

Stickstoffbelastung der Umwelt

Stickstoffproblematik – Ursachen, Wirkungen und Massnahmen

Nitratbelastungen im Grundwasser sind vor allem ein Landbauproblem und somit eng mit den Tätigkeiten der Landwirte verknüpft. Die Landwirtschaft ist jedoch auch Opfer hoher Stickstoffbelastungen in der Umwelt (z.B. durch Ozon). Nebst der Landwirtschaft sind verschiedene Tätigkeiten der Menschen für hohe Stickstoffbelastungen verantwortlich. Im nachfolgenden Beitrag werden die wichtigsten Stickstoffflüsse und -belastungen am Beispiel einer urbanen Region (Bezirke Zürich und Dietikon) aufgezeigt sowie die relevanten gasförmigen Stickstoffverbindungen erläutert. Der letzte Teil zeigt schliesslich mögliche Massnahmen und Ansätze zur Reduktion der Stickstoffemissionen und der Umweltbelastung auf.

Stickstoff-Bilanz der Bezirke Zürich und Dietikon

Im KAUZ Nr. 2/1993 wurde eine Stickstoff-Bilanz der Schweiz unter spezieller Betrachtung der durch die Landwirtschaft ausgelösten

Stickstoffflüsse dargestellt. Im nachfolgenden Beitrag werden die Stickstoffflüsse anhand der urbanen Bezirke Zürich und Dietikon aufgezeigt.

Bezirke Zürich und Dietikon

Die Bezirke Zürich und Dietikon gehören zu den am dichtesten besiedeltesten Regionen der Schweiz. Zudem weisen sie eine überdurchschnittliche Dichte an Arbeitsplätzen und Unternehmen auf. Der dritte Sektor (Dienstleistungen) macht rund 78 % der Beschäftigten aus, wogegen der erste Sektor (Land- und Forstwirtschaft) nicht einmal 1 % der Erwerbstätigen beschäftigt. Entsprechend der Bevölkerungszahl ist auch der Bestand an Motorfahrzeugen sehr hoch.

Der Selbstversorgungsgrad ist aufgrund der Siedlungsstruktur und der hohen Bevölkerungsdichte sehr tief (rund 3 – 4 %), folglich

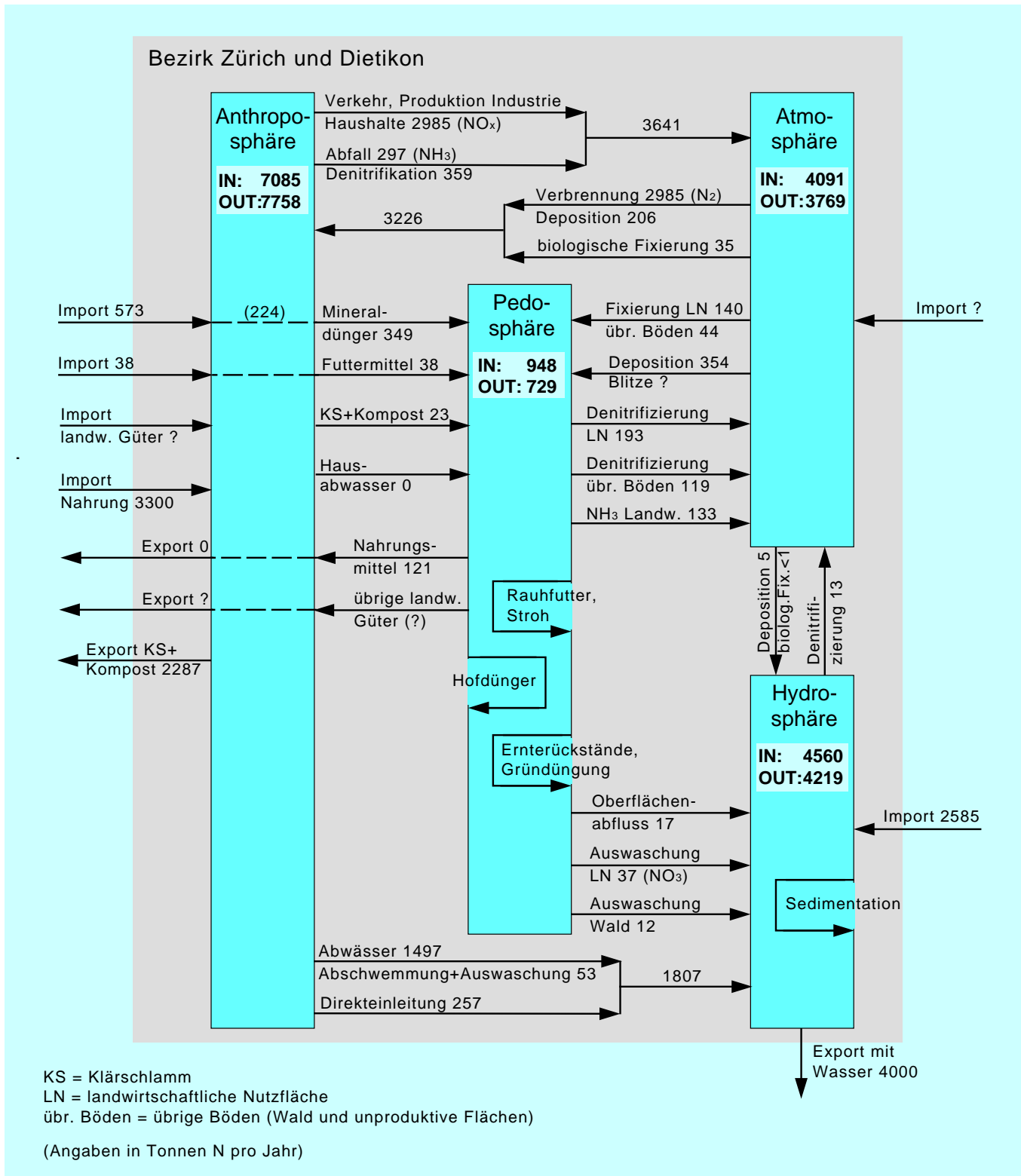
Redaktionelle Verantwortung für diesen Beitrag:
Koordinationsstelle für Umweltschutz
Beat Althaus
8090 Zürich
Telefon 01 259 30 66

(In Zusammenarbeit mit dem Amt für technische Anlagen und Lufthygiene – ATAL)

Wichtige Kenngrössen der Bezirke Zürich und Dietikon im Vergleich mit dem Durchschnitt der Schweiz (Quellen: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bundesamt für Statistik und Schweiz. Bauernverband)

	Bezirke Zürich und Dietikon	Schweiz
Gesamtfläche	14 783 ha	3 998 750 ha
davon		
– Siedlungsfläche	46 %	6 %
– Landw. Nutzfläche (LN)	22 %	38 %
– Wald	30 %	30 %
– unproduktive Flächen	2%	26 %
Einwohner 1990	345 215 (2 335 Einw./km ²)	6 750 700 (173 Einw./km ²)
Düngergrössvieheinheiten (DGVE) 1990	2 960 (1,02 DGVE/ha LN)	1 512 828 (1,41 DGVE/ha LN)
Produktions- und Industriebetriebe 1991	4 248 (28,74/km ²)	79 152 (1,98/km ²)
Motorfahrzeuge 1992	207 167 (600/1 000 Einw.)	3 965 747 (574/1 000 Einw.)
Anschlussgrad an Kläranlagen	100 %	90 % (anschliessbar max. 95 %)

STOFFE



Stickstoffbilanz der Bezirke Zürich und Dietikon 1990 (Quelle: Der Stickstoff-Haushalt in der Schweiz, Eidg. Gewässerschutzkommission, April 1993)

wird sehr viel Stickstoff über die Nahrung in die Region importiert. Aufgrund der hohen Bevölkerungszahl und der Intensitäten der menschlichen Aktivitäten werden grosse Stickstofffrachten von der Anthroposphäre in die Atmosphäre verlagert. Alleine der durch Verbrennungsprozesse (Verkehr, Heizungen

etc.) ausgelöste Stickstofffluss macht rund drei Viertel der gesamten Verlagerung in die Atmosphäre aus. Ein grosser Teil dieser Frachten lagert sich im Boden oder in den Gewässern wieder ab und gelangt so in die Hydrosphäre. Die anfallenden Abwässer werden vollständig Kläranlagen zugeführt, entspre-

chend hoch ist die Stickstofffracht, welche damit in die Hydrosphäre verlagert wird und mit Ausnahme des im Trinkwasser gebundenen Stickstoffanteils die Region über die Gewässer verlässt.

Stickstoff ist vielfältig

Stickstoff kommt in der Natur in vielen verschiedenen Formen vor. Die Umwandlungsprozesse in der Natur sind sehr komplex und vielfältig. Stickstoffverbindungen haben sehr unterschiedliche Wirkungen auf Ökosysteme, Menschen, Tiere und Pflanzen. Nebst nutzbringenden Wirkungen (z.B. für die Produktion von Nahrungsmitteln) verursacht Stickstoff, je nach Art und Konzentration, aber auch verschiedene Umweltprobleme. Die Ursachen und Wirkungen von Nitrat im Grundwasser sowie eine Übersicht über die Nitratsituation im Kanton Zürich wurden im KAUZ Nr. 2/1993, der Vorgängerpublikation der «Zürcher UmweltPraxis» (ZUP), ausführlich behandelt.

Nebst Nitrat sind vor allem die flüchtigen bzw. gasförmigen Stickstoffverbindungen für die Umwelt relevant. Stickoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) belasten die Umwelt; ihre Bedeutung an den gesamten Stickstoffemissionen ist je nach Region verschieden. Während die Auswirkungen der Stickoxide seit längerer Zeit ins öffentliche Bewusstsein gedrungen sind und erste Massnahmen zu greifen beginnen, sind die Auswirkungen von Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) der Allgemeinheit erst ansatzweise bekannt. Dass hier ein enormer Handlungsbedarf an Aufklärung und griffigen Massnahmen besteht, wird klar, wenn man sich bewusst wird, dass die Stickstoffverluste durch Ammoniakverflüchtigungen rund dreimal grösser sind als die Stickstoffverluste durch Nitratauswaschungen.

Die gasförmigen Stickstoff-Verbindungen haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt, Pflanzen, Menschen und Tiere. Nachfolgend werden die wichtigsten Eigenschaften kurz aufgezeigt:

Stickoxide (NO_x)

Bei Verbrennungsprozessen (Motor, Heizung etc.) wie auch bei natürlichen Prozessen (mikrobielle Abbauprozesse, Blitze, Wald- und Buschbrände) entsteht Stickstoffmonoxid (NO), welches zu einem grossen Teil in der Luft sehr schnell zu Stickstoffdioxid (NO_2) oxidiert. Unter dem Begriff Stickoxide (NO_x) versteht man die Summe von NO und NO_2 . Der Anteil der natürlichen NO_x -Emissionen beträgt bei uns nur rund 4 %, die restlichen 96 % sind anthropogene, das heisst durch die Tätigkeiten der Menschen verursachte Emissionen.

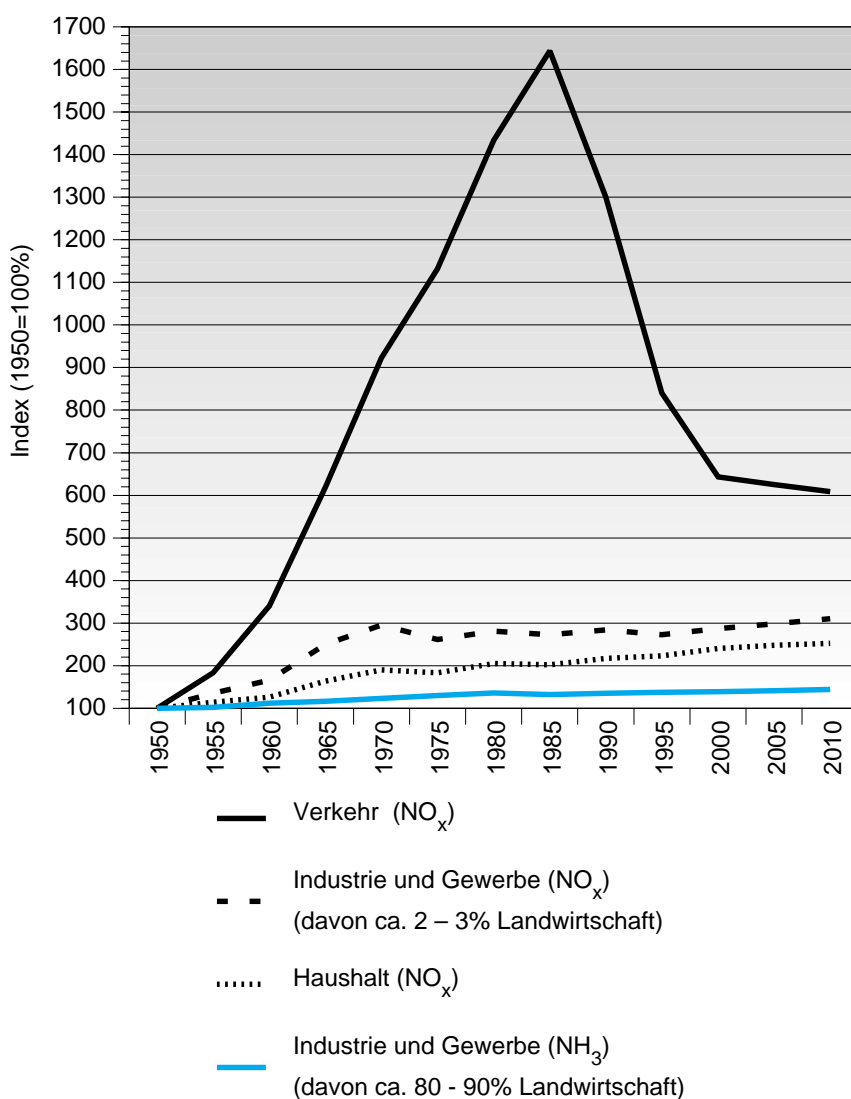
Bei hohen Konzentrationen ($> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wird NO_2 als stechend riechendes Reizgas wahrgenommen.

Die Stickoxid-Emissionen haben sich in den letzten vierzig Jahren knapp versechsfacht. Daran ist vor allem der Anteil der NO_x -Emissionen aus dem Strassenverkehr beteiligt. Zwischen 1950 und 1984 sind sie um das 19fache gestiegen. Aufgrund der getroffenen Massnahmen im Bereich Verkehr und Feuerungen konnten die Stickoxidbelastungen gesamtschweizerisch bis 1993 insgesamt um 30 % verringert werden. Um den Stand von 1960, wie er im Luftreinhaltekonzept des Bundesrates vom 10. September 1986 als Zielvorgabe aufgeführt ist, zu erreichen, ist ein weiterer NO_x -Rückgang von knapp 40 % nötig. Mit den bisher beschlossenen Massnahmen wird die Wirkung voraussichtlich im Jahr 2000 jedoch erschöpft sein. Der dann erreichte Emis-

sionsstand wird aber immer noch viermal höher sein als jener von 1950.

Die Auswirkungen auf Menschen, Tiere und Pflanzen ...

Erhöhte Stickoxidbelastungen können beim Menschen wie auch bei Tieren das Risiko für Atemwegkrankungen (z.B. Bronchitis) vergrössern. Pflanzen nehmen Stickoxide gasförmig auf; sie werden von physiologisch aktiven Pflanzen schrittweise umgewandelt und so für den Eiweissaufbau verwendet. Finden diese Prozesse nicht oder nur reduziert statt (Winter, Nacht), kommt es zu Akkumulierungen von Zwischenprodukten (Nitrit) in den Zellen, was sichtbare Schäden an den Pflanzen (Verdorren oder Gelb-Verfärbungen) verursachen kann und entsprechende Ertragseinbussen zur Folge hat.



Indexierte Entwicklung der Stickoxid- und Ammoniakemissionen seit 1950 nach Verursachergруппen (Quelle: Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 75 und 76, BUWAL)

... auf Boden und Gewässer ...

In der Atmosphäre werden Stickoxide zu Salpetersäure (HNO_3) und Nitrat (NO_3) oxidiert. Ablagerungen von Salpetersäure sind an der Versauerung von Böden und Gewässern mitverantwortlich. In kalkarmen Böden werden

intensiv in den Sommermonaten. Ozon ist eine sehr starke Oxidationsverbindung. Bei Pflanzen beeinträchtigt es die Lebensvorgänge der Zellen, Ertragseinbussen bis zu 20% können die Folge sein. Bei Menschen und Tieren greift Ozon die Schleimhäute an, was zu



Die grössten Stickoxid-Frachten werden nach wie vor durch den motorisierten Verkehr verursacht

Foto Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene

wichtige Nährsalze (Ca, K, Mg etc.) ausgewaschen, was zu Mangelerscheinungen führt und die Widerstandskraft von Pflanzen schwächt (Waldschäden). In gewissen Seen der Alpen kann es zu starken Versauerungen kommen, bis der See praktisch tot ist. Pflanzen- und Tierarten können so aussterben. Übermässiger Säureeintrag bewirkt grossflächige Verschiebungen in den Pflanzengesellschaften zugunsten von Arten, welche säuretoleranter sind. Die daraus resultierenden ökologischen Folgen können nicht abgeschätzt werden.

... und auf Materialien

Stickoxide und das Folgeprodukt Salpetersäure sind aggressive Oxidationsverbindungen, welche gewisse Materialien stark angreifen (Korrosion) und so mit anderen Verbindungen (v.a. Schwefeldioxid und Schwefelsäure) grosse Schäden an Bauten und Denkmälern verursachen.

Photooxidantien

Unter Sonneneinstrahlung bilden Stickoxide zusammen mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) den Sekundärluftschadstoff Ozon (O_3). Dieser Prozess ist besonders

Reizungen von Augen, Nase, Rachen und Hals führt. Speziell gefährdet sind Kinder und Personen, welche im Freien arbeiten oder Sport treiben. Untersuchungen der ETH Zürich zeigen, dass sich die Ozonbelastung in der Agglomeration Zürich von 1963 bis 1987 etwa verdoppelte.

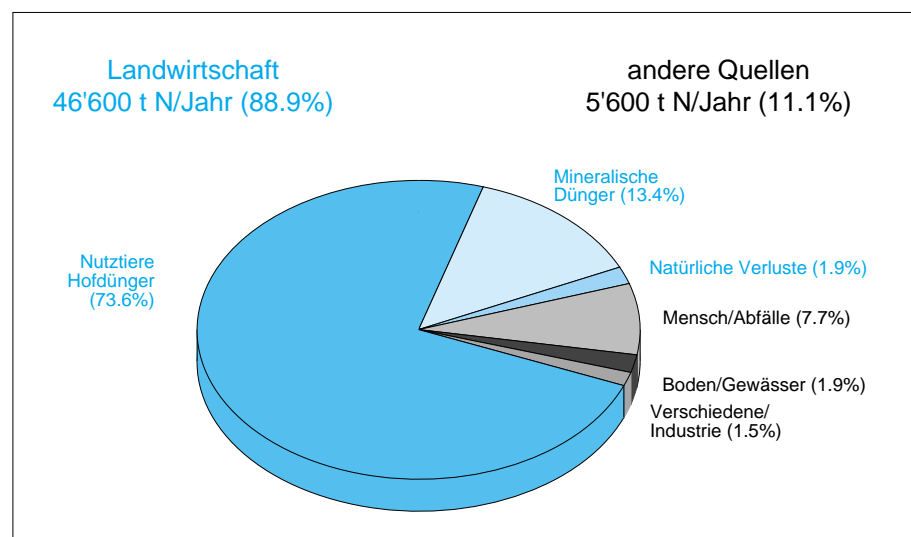
Ammoniak (NH_3)

Bei verschiedenen natürlichen Prozessen fällt Ammoniak (NH_3) an: vor allem in der Tierhaltung durch Verdauung und Ausscheidung (Hofdünger), aber auch durch anderweitige mikrobielle Abbauprozesse im Boden. Der grösste Teil der NH_3 -Emissionen in die Luft (rund 80 – 90 %) stammt aus der Landwirtschaft, wovon rund 75 % die Nutztierhaltung ausmacht. Der Einsatz von mineralischen Handelsdüngern führt ebenfalls zu nicht unbedeutenden NH_3 -Emissionen. Weitere anthropogene Emittenten sind Kläranlagen, Verkehr und Haushalte verursachen dagegen keine nennenswerten NH_3 -Emissionen. Pflanzen nehmen Ammoniak direkt aus der Luft auf. Zahlreiche physiologische Prozesse werden dadurch beeinflusst. Probleme können speziell in der Nähe von grossen Emittenten (z.B. Geflügelfarmen) oder bei übermässigem Einsatz von Jauche auftreten. Für Menschen und Tiere sind die heutigen Ammoniak-Konzentrationen in der Umgebungsluft für sich allein betrachtet unbedenklich.

Im Gegensatz zur starken Zunahme der NO_x -Emissionen haben die NH_3 -Emissionen in den letzten vierzig Jahren nur um rund 35 % zugenommen. Es wird angenommen, dass die NH_3 -Emissionen bis ins Jahr 2010 nur noch gering ansteigen werden.

Die Auswirkungen auf Boden und Gewässer

Ammoniak (NH_3) wird in der Atmosphäre zu Ammonium (NH_4^+) umgewandelt. Durch Depositionen dieser beiden Stickstoffverbindungen auf den Boden bzw. in die Gewässer



Schätzung der jährlichen Ammoniakverluste in die Atmosphäre durch die verschiedenen Quellengruppen (Quelle: F.X. Stadelmann, FAC Bern-Liebefeld, 1987)

kommt es analog zur Stickoxiddeposition zu Versauerungen. Zudem können Schädigungen der Pilz/Wurzel-Symbiose auftreten, was wiederum Störungen der Nährstoffaufnahme nach sich ziehen kann. In kleineren Fliessgewässern, die stark mit Ammonium (NH_4^+) aus geklärten Abwässern oder Jauche belastet sind, können bei hohem pH-Wert kritische Ammoniak-Konzentrationen auftreten, was bei Fischen die Schleimhäute der Kiemen, Nieren und der Leber schädigt. Aufgrund der natürlichen Nitrifikation können zudem kritische Nitrit- (NO_2^-)-Konzentrationen auftreten, die auf Fische ebenfalls toxisch wirken (zur Wirkung des Nitrits vgl. KAUZ Nr. 2/1993, Nitrat im Grundwasser – Ursachen und Wirkungen).

Lachgas (N_2O)

Unter teilweise anaeroben Bedingungen (Sauerstoffarmut) in Gewässern und im Boden wird Nitrat (NO_3^-) in gasförmige Stickstoffverbindungen (N_2 , N_2O und NO) reduziert. Der Anteil der Lachgasemissionen (N_2O) aus dem Boden (Pedosphäre) ist je nach Bodeneigenschaften, klimatischen Bedingungen und Nutzungsart (Kultur) unterschiedlich hoch.

In der Stratosphäre (Luftschicht in rund 15 bis 40 km Höhe) ist Lachgas (N_2O) am Abbau der Ozonschicht beteiligt, was zu erhöhter UV-Einstrahlung auf die Erde führt. Die Folgen davon sind vielfältig: Hautkrebsgefahr beim Menschen und Pflanzenschädigungen. Lachgas (N_2O) ist weiter am Treibhauseffekt in der Troposphäre (bodennahe Luftschicht) beteiligt.

Massnahmen zur Reduktion der Stickstoffflüsse

Stickoxide (NO_x), Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) werden, wie kurz dargelegt, durch verschiedene Prozesse in die Atmosphäre abgegeben. Einerseits gibt es natürliche Prozesse, welche diese Verbindungen freisetzen, andererseits und immer bedeutender sind es vor allem die durch die Tätigkeiten der Menschen (Anthroposphäre) verursachten Emissionen bzw. deren Eingriffe auf den natürlichen Stickstoffkreislauf.

Durch menschliche Aktivitäten wurde die natürliche Hintergrundbelastung der Hydrosphäre um ein Vielfaches erhöht. Je nach Art und Häufigkeit der in einer Region gebräuchlichen Nutzungsformen sowie den natürlichen

Gegebenheiten (Klima, Böden etc.) sind die Verursachergruppen von unterschiedlicher Bedeutung.

Man weiss heute, dass für Stickstoff der «critical load» erreicht bzw. zum Teil deutlich überschritten wird. Unter «critical load» versteht man die höchste für ein bestimmtes Ökosystem gerade noch zulässige Belastung mit einem Stoff, ohne dass langfristig nachteilige Veränderungen in Struktur und Funktion zu erwarten sind.

Entsprechend den Hauptemittengruppen gilt es daher, Reduktionsmassnahmen zu treffen. Nebst den Stickoxid-Emittenten (v.a. Verkehr und Feuerungen) sind dies:

- in urbanen Gebieten die Abwasserreinigungssysteme und
- in Ackerbau- und Viehwirtschaftsregionen die Landwirtschaft.

Konkret lassen sich diese Bestrebungen durch verschiedene Massnahmen kurz- bis langfristig erreichen:

– im Bereich Abwasserreinigung

Es bestehen heute technische Möglichkeiten, Stickstoff dem Abwasser zu entziehen. Sogenannte Denitrifikationsanlagen wandeln Stickstoff in einem ersten Schritt in Nitrat (Nitrifikation) und anschliessend in Luftstickstoff (Denitrifikation) um. Aus ökologischer Sicht dient der Einbau einer solchen Denitrifi-

kationsanlage jedoch nur der Entlastung der Oberflächengewässer, die enorme Ankerbelastung des Stickstoffkreislaufes an sich wird damit jedoch nicht gebremst.

– im Bereich Verkehr und Verbrennung

Die bereits getroffenen Massnahmen zur Reduktion der Stickoxid-Emissionen zeigen erste Anzeichen einer Verbesserung. Es gilt jedoch, diese Massnahmen mit Nachdruck weiterzuverfolgen. Weitere Verminderungen können durch die Schaffung von finanziellen Anreizen zur Senkung des Treib- und Brennstoffverbrauchs (CO_2 - und/oder Energie-Abgabe) erreicht werden.

– im Bereich Landwirtschaft

Die denkbaren Massnahmen zur Verminderung der Stickstoffverluste durch Nitratauswaschung ins Grundwasser wurden im KAUZ Nr. 2/1993 ausführlich dargelegt. Zur Reduktion der Ammoniak-Verflüchtigungen ist eine bessere Hofdüngerbewirtschaftung (Ausbringzeitpunkt, -menge und -technik) sowie eine regionale Reduktion der Tierbestände unumgänglich. In künftigen Luftreinhaltekonzepten sollte ferner dem Ammoniak (NH_3) und dem Lachgas (N_2O) mehr Bedeutung beigemessen werden. So wäre es wünschenswert, speziell für Ammoniak Immissionsgrenzwerte einzuführen. Zusätzliche Massnahmen wären die Einführung von Lenkungsabgaben auf mi-

	Ackerbau-Region	Wiesen/Wald-Region	Alpine Region	Urbane Region	Schweiz im Durchschnitt
Jährlicher Eintrag pro km^2 der Region (in Tonnen N)	4	2	1	13	3
Ursache in %					
– Verbrennung/Verkehr	3 %	6 %	13 %	2 %	8 %
– Abwässer	23 %	16 %	8 %	90 %	37 %
– Landwirtschaft	61 %	52 %	28 %	4 %	38 %
– Natürliche Hintergrundbelastung	13 %	26 %	51 %	4 %	17 %
Verhältnis von menschlich verursachter Belastung zur natürlichen Hintergrundbelastung der Gewässer mit Stickstoff	7:1	3:1	1:1	26:1	5:1

Belastung der Hydrosphäre mit Stickstoff in der Schweiz sowie in vier Modellregionen (Quelle: Eidg. Gewässerschutzkommission, April 1993)

neralische Handelsdünger, Hofdüngerüberschüssen und importierte Futtermittel.

Werden die Massnahmen zur Eindämmung des Stickstoff-Einsatzes weiterhin in einzelnen Teilbereichen getroffen, ohne die Zusammenhänge und Auswirkungen auf sämtliche Umweltbereiche zu kennen, wird es nicht gelingen, die Stickstoffflüsse zwischen Boden, Wasser und Luft zu reduzieren. Mehr Wissen allein bietet aber noch nicht die Gewähr, dass die Umwelt mit weniger Stickstoff belastet wird – eine ganzheitliche Stickstoff-Strategie ist gefordert und diese kann schon bei den persönlichen Lebensgewohnheiten beginnen.

Der Stickstoffhaushalt in der Schweiz

120'000 Tonnen Stickstoff belasten in der Schweiz jährlich die Gewässer. Dies ergaben Untersuchungen der Eidg. Gewässerschutzkommission. Aufgrund weitreichender Analysen und Abschätzungen der Stickstoffflüsse zeigt die Kommission die wichtigsten Konsequenzen für den Gewässerschutz und die Umweltentwicklung auf. Für die einzelnen Umweltbereiche werden Strategien und Massnahmen aufgezeigt und zur Umsetzung empfohlen.

Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) publizierte im Rahmen der Schriftenreihe Umwelt den Bericht der Eidg. Gewässerschutzkommission über den Stickstoffhaushalt in der Schweiz.

Der Bericht (Schriftenreihe Umwelt Nr. 209) kann zum Preis von Fr. 15.- beim BUWAL, Dokumentationsdienst, 3003 Bern, bezogen werden.



Hohe Ammoniakverluste entstehen beim Ausbringen von Jauch bei heissem Wetter

Foto R. Frick, FAT Tänikon



Durch technische Massnahmen beim Ausbringen der Jauche lassen sich die Ammoniakverluste vermindern

Foto R. Frick, FAT Tänikon