit zunehmender Stickstoffdeposition aus der Luft zunimmt und so vermehrt Pflanzen mit einer höheren Nährstoffzahl, das heisst mit einer Vorliebe für nährstoffreichere Bedingungen vorkommen (BAFU, 2012a; Abb. 15). Die Nährstoffzahl der Pflanzen (Landolt 2010) ist ein Mass für den Gehalt des besiedelten Bodens an verfügbaren Nährstoffen, insbesondere an Stickstoff, oft auch an Phosphor. Niedrige Zahlen zeigen wenige, hohe viele Nährstoffe an. Damit einhergehend wird ein Rückgang der so genannten Magerkeits-Zeigerpflanzen beobachtet. Der Rückgang der Artenvielfalt dieser Magerkeits-Zeigerpflanzen konnte in der Schweiz bei artenreichen montanen Heuwiesen mit zunehmender Stickstoffdeposition unter Verwendung von Daten des BDM untersucht und nachgewiesen werden (Roth et al., 2013; Abb. 16). Aber auch subalpine und alpine Rasen können durch hohe N-Einträge in Mitleidenschaft gezogen werden. Bei den besonders empfindlichen alpinen Zwergstrauchheiden mit ihrer vielfältigen Flechten- und Moosflora ist mit einem weiteren Rückgang von seltenen Flechten, Moosen und immergrünen Zwergsträuchern zu rechnen.

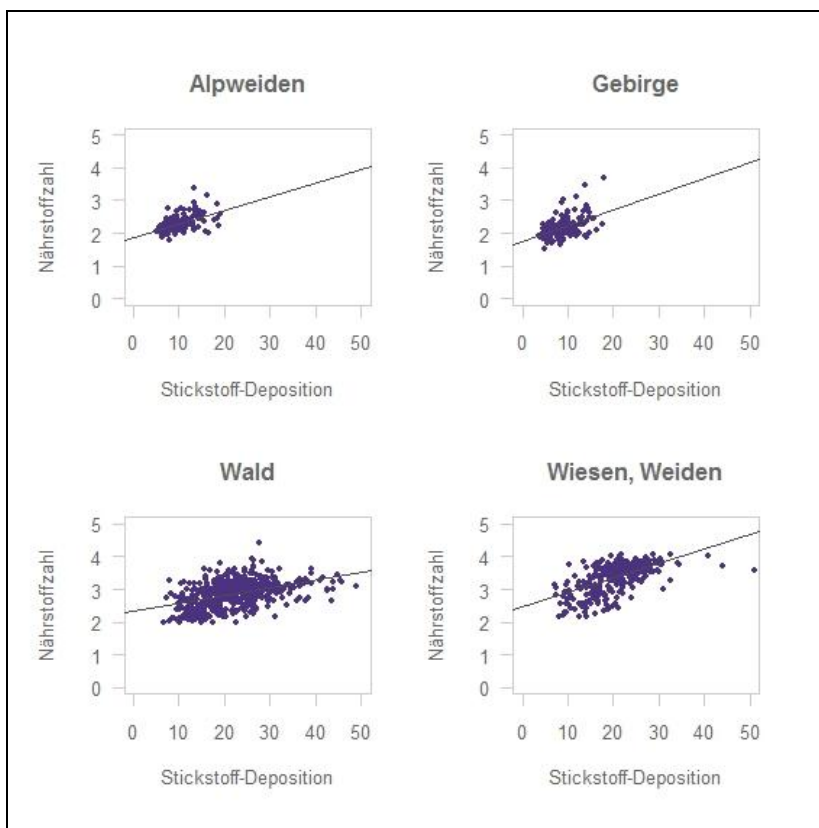


Abb. 15: Zusammenhang zwischen der Stickstoffdeposition in kg N pro ha und Jahr und der mittleren Nährstoffzahl der Bodenvegetation im Ökosystem Wald, der Vegetation bei Wiesen/Weiden und im Gebirge (Quelle: BAFU, 2012a).

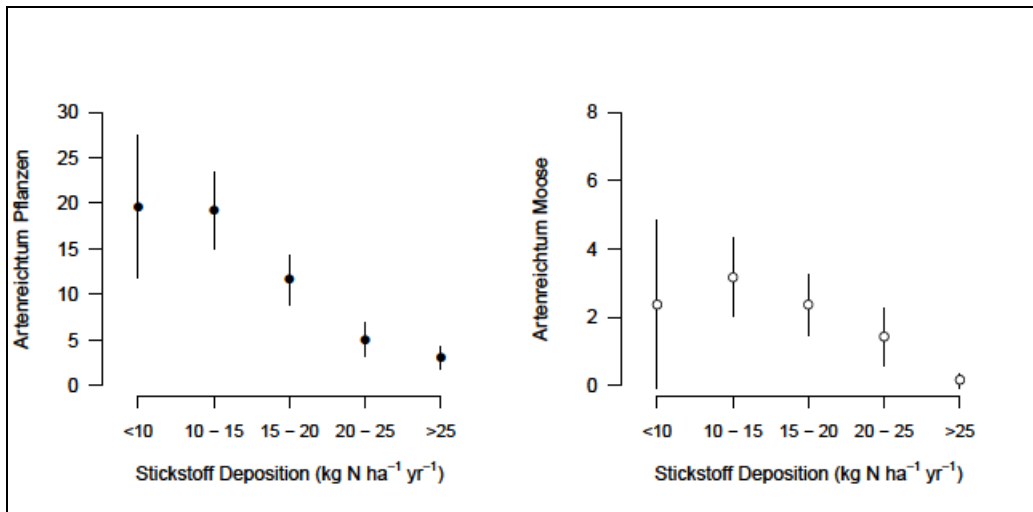


Abb. 16: Der Artenreichtum von schützenswerten oligotrophen höheren Pflanzen und Moosen (Magerkeits-Zeigerpflanzen) in montanen Heuwiesen der Schweiz nimmt mit zunehmendem Stickstoffeintrag aus der Luft ab (Roth et al., 2013).

Hohe Stickstoffeinträge verwandeln Flachmoore in artenärmere Hochstaudengesellschaften mit Sumpfdotterblumen und Spierstauden. Hochmoore und die Flora von nährstoffarmen Stillgewässern sind durch die hohen N-Einträge besonders gefährdet. Bei Hochmooren ist ein deutlicher Rückgang der Torfmoose und ein Überhandnehmen von Laubmoosen zu beobachten, bei fortschreitender Überdüngung auch eine Verbuschung. Insektenfressende Pflanzen – typische Moorbewohner wie Sonnentau – werden durch Wollgras und Rosmarinheide verdrängt.

5.3 Auswirkungen auf den Boden

Im Boden findet ein wichtiger Teil des Stickstoffkreislaufs statt. Der Boden regelt den Stoffaustausch zwischen der Atmosphäre, der Vegetation und den Gewässern. Die mikrobielle Aktivität ist verantwortlich für die chemische Umwandlung von Stickstoffverbindungen in landwirtschaftlichen oder natürlichen terrestrischen Ökosystemen. Die aus der Atmosphäre in den Boden eingetragenen Stickstoffverbindungen (NH_3 , NH_4^+ , HNO_3 , NO_3^-) tragen zum Ungleichgewicht im Stickstoffkreislauf bei.

Das in den Boden eingetragene Ammonium (NH_4^+) ersetzt die basischen Kationen und die Protonen die auf dem Ton-Humus-Komplex adsorbiert sind. Diese werden in der Bodenlösung freigesetzt und verursachen einerseits die Bodenversauerung (Abnahme des pH-Wertes) und andererseits auch eine Verarmung durch Auswaschung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe Kalzium, Kalium und Magnesium. Diese werden unter dem Begriff basische Kationen zusammengefasst. Während basische Böden, entwickelt auf Kalkstein, eine hohe Säure-Pufferkapazität besitzen, versauern Böden, die sich auf basenarmem saurem Gestein wie zum Beispiel Granit gebildet haben, wesentlich schneller in kritische Bereiche.

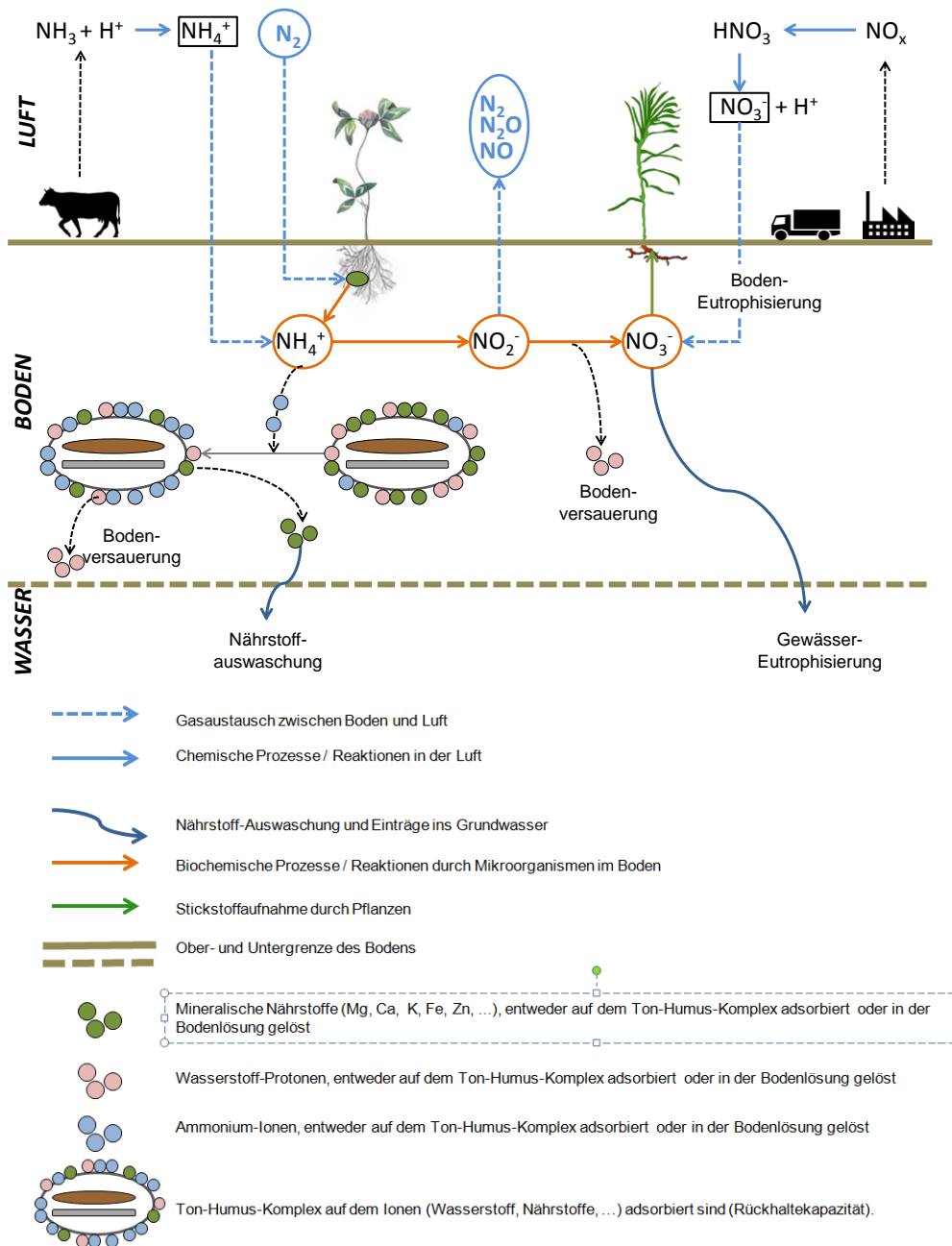


Abb. 17: Vereinfachte schematische Darstellung des Stickstoffkreislaufs im Boden

Die Waldbeobachtung hat gezeigt, dass eine atmosphärische N-Deposition über den kritischen Eintragungswerten ein Ungleichgewicht der Nährstoffe im Boden sowie beim Nährstoffzustand der Bäume bewirkt. Neben dem Verlust an Nährstoffen hat die Versauerung der Böden auch die Freisetzung von für Pflanzen giftigen Elementen wie Mangan und Aluminium in die Bodenlösung zur Folge.

Wenn die von Bakterien im Boden gebildeten Nitrate (NO_3^-) die Speicherkapazität des Bodens überschreiten, werden diese entweder als Nährstoff von den Pflanzen aufgenommen oder gelangen durch Auswaschung ins Grund- oder Oberflächenwasser (Eutrophierung).

5.4 Auswirkungen auf das Grundwasser

Stickstoffangereicherte Böden können die Qualität des Grundwassers beeinträchtigen, wenn das Angebot an wasserlöslichen Stickstoffformen (v.a. Nitrat) die Aufnahmekapazität der Vegetation deutlich überschreitet. Nitrat ist hoch wasserlöslich und sorbiert nicht an Bodenteilchen, weshalb Nitratüberschüsse in der Bodenlösung durch infiltrierende Niederschläge rasch ins Grundwasser ausgewaschen werden.

Die Grundwasser-Qualität ist in der Schweiz heute im Allgemeinen gut. Sie wird grossflächig hauptsächlich durch Nitrat und Pestizide beeinträchtigt. Wichtigste Verursacherin dieser Beeinträchtigungen ist die Landwirtschaft. Erhöhte Nitratbelastungen treten v.a. in Gebieten mit einem hohen Anteil an Ackerflächen auf. Wichtige Ursachen sind dabei der Stickstoff-Überschuss im Boden zusammen mit einem regelmässigen Umbruch des Bodens (mit anschliessendem Mineralisierungsschub von organisch gebundenem Stickstoff) und das zeitweilige Brachliegen der Ackerflächen (fehlende Nitrataufnahme durch eine konstante Vegetationsdecke, v.a. in der herbstlichen und winterlichen Periode der Grundwasserneubildung).

Auch an einzelnen Waldstandorten des Mittellandes werden im Sickerwasser unterhalb des Wurzelraumes teilweise Nitratkonzentrationen über dem in der Schweiz gültigen Qualitätsziel für Grundwasser von 25 mg/L Nitrat (5.7 mg N/l) gemessen (IAP 2004). Allerdings ist es schwierig, diese Nitratauswaschung aus Waldstandorten in Beziehung zur Grundwasserqualität in der Schweiz zu setzen, weil Nitrat im Grundwasser auch aus anderen Quellen stammt (z.B. landwirtschaftliche Nutzflächen).

5.5 Auswirkungen auf die Meere (Nordsee, Mittelmeer)

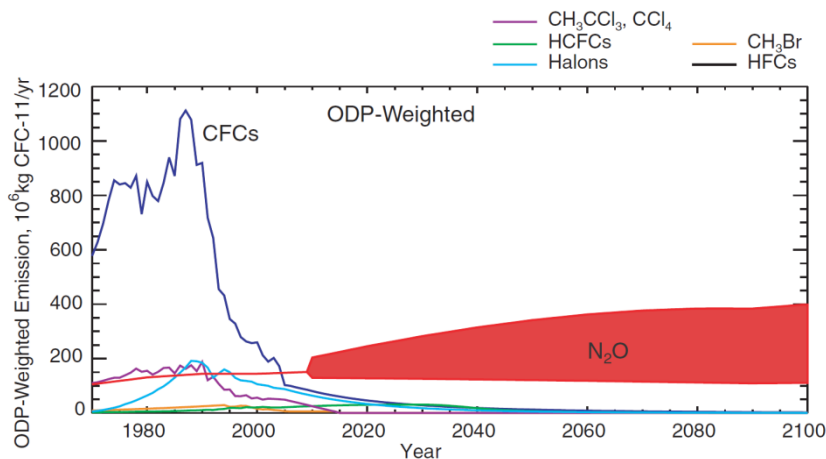
Für die Oberflächengewässer sind vor allem Nitrit und Ammoniak problematisch; allerdings verursachen Gesamtstickstofffrachten nach heutigem Stand des Wissens grundsätzlich keine wesentlichen Probleme. Hingegen ist die Stickstoffbelastung flacher Meere, wie zum Beispiel der Nordsee, für deren Eutrophierung von grosser Bedeutung (BUWAL 1996). Im Laufe der 80er-Jahre verdeutlichten sich die Überdüngungserscheinungen in der Nordsee.

5.6 Auswirkungen auf das Klima und die stratosphärische Ozonschicht

Bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren hat Lachgas (N_2O) das 298-fache Erwärmungspotenzial im Vergleich zu CO_2 . N_2O gilt - nach CO_2 und Methan - als drittichtigstes Treibhausgas und wird für etwa 6% des anthropogenen Treibhauseffekts verantwortlich gemacht. N_2O gehört zum regulierten Gas-Paket des Kyoto-Protokolls.

N_2O ist überdies ein ozonschichtabbauender Stoff. Es hat diesbezüglich viele Ähnlichkeiten mit den FCKW. Die FCKW und N_2O werden in der Troposphäre emittiert, sind sehr stabil und können in die Stratosphäre transportiert werden, wo sie zersetzt werden und die Ozonschicht durch katalytische Prozesse zerstören.

Nach dem Ausstieg aus den FCKW und Halonen ist N_2O inzwischen die wichtigste ozonschichtabbauende Substanz, die vor allem durch menschliche Aktivitäten emittiert wird, und wird dies voraussichtlich auch während des 21. Jahrhunderts bleiben (Ravishankara et al, 2009) (Abb. 18).



Source: A. R. Ravishankara et al.

Abb. 18: Historische und projizierte weltweite Emissionen von FCKW, HFCKW und Halonen sowie N_2O , gewichtet nach Ozonzerstörungspotenzial (ozone depletion potential ODP)

6 Reduktionsziele und Handlungsbedarf

Bereits im Bericht «Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen», der 1996 im Auftrag des EDI und des EVD erstellt wurde (BUWAL und BLW 1996), wurden eine Stickstoffbilanz der Schweiz für das Jahr 1994, ökologische Ziele und ein Massnahmenpaket zur Reduktion der Stickstoffemissionen in die Luft und in die Gewässer ausgearbeitet. Im Bericht „Umweltziele Landwirtschaft“ (BAFU/BLW 2008) sind die ökologischen Ziele für vier Umweltbereiche (Biodiversität und Landschaft, Klima und Luft, Wasser, Boden) ebenfalls festgelegt worden. Für den Bereich Luftreinhaltung sind im Bericht des Bundesrats über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone, der 1999 den Eidgenössischen Räten vorgelegt wurde (BBI 1999), im Status-Bericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene betreffend «Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz», der im Jahre 2005 dem Bundesrat zur Kenntnis gebracht wurde (EKL 2005), sowie im Bericht „Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes“ vom 11. September 2009 (BBI 2009) die ökologischen Zielsetzungen bei den Ammoniak- und Stickoxid-Emissionen und der sich daraus ergebende Handlungsbedarf vergleichbar beurteilt worden.

Die Europäische Kommission hat im September 2013 einen detaillierten Bericht über die Stickstoff-Problematik und die Konsequenzen für die Luftreinhaltungspolitik veröffentlicht (European Commission, 2013). Ein neues Programm „Saubere Luft für Europa“ mit Massnahmen, durch die sichergestellt wird, dass bestehende Ziele kurzfristig erreicht werden sowie neue Luftqualitätsziele für den Zeitraum bis 2030 wurde am 18.12.2013 durch die Europäische Kommission verabschiedet. Durch das Massnahmenpaket zur Luftqualität sollen bis 2030 im Vergleich zu einem Szenario, bei dem alles beim Alten bleiben würde, schätzungsweise:

- 58 000 vorzeitige Todesfälle vermieden werden,
- 123 000 km² von Ökosystemen vor übermässiger Stickstoffbelastung bewahrt werden,
- 56 000 m² Natura-2000-Schutzgebiete vor übermässiger Stickstoffbelastung bewahrt werden,
- 19 000 km² von Waldökosystemen vor der Versauerung bewahrt werden.

Die in den erwähnten Berichten aufgeführten Massnahmen fanden Eingang in die Landwirtschafts- und Umweltpolitik und wurden teilweise bereits umgesetzt. Vom Erreichen der Ziele ist die Schweiz heute allerdings noch weit entfernt. Der angestrebte Reduktionspfad kann insbesondere im Bereich Landwirtschaft nicht eingehalten werden.

6.1 Luftreinhaltung

Reduktionsziele

Die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) enthält Immissionsgrenzwerte (IGW) für Stickstoffdioxid sowie für Ozon und Feinstaub, zu deren Bildung Stickstoffverbindungen ebenfalls beitragen. In internationalen Abkommen sind kritische Eintragswerte für die Stickstoffdeposition in Ökosysteme („critical loads“ CL) festgelegt. Sie entsprechen in Bezug auf ihren rechtlichen Stellenwert den Immissionsgrenzwerten (IGW). Sind die IGW oder CL trotz vorsorglicher Begrenzungen der Emissionen überschritten – wie dies mancherorts in der Schweiz der Fall ist – müssen im Sinne der Gefahrenabwehr zusätzliche Massnahmen getroffen werden, wobei das Kriterium der wirtschaftlichen Tragbarkeit in den Hintergrund tritt. Die Kantone sind verpflichtet, Massnahmenpläne zu erarbeiten und umzusetzen.

Um die IGW und critical loads einzuhalten ist gemäss dem Luftreinhaltekonzept (LRK) des Bundesrats (Bundesrat 2009) eine weitere wesentliche Emissionsreduktion gegenüber dem Stand des Jahres 2005 nötig, bei den Stickoxiden um ca. 50%, beim Ammoniak um ca. 40%.

Im Rahmen des im Mai 2012 revidierten Göteborg-Protokolls (noch nicht in Kraft gesetzt) zum UNECE-Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung hat sich die Schweiz zu folgenden Reduktionen bis 2020 (bezogen auf den Stand 2005) verpflichtet: bei den Stickoxid-Emissionen 41% und bei den Ammoniak-Emissionen 8%.

Handlungsbedarf

Auf der Basis dieser gesetzlichen Grundlagen haben Bund, Kantone und Gemeinden eine Vielzahl von Massnahmen getroffen, insbesondere bei Industrie und Gewerbe, bei Feuerungsanlagen und beim motorisierten Verkehr. Durch strenge Abgas- und Emissionsgrenzwerte konnte der Ausstoss von Stickoxiden stark vermindert werden. Zwischen 2005 und 2020 wird - hauptsächlich durch Verschärfungen der Abgasnormen beim Strassenverkehr - eine weitere Reduktion der Stickoxid-Emissionen von 46% erwartet (Abb. 19). Das internationale Ziel des Göteborg-Protokolls kann somit erreicht werden. In Bezug auf das nationale Ziel des LRK besteht jedoch noch Handlungsbedarf.

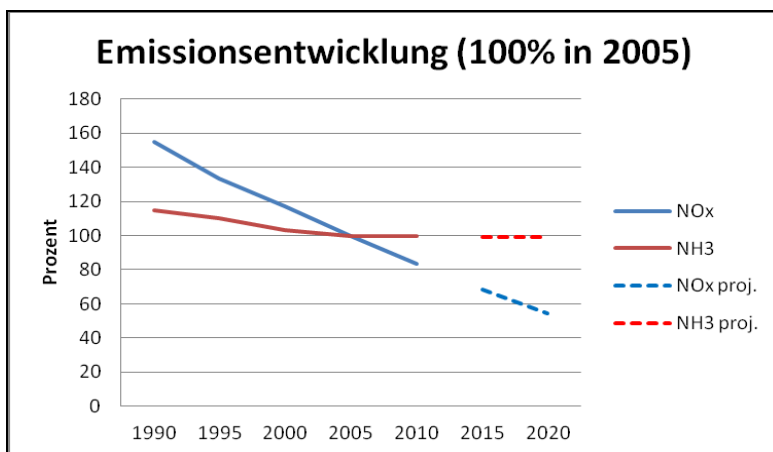


Abb. 19: Entwicklung der Emissionen von Stickoxiden (NO_x) und Ammoniak (NH₃)

In der Landwirtschaft wurde insbesondere zwischen 1990 und 2000 eine Abnahme der Ammoniakemissionen als Folge eines Rückgangs der Tierzahlen und der Förderung des Weidegangs erreicht. Im Rahmen von Ressourcenprogrammen werden seit 2008 insbesondere emissionsarme Techniken zur Gülleausbringung gefördert. Hingegen wurden durch die Zunahme und Förderung von Freilaufställen ohne Ammoniakminderungsmassnahmen und durch fehlende Abdeckungen bei Güllelagern sogar Anlagen gebaut, die im Vergleich zur früheren Situation zu Mehremissionen führten. Die Abnahme der Ammoniakemissionen fiel im Gesamten im Vergleich zu den Stickoxiden bisher gering aus.

Zukünftige Entwicklung

Zwischen 2005 und 2020 wird ohne weitere Massnahmen eine Ammoniak-Reduktion von 1% erwartet. Mit den Ressourcenprogrammen kann eine weitere Reduktion von 6-7% erwartet werden. Mit dem Wegfall von tierbezogenen Direktzahlungen in der AP 2014-17 kann ein Rückgang des Rindviehbestandes erwartet werden, was ebenfalls zu einer Abnahme der Ammoniakemissionen führen würde.

Die internationalen Etappenziele des Göteborg-Protokolls für 2020 dürften damit erreichbar sein. In Bezug auf das nationale Ziel des LRK des Bundesrates [BBI 2009], zum Erreichen der Umweltziele Landwirtschaft [BAFU/BLW 2008] sowie der Ziele der Waldpolitik 2020 [BBI 2011] besteht jedoch erheblicher Handlungsbedarf.

Bei den **Stickoxiden** fallen immer noch ca. $\frac{3}{4}$ der Emissionen aus Motoren an. Mit der bereits eingeleiteten Verschärfung der Abgasgrenzwerte für den Strassenverkehr (Euro 6/Euro VI), welche die Schweiz im Gleichschritt mit der EU einführt, werden die Emissionen in den kommenden Jahren nochmals stark abnehmen.

Je nach Ausgestaltung der zukünftigen Elektrizitätsversorgung könnten erhebliche Zusatzemissionen durch den Bau dezentraler Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen (WKK) und/oder grosser Gaskombikraftwerke (GuD) entstehen. Die entsprechenden Emissionsgrenzwerte der LRV sind noch nicht an den

besten Stand der Technik angepasst worden. Es ist wichtig sicherzustellen, dass beim Bau oder einer allfälligen Förderung derartiger Anlagen wirklich die besten verfügbaren Techniken zum Einsatz kommen, damit ein Anstieg der Stickoxidemissionen verhindert oder begrenzt werden kann.

Die **Ammoniak**-Emissionen in die Luft stammen in der Schweiz zu 92% aus der Landwirtschaft. Die landwirtschaftliche Nutztierhaltung trägt am meisten zu diesen Emissionen bei.

Hohe Emissionen entstehen, falls

- bei der Stall- bzw. Auslaufhaltung der Luftaustausch über verschmutzten Flächen hoch ist;
- Harn und Kot nicht schnell getrennt und nicht in gedeckte Güllelager abgeführt und gelagert werden;
- die Gülle nicht bodennah ausgebracht wird;
- die Gülle unverdünnt und zu ungeeigneten Zeitpunkten angewendet wird;
- Festmist nach dem Ausbringen nicht schnell eingearbeitet wird.

Die Emissionen sind aber auch proportional zu den Tierzahlen. Deshalb sind Massnahmen zur Emissionsminderung in erster Linie bei der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung zu verwirklichen. Grundsätzlich gibt es Potenzial zur Emissionsminderung auf drei verschiedenen Ebenen: im Stallbereich, sowie bei der Lagerung und Ausbringung von Hofdünger. (BUWAL/BLW 1996, UNECE 2008, UNECE 2012, BAFU /BLW 2012):

Im Sinne einer guten landwirtschaftlichen Praxis geht es dabei um die Anwendung des heutigen **Standes der Technik** zur Emissionsminderung. Viele dieser Techniken sind gut erprobt und in einigen Ländern (z.B. Dänemark, Niederlande) verbindlich vorgeschrieben und seit vielen Jahren im Einsatz.

Zu den wirksamen Massnahmen nach dem Stand der Technik gehören:

- Im Stallbereich:
 - bei den Stallsystemen kann mit der Konstruktion und dem Betrieb von emissionsarmen Systemen eine Optimierung sowohl der Luftreinhalte- wie der Tierwohlziele erreicht werden kann. Die Grundprinzipien solcher Lösungen sind bekannt (s. Vollzugshilfe Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft). Es geht dabei in erster Linie um die Sauberkeit, d.h. um eine schnelle Trennung von Harn und Kot und deren Abführung in abgedeckte Güllelager, damit die Freisetzung von Ammoniak aus Harnstoff vermindert werden kann.
 - Bedarfsgerechte Fütterung zur Reduktion von Proteinüberschüssen.
- Bei der Hofdüngerlagerung und -ausbringung:
 - bei der Güllelagerung wirksame bauliche Abdeckung zur Vermeidung des Luftaustauschs über dem Lagergut;
 - emissionsarme Ausbringung der Gülle, z.B. mit der bodennahe Schleppschlauchtechnik, Schleppschuh oder Injektion;
 - Einarbeitung von Festmist innerhalb weniger Stunden nach dem Ausbringen;
 - bei der Organisation des Hofdüngereinsatzes, z.B. durch Wahl eines geeigneten Ausbringzeitpunkts: Berücksichtigung der Witterung (vorzugsweise windstill, kühl, feucht) und der Tageszeit (vorzugsweise abends), Verdünnung der Gülle;
 - Emissionsarme Lagerung und Ausbringung von Vergärungsprodukten der landwirtschaftlichen und gewerblichen Biogasherstellung.

Elemente davon sind Gegenstand der Neuausrichtung der Agrarpolitik AP 2014-17 im Rahmen der Überarbeitung des Landwirtschaftsgesetzes (SR 910.1) und dessen Ausführungsverordnungen. Der Bundesrat schlägt ein neues System von „Ressourceneffizienzbeiträgen“ zur Unterstützung von emissionsmindernden Massnahmen vor. Aus lufthygienischer Sicht müsste zudem der Vollzug des geltenden Umweltrechts eine Voraussetzung für die Vergabe von Strukturverbesserungsbeiträgen sein. Damit könnten z.B. emissionsarme Stallsysteme gemäss Vollzugshilfe „Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft“ schneller realisiert werden. Mit dem Wechsel von tier- zu flächenbezogenen Direkt-

zahlungen bei der Rindviehhaltung ist ebenfalls mit einer Abnahme des Viehbestandes und damit der entsprechenden Ammoniakemissionen zu rechnen.

Lachgas / Distickstoffoxid (N₂O)

Lachgas gehört zum regulierten Gas-Paket des Kyoto-Protokolls und des revidierten CO₂-Gesetzes. Im CO₂-Gesetz ist ein inländisches Reduktionsziel für die Summe der Treibhausgase von 20 Prozent bis 2020 gegenüber 1990 festgelegt. Massnahmen zur Reduktion von Lachgas sind in der Klimastrategie Landwirtschaft enthalten (BLW 2011). Zudem können mit einer deutlichen Senkung der atmosphärischen Stickstoffeinträge auch die Lachgasemissionen vermindert werden. Somit bestehen in diesem Bereich Synergien zwischen Klima- und Luftreinhaltepolitik.

6.2 Gewässerschutz

6.2.1 Grundwasser

Reduktionsziele (BAFU/BLW 2008)

Allgemeines Umweltziel

- Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind.
- Reduktion der Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.

Umweltziel Landwirtschaft

- Maximal 25 mg Nitrat pro Liter in Gewässern, die der Trinkwassernutzung dienen oder dafür vorgesehen sind und deren Zuströmbereich hauptsächlich von der Landwirtschaft genutzt wird.
- Reduktion der landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer um 50 % gegenüber 1985.

Für Grundwasser, welches als Trinkwasser genutzt oder dafür vorgesehen ist, gilt gemäss Anhang 4 Ziffer 22 GSchV eine numerische Anforderung von maximal 25 mg Nitrat pro Liter Wasser. Erfüllt ein Grundwasservorkommen die Anforderungen nicht, müssen die Kantone nach Artikel 47 GSchV die Ursachen ermitteln, die möglichen Massnahmen evaluieren und die erforderlichen Massnahmen umsetzen. Der Bericht „Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz“ (Schriftenreihe Umwelt Nr. 209, BUWAL 1993) weist ein Verminderungspotential der jährlichen Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft in die Gewässer von 15'000 t N aus, innerhalb der damals bestehenden gesetzlichen, wirtschaftlichen und sozialen Rahmenbedingungen, welches bis zum Jahr 2010 realisiert werden sollte (38.5% der damaligen Emissionen von 39'000 t gesamt-N in die Hydrosphäre; wovon 37'000 t Nitrat-N).

Handlungsbedarf

Hauptemittentin von Nitrat in der Schweiz ist mit rund 75% die Landwirtschaft (BLW 2008, BLW 2012). Landesweit werden pro Jahr rund 34'000 t Nitrat-N aus der Landwirtschaft in die Gewässer (v.a. Grundwasser) ausgewaschen (Zahl für 2005, gemäss BAFU 2010). Somit wurden vom 1993 ausgewiesenen Reduktionspotential trotz Einführung des ökologischen Leistungsnachweises und der Programme nach Artikel 62a GSchG nur rund 20% realisiert. Ein weiterer Rückgang dieser Nitratverluste zeichnet sich zurzeit nicht ab. Der Verbrauch von Mineraldünger stagniert; der Import und Verbrauch von Kraftfutter steigt sogar deutlich an. Ob und wie sich die AP 2014-17 auf die Nitratauswaschung auswirken wird, ist noch völlig unklar. Einerseits werden gewisse Anreize geschaffen, welche eher zu einer Verminderung führen sollten (zusätzliche Schaffung ökologischer Ausgleichsflächen, Förderung der raufutterbasierten Milchproduktion, Bodenbedeckung im Winter), andererseits kann die verstärkte Förderung der Versorgungssicherheit auch zu einer Intensivierung des Ackerbaus an weniger geeigneten Standorten und damit zu zunehmenden Nitratverlusten führen.

6.2.2 Oberflächengewässer

Reduktionsziele

Die Haupteintragspfade von Stickstoff in Oberflächengewässer sind Einleitungen von kommunalen Kläranlagen (ARA) und die Exfiltration bzw. Drainagen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen (BUWAL 1993). 1986 gelangten noch 45'000 Tonnen Stickstoff aus Landwirtschaftsflächen und 42'000 Tonnen via kommunalem Abwasser in die Schweizer Gewässer.

Für die Oberflächengewässer sind vor allem Nitrit und Ammoniak problematisch. Im Gegensatz dazu verursachen Gesamtstickstofffrachten nach heutigem Stand des Wissens grundsätzlich keine wesentlichen Probleme. Hingegen ist die Stickstoffbelastung flacher Meere, wie zum Beispiel der Nordsee,

für deren Eutrophierung von grosser Bedeutung (BUWAL 1996). Im Laufe der 80er-Jahre verdeutlichten sich die Überdüngungserscheinungen in der Nordsee. In der Folge haben die Nordseeanliegerstaaten und die Internationale Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR) beschlossen, die Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Nordsee von 1985 bis 1995 um 50% zu vermindern (OSPAR-Strategie).

Die Schweiz hat sich als Mitglied der IKSR dazu verpflichtet, angemessene Massnahmen zu treffen. Eine Erfolgskontrolle 1995 zeigte jedoch, dass im Gegensatz zu Phosphor das Reduktionsziel von 50% beim Stickstoff bei weitem nicht erreicht wurde; weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene. Nach dieser Feststellung hat die Kommission zum Schutz des Nordostatlantiks (OSPAR-Kommission) in ihre Strategie zusätzlich die Bekämpfung der Eutrophierung sowie die Erreichung eines möglichst naturnahen Zustands des Nordostatlantiks aufgenommen. Die Zielsetzung zu einer Reduktion der Stickstoffeinträge um 50 % ist weiter beizubehalten. Vor allem der Nährstoffeintrag aus der Landwirtschaft soll gesenkt werden. Bezüglich Abwasserreinigung wurden 1998 zusätzliche Anforderungen für die Einleitung in empfindliche Gewässer definiert (BAFU/BLW 2008).

Im Bereich der Gewässerbelastung durch Stickstoff enthält der Bericht Umweltziele Landwirtschaft das Ziel, die landwirtschaftsbedingten Stickstoffeinträge in die Gewässer gegenüber 1985 um 50 Prozent zu reduzieren (BAFU/BLW 2008).

Handlungsbedarf

Die Stickstoffelimination gilt schon bei vielen Schweizer ARA als Standard. Generell wird gefordert, dass ARA so betrieben werden müssen, dass bei der Abwasserreinigung möglichst viel Stickstoff eliminiert wird (Anh. 3.1 Ziff. 3 Nr. 2; GSchV). Würde man sämtliche ARA mit einer Stickstoffelimination ausrüsten, so könnte man die Schweizer Oberflächengewässer noch mit maximal 6'600 Tonnen Stickstoff entlasten. Mit dem ordentlichen Erneuerungsbedarf wird in den nächsten Jahren sicher ein Ausbau einzelner Anlagen stattfinden und dadurch die eingeleitete Stickstofffracht reduziert. Ob das Potenzial zur Stickstoffelimination voll ausgeschöpft wird, hängt von den politischen Rahmenbedingungen, aber auch von verschiedenen technischen Gegebenheiten ab.

Aus der Bilanz für das Rheineinzugsgebiet unterhalb der Seen (REZGUS) ist ersichtlich, dass die Forderung einer 50%-igen Reduktion der Stickstoffeinträge im Bereich der Landwirtschaft bis heute klar verfehlt wurde. Bis heute wurde nur eine Reduktion von rund 20% erreicht. Während die Einträge 1985 bei 14'300 t N lagen, betragen sie heute rund 11'400 t (OSPAR 2008). Diese Tatsache dürfte auch in Bezug auf die ganze Schweiz zutreffen. Im Vergleich dazu beträgt die Reduktion im REZGUS im Bereich des kommunalen Abwassers 45% (Fracht 1985 18'000 Tonnen; Fracht 2010 9'900 Tonnen (Sieber 2011)).

Aufgrund der bisher getroffenen und der laufenden Massnahmen bei ARA, dürfte das 50%-Reduktionsziel im Rheineinzugsgebiet bei den Stickstoffeinträgen durch Abwasser bald erreicht sein. Da sich zudem der Ausbaustandard bei ARA laufend verbessert, dürfte dadurch die eingeleitete Stickstofffracht noch etwas weiter verringert werden.

6.3 Bodenschutz

Reduktionsziele

Die kritischen Eintragsraten für die Stickstoffdeposition aus der Atmosphäre in Ökosysteme („critical loads“) bilden auch den Massstab für die Reduktionsziele im Bereich Bodenschutz.

Handlungsbedarf

Der Boden ist ein wichtiges dynamisches Umweltkompartiment bei landwirtschaftlichen und natürlichen Ökosystemen. Er erfüllt auch regulierende Funktionen für die Luft und Wasser. Die atmosphärischen Einträge und die direkten Verluste aus der Landwirtschaft sind die wichtigsten Eintragspfade für Stickstoffverbindungen im Boden. Die Beschränkung dieser Immissionspfade ist notwendig, um die Bodenbelastung durch Stickstoffverbindungen zu reduzieren.

Die Massnahmen zur Reduktion des Stickstoffüberschusses im Boden sind indirekt mit den Massnahmen im Bereich Luftreinhaltung sowie Umweltschutzmassnahmen in der Landwirtschaft verbunden (z.B. die umweltgerechte Ausbringung von Hofdünger, die Anforderung zur Erstellung einer ausgeglichenen Düngerbilanz sowie der Ersatz von Mineraldünger durch organischen Dünger).

Die Förderung der minimaler Bodenbearbeitung (z.B. Direktsaat), die eine positive Wirkung auf die Fixierung und Bilanzierung des Kohlenstoffgehalts im Boden hat, erfordert noch zusätzliche Untersuchungen, weil die Erfahrung gezeigt hat, dass die Emissionen von Lachgas 2-3 Jahre nach der Umstellung steigen können.

Massnahmen gegen die Bodenverdichtung müssen umgesetzt werden, weil bei Sauerstoffmangel (der durch die Reduzierung des Porenraums hervorgerufen wird) die Aktivität der anaeroben Bodenbakterien zusätzliche Emissionen von Lachgas in die Atmosphäre verursachen kann.

7 Schlussfolgerung

Die in den bisher vorgelegten Strategien des Bundes zur Stickstoffproblematik aufgeführten ökologischen Ziele und Massnahmen fanden Eingang in die Landwirtschafts- und Umweltpolitik. Massnahmen wurden teilweise bereits umgesetzt. Zum Erreichen der Umweltziele Landwirtschaft [BAFU/BLW 2008], in Bezug auf das nationale Ziel des Luftreinhaltekonzepts LRK des Bundesrates [BBI 2009] sowie bezüglich der Ziele der Waldpolitik 2020 [BBI 2011] besteht jedoch erheblicher Handlungsbedarf:

- 90% der Waldökosysteme und 50% der bezüglich Stickstoff sehr empfindlichen Lebensräume (z.B. Moore, Trockenrasen) erhalten zu hohe Stickstoff-Einträge aus der Luft.
- Der N-Abfluss über den Rhein in die Nordsee ist immer noch deutlich höher als im Naturzustand.
- Die Nitrat-Auswaschung aus landwirtschaftlichen Nutzflächen ins Grundwasser ist zu hoch.
- Die Lachgas-Emissionen aus Böden sind zu hoch.
- Die NO₂-Belastung der Luft entlang stark befahrener Strassen ist zu hoch.
- N-haltige Luftschadstoffe tragen auch zu den hohen Ozon- und Feinstaub-Belastungen bei.

Der angestrebte Reduktionspfad kann aber insbesondere im Bereich Landwirtschaft nicht eingehalten werden. Hier sind zusätzliche konkrete Massnahmen nötig.

Daneben braucht es aber auch eine Verbesserung des Bewusstseins betreffend die Stickstoffproblematik. Angesprochen sind insbesondere die Anbieter, Lieferanten und Konsumenten von landwirtschaftlichen Produkten. Dies als Grundlage, um z.B. mit finanziellen Anreizen aber auch mit klaren Nachhaltigkeitsanforderungen den ökonomisch-politischen Innovationsdruck auf die Landwirtschaft zu erhöhen und damit die Produktion von umweltgerechten Produkten zu fördern.

8 Literaturverzeichnis

BBI 1999. Bericht des Bundesrats über die lufthygienischen Massnahmen des Bundes und der Kantone vom 23. Juni 1999 (Bundesblatt 1999, 7735-7758).

BBI 2009: Bericht Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes vom 11. September 2009, Bundesblatt Nr. 40 vom 6. Oktober 2009, 6585-6616.

BBI 2011. Waldpolitik 2020, vom Bundesrat gutgeheissen am 31. August 2011. Bundesblatt Nr. 48 vom 29.11.2011, 8731-8754.

BAFU/BLW 2008: Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU und vom Bundesamt für Landwirtschaft BLW.

BAFU 2010: Bundesamt für Umwelt: Stickstoffflüsse in der Schweiz. Stoffflussanalyse für das Jahr 2005 (2010).

BAFU / BLW 2012: Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, <http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01308/10890/index.html?lang=de> .

BAFU 2012: NABEL - Luftbelastung 2011. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bern.

BAFU, 2012a: Nährstoffangebot im Boden, Basisdaten aus dem Biodiversitäts-Monitoring Schweiz BDM zum Indikator E6. Bundesamt für Umwelt (BAFU), 3003 Bern.

BAFU 2013: Bundesamt für Umwelt, Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020. Stoffflussanalyse und Entwicklungen (2013).

BLW 2011: Bundesamt für Landwirtschaft: Klimastrategie Landwirtschaft (2011), <http://www.blw.admin.ch/themen/00010/00071/00265/index.html?lang=de>.

BUWAL 1993: Der Stickstoffhaushalt der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 209.

BUWAL, BLW 1996. Strategie zur Reduktion von Stickstoffemissionen. Bericht der Projektgruppe Stickstoffhaushalt Schweiz. Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). BUWAL, Schriftenreihe Umwelt Nr. 273, Bern.

BUWAL 2005. Weiterentwicklung des Luftreinhalte-Konzepts. Stand, Handlungsbedarf, mögliche Massnahmen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Schriftenreihe Umwelt Nr. 379. 171pp.

EKL 1989. Ozon in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, Ed.), Schriftenreihe Nr. 101, Bern.

EKL 2005. Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL). Hg. v. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft BUWAL. Bern (Schriftenreihe Umwelt, 384).

EMPA, Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes während der Smoglagen im Januar/Februar 2006, Empa-Nr. 203'056/4, Dübendorf November 2006.

European Commission, Science for Environment Policy, In-depth report: Nitrogen pollution and the European Environment, Implications for Air Quality Policy; September 2013 <http://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/IR6.pdf> .

The European Nitrogen Assessment: Sources, Effects and Policy Perspectives, Ed. by M. Sutton et al. Cambridge University Press, 2011.

FUB 2012, Ammoniakmessungen in der Schweiz.

Heldstab, Jürg; Leippert, Fabio; Wüthrich, Philipp; Künzle, Thomas (2011): NO₂ ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2015. Hg. v. Bundesamt für Umwelt (Environmental studies, 1123).

C. Hügli et al., Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub, EMPA, Dübendorf 2012.

Landolt E. et al. Flora indicativa, Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen, Haupt Verlag Bern 2010.

LRK 2009; Bericht „Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes“ vom 11. September 2009 ; Bundesblatt Nr. 40, S. 6585-6616.

Nationale Grundwasserbeobachtung NAQUA (2013). Nitrat im Grundwasser.
<http://www.bafu.admin.ch/grundwasser/07500/07563/07577/index.html?lang=de> .

OSPAR 2008; Towards the 50% reduction target for nutrients; Assessment of Implementation of PARCOM Recommendations 88/2 and 89/4. London, 2008.

A. R. Ravishankara et al.: Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance emitted in the 21st Century, Science 326, 123 (2009); DOI: 10.1126/science.1176985.

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 and Environment 178, 121-126.

Sieber, Ulrich (2011): Anwendung der Kennzahlen auf nationaler Ebene. Vortrag Bern, 25. November 2011.

Strähl, Sabrina; Thomann, Michael (2013): Stickstoffelimination in Schweizer ARA. Aqua & Gas No5, 2013, S. 74 – 84.

UBA Bericht „Stickstoff – zu viel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren“; erhältlich auf: www.umweltbundesamt.de .

UNECE 2008: Leitfaden über Techniken zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniak-Emissionen (Vereinte Nationen, Wirtschaftskommission für Europa).

UNECE, 2010: Empirical critical loads and dose-response relationships. Convention on Long-range Transboundary Air Pollution, Working Group on Effects. ECE/EB.AIR/WG.1/2010/14.

UNECE 2012: Guidance document on best available techniques for reducing ammonia emission in the agriculture.

United States Environmental Protection Agency (Hg.) (2008): Integrated Science Assessment for Oxides of Nitrogen - Health Criteria. Research Triangle Park, NC (600/R-08/071).

WMO 2012: WMO Greenhouse Gas Bulletin No. 8.

World Health Organization (Hg.) (2013): "Review of evidence on health aspects of air pollution - REVIHAAP Project". First results. Copenhagen.