

Stickstoff-Deposition in der Ostschweiz 1994 bis 2003

Zusammenfassung



Impressum

Herausgeber:

OSTLUFT: Zusammenschluss der Ostschweizer Kantone AI, AR, GL, SG, SH, TG und ZH, des Fürstentums Liechtenstein sowie Teilen des Kantons GR, zur gemeinsamen Überwachung der Luftqualität.

c/o AWEL, Stampfenbachstr. 12

CH – 8090 Zürich

Projektteam:

OSTLUFT Arbeitsgruppe N-Depositionen

Fritz Zürcher, AfU AR (Vorsitz); Markus Meier, AWEL ZH; Jürg Hertz, AfU TG

Untersuchungen:

Lotti Thöni und Eva Seitler

FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung

Untere Bahnhofstrasse 30, Postfach 1645

CH – 8640 Rapperswil

e-mail: fub@fub-ag.ch

Bezugsquelle

OSTLUFT, c/o AWEL, Stampfenbachstr. 12, CH – 8090 Zürich, info@ostluft.ch

Copyright: Ostluft: www.ostluft.ch

November 2004

Zusammenfassung

Stickstoff-Deposition in der Ostschweiz 1994 - 2003

Fazit:

- **Naturnahe Ökosysteme** erhalten zuviel düngewirksamen Stickstoff aus der Luft, betroffen sind auch Standorte abseits von Quellengebieten.
- In der **Ostschweiz** liegt der Stickstoffniederschlag rund 25 % über dem Schweizer Durchschnitt.
- Die **Stickstoffdüngung** aus der Luft ist über die letzten zehn Jahre unverändert hoch geblieben. Die Hauptbelastung tritt jeweils während der **Vegetationsperiode** auf.
- **Landwirtschaftlichen Quellen** haben in den vergangenen zehn Jahren einen wachsenden Anteil an der gesamten Stickstoffbelastung übernommen, im Unterschied zu den Verkehrsemissionen.
- Der überwiegende Teil der Stickstoffverbindungen aus der Luft ist in der Regel auf Ammoniak-Emissionen der **Nutztierhaltung** zurückzuführen.
- Ammoniak-Stickstoff ist massgebend beteiligt an der längerfristigen **Versauerung** von ungenügend gepufferten Böden.
- Im Umfeld von **Tiermastbetrieben** wurden drei mal höhere Stickstoffeinträge gemessen als auf extensiv bewirtschafteten Flächen.
- **Voralpine** und niederschlagsreiche **Standorte** werden durch weiträumig verfrachtete Stickstoffverbindungen (Ammonium- und nitrathaltige Aerosole) deutlich stärker belastet als Mittellandstandorte.
- Punktuelle Messungen bestätigen die nach dem **BUWAL-Modell** rechnerisch ermittelten Stickstoff-Depositionen.
- Die Kombination von punktuellen Messungen mit emissionsbasierten Abschätzungen bietet eine verlässliche Darstellung der raumübergreifenden **Belastungssituation**.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1.1 Einleitung	5
1.2 Messungen	5
1.3 Messstandorte	5
1.4 Resultate und Interpretation	7
1.4.1 Gesamtstickstoffeinträge	7
1.4.2 Langzeittrend des Gesamt-Stickstoff-Eintrags	8
1.4.3 Herkunft Stickstoffverbindungen	9
1.4.4 Quellen- und Hintergrundbelastung	10
1.4.5 Versauerung	12
1.4.6 Einfluss der Witterung auf Quellenbeiträge und Deposition	13
1.4.7 Saisonale Variation der Stickstoffeinträge	14
1.4.8 Vergleich mit modellierten Gesamteinträgen	15
1.5 Folgerungen	16

1.1 Einleitung

Stickstoffverbindungen aus der Luft überdüngen Wälder und naturnahe Standorte und versauern schlecht gepufferte Böden. Im Hinblick auf einen besseren Schutz der empfindlichen Ökosysteme ist es notwendig mehr über die regionale Belastungssituation und die Herkunft der Stickstoffniederschläge zu wissen. Für eine bessere Beurteilung der regionalen Verhältnisse haben die Verantwortlichen von OSTLUFT neben Modellrechnungen auch differenzierte Messungen genutzt (OSTLUFT 2000 und 2002).

Im Folgenden werden die Feldmessungen zusammengefasst, die in den letzten 10 Jahren im OSTLUFT-Gebiet durch verschiedene Auftraggeber veranlasst worden sind. Die messtechnische und methodische Begleitung erfolgte stets durch die FUB - Forschungsstelle für Umweltbeobachtung in Rapperswil.

1.2 Messungen

Im Rahmen des OSTLUFT-Projektes N-Depositionen wurden ab dem Jahre 2000 folgende Ziele verfolgt:

- Erfassung der Stickstoffbelastungen in Gebieten mit unterschiedlichen Quelineinflüssen
- Sichten und Verwerten von Messergebnissen aus früheren Untersuchungen
- Erarbeitung von Grundlagen für wirksame Handlungsansätze und die spätere Erfolgskontrolle.

Aus diesem Grund wurden der Verlauf der Konzentrationen und Frachten von Stickstoffverbindungen an ausgewählten Standorten in der Ostschweiz jeweils während mindestens einem Jahr erfasst und der Beitrag der verschiedenen Stickstoffkomponenten zum gesamten Stickstoffeintrag ermittelt.

Weil die Stickstoffverbindungen über verschiedene Pfade aus der Luft abgelagert werden, mussten spezielle Probenahmeverfahren benutzt werden. Mit den eingesetzten Techniken (vgl. Probenahme Messbericht) war es möglich, die wichtigsten Stickstoffkomponenten und Begleitstoffe getrennt in der nassen (Regen und Schnee), trockenen (Feinstaub und Aerosole) und in der Gasphase zu erfassen.

1.3 Messstandorte

Im Verlauf der letzten zehn Jahre wurde die Stickstoffdeposition während mindestens einem Jahr an neun unterschiedlichen Standorten erfasst (Abb. Z1). Die genutzten Standorte decken den OSTLUFT-Raum relativ gut ab und er-

möglichen eine gute Differenzierung nach Belastungsfaktoren Quellentyp und Quellenintensität (Tab. Z1)

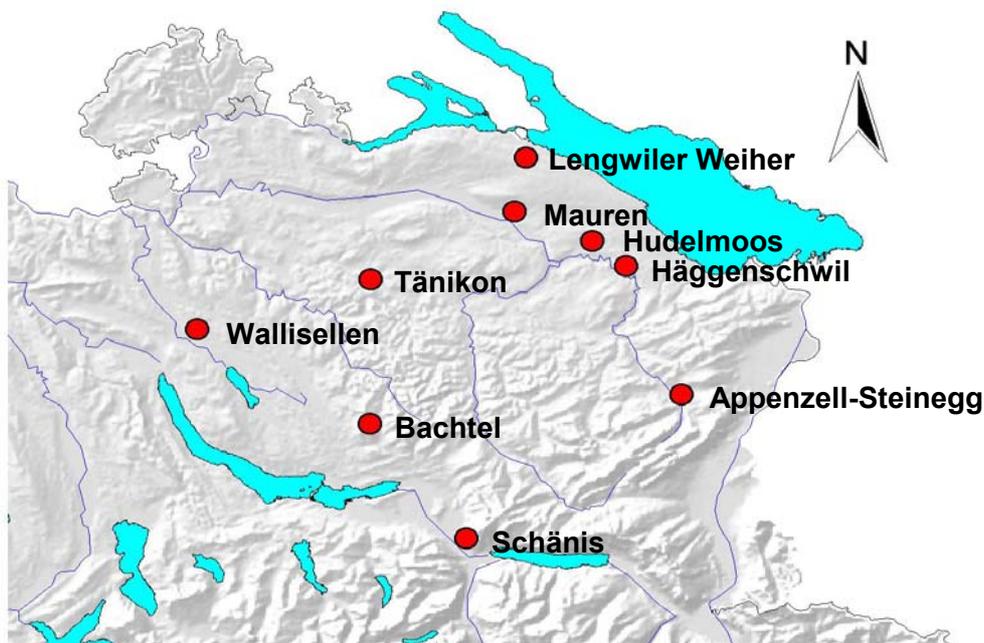


Abb. Z1 Messstandorte an denen die Gesamtstickstoff-Depositionen erfasst wurden.

Tab. Z1 Charakterisierung der Standorte zur Erfassung der Gesamtstickstoff-Deposition (Details im Messbericht)

Quellenaktivitäten	Standort	Abk.	N-Depositions-Messungen
Intensiv bewirtschaftet	Appenzell-Steinegg 820 m ü M	APS	2003
	Haggenschwil 555 m ü M	HÄG	2003
	Mauren (Kant. Messstation) 439 m ü M	MAU	2000
	Tänikon (NABEL-Messstation) 540 m ü M	TAE	2001, 2002 - 2003
halbintensiv bewirtschaftet, Gras- und Weidewirtschaft	Bachtel Hinterer Sennenberg 930 m ü M	BA	1994 - 1998 2001 - 2003
extensiv bewirtschaftet Wald- lichtung	Schänis (WSL-Messtelle) 630 m ü M	SCH	2000, 2002 - 2003
Agglomeration Zürich	Wallisellen Siedlungsrand 470 m ü M	WAL	1995 - 1997, 1999 - 2000
Naturschutzgebiet, von inten- siver Landwirtschaft umgeben	Hudelmoos 520 m ü M	HUD	2000
Naturschutzgebiet, von halbin- tensiver Landwirtschaft um- geben	Lengwiler Weiher 505 m ü M	LEN	2000

1.4 Resultate und Interpretation

1.4.1 Gesamtstickstoffeinträge

Die gesamten Stickstoffeinträge summieren sich aus den nassen und trockenen Ablagerungen und den Beiträgen, die für ausgewählte Rezeptortypen¹ aus der jeweiligen Aerosol- und Gasphasenkonzentration abgeleitet² wurden. Die rezeptorspezifischen Belastungen beziehen sich ausschliesslich auf Messungen im Freiland³.

Die Bewertung der gesamten Stickstoffbelastung erfolgte durch den Vergleich mit anerkannten Belastbarkeitsschwellen (critical loads⁴) für die Rezeptortypen "Feld" und "Wald".

"Feld"-Standorte wie Hochmoore und nährstoffarme, blumenreiche Wiesen werden durch die Stickstoffeinträge aus der Luft überdüngt. An allen neun Standorten waren die Stickstoffeinträge höher, als es für solche Biotop langfristig erträglich ist (Abb. Z2). Die Stickstoffüberlastung aus der Luft ist in Waldökosystemen besonders gross, weil sie die gasförmigen und aerosolgebundenen Stickstoffkomponenten grossflächig auskämmen können (Abb. Z2).

Der mittlere Gesamtstickstoffeintrag in der Schweiz beträgt jährlich 19 kg N ha^{-1} . Im Gebiet von OSTLUFT liegt der Eintrag von Stickstoffverbindungen aus der Luft um etwa ein Viertel höher, bei 23 kg N ha^{-1} (Ostluft 2000, 2002).

¹ Unter dem Rezeptortyp "Feld" werden die Vegetationssysteme Hochmoore und blumenreiche Wiesen (montane Heuwiesen) zusammengefasst, unter "Wald" sind Waldökosysteme zu verstehen.

² Die Depositionsfrachten wurden mit Hilfe der mittleren Depositionsgeschwindigkeiten für ausgewählte Rezeptortypen aus den gemessenen Gas- bzw.- Aerosolkonzentrationen berechnet.

Beim Verzicht auf die separate Erfassung von Aerosolanteilen und Salpetersäure (Messreihen 2003) wurden die Stickstofffrachten nur aus den Gasphasenmessungen (NH₃- und NO₂-Passivsammler) und der kombinierten Erfassung von nassen und trockenen Depositionen (Bulk-Methode) ermittelt. Die nicht erfassten Stickstoffanteile aus Aerosolen und Salpetersäure wurden dabei via Korrekturfaktor mitberücksichtigt.

³ Auch zur Abschätzung der Einträge in den "Wald" wurden nur Daten aus Messungen im Freiland verwendet.

⁴ critical loads: maximaler Stickstoff-Eintrag, welcher ein bestimmtes Ökosystem verkraften kann, ohne langfristig geschädigt zu werden.

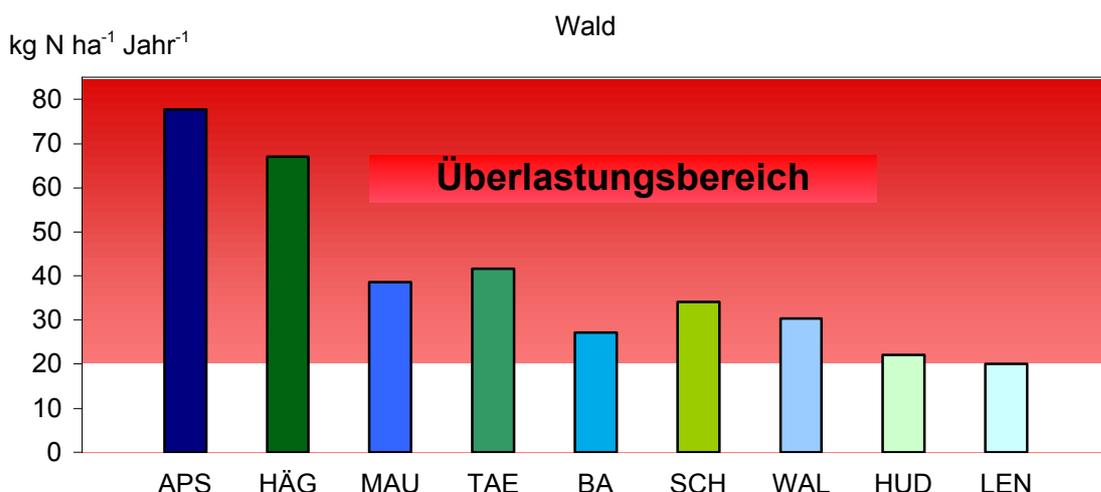
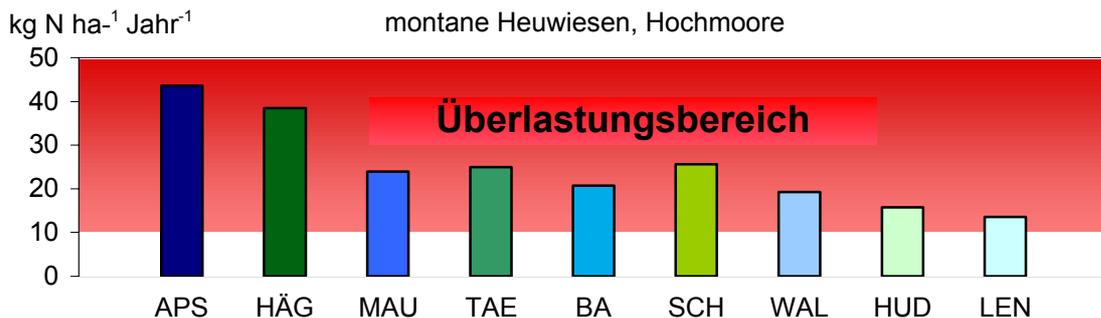


Abb. Z2 Vergleich der Gesamtstickstoffeinträge an neun Standorten (vgl. Tab. Z1) mit den Belastbarkeitsschwellen „critical loads“ (CL) für die Biotope montane Heuwiesen, Hochmoore und Wald. Die Messungen stammen aus den Jahren 2000 und 2003.

1.4.2 Langzeitrend des Gesamt-Stickstoff-Eintrags

An den Stationen Bachtel wurden die wichtigsten Stickstoffkomponenten seit 1994 wiederkehrend während mehrerer Jahren erfasst. Damit kann die langfristige Entwicklung über 10 Jahre verfolgt werden. Auch an den Stationen Wallisellen, Schänis und Tänikon ist während mehrerer Jahre gemessen worden.

Bedingt durch meteorologische Einflüsse (Ausbreitungsbedingungen) schwanken die Stickstoffeinträge aus der Luft von Jahr zu Jahr. Im Mittel ist auf dem Bachtel von 1995 bis 1998 ein geringer Belastungsrückgang zu erkennen. Dieser hat sich nach dem Jahr 2000 nicht mehr fortgesetzt (Abb. Z3). Der Rückgang ist im langjährigen Mittel statistisch nicht signifikant. Zwischen 1995 und 2000 war auch bei der Station Wallisellen kein eindeutiger Trend festzustellen. In Tänikon nahm der Stickstoffeintrag zwischen 2000 und 2003 eher zu, bei Schänis eher ab. Im Gesamten gesehen muss über die letzten zehn Jahre von einem gleich bleibenden Stickstoffeintrag ausgegangen werden.

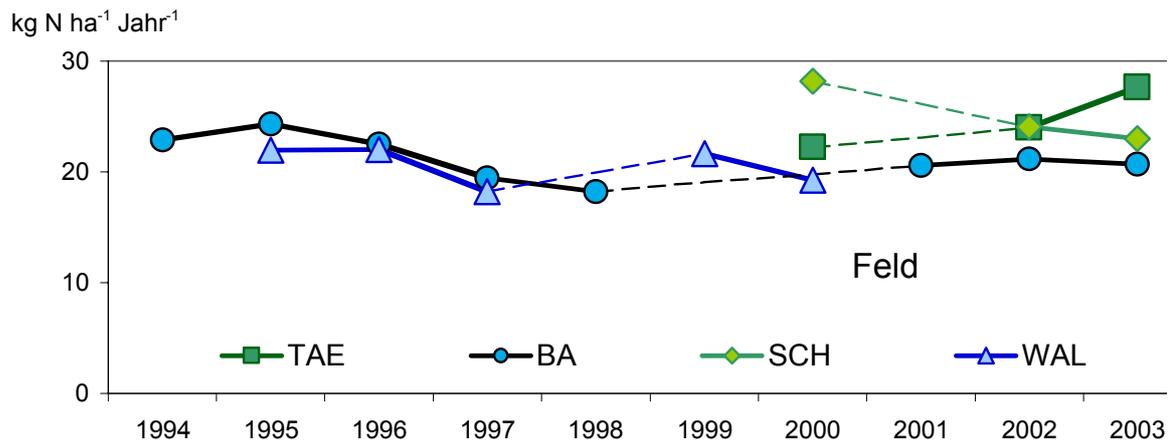


Abb. Z3 Entwicklung der Gesamtstickstoff-Deposition in der Ostschweiz

1.4.3 Herkunft Stickstoffverbindungen

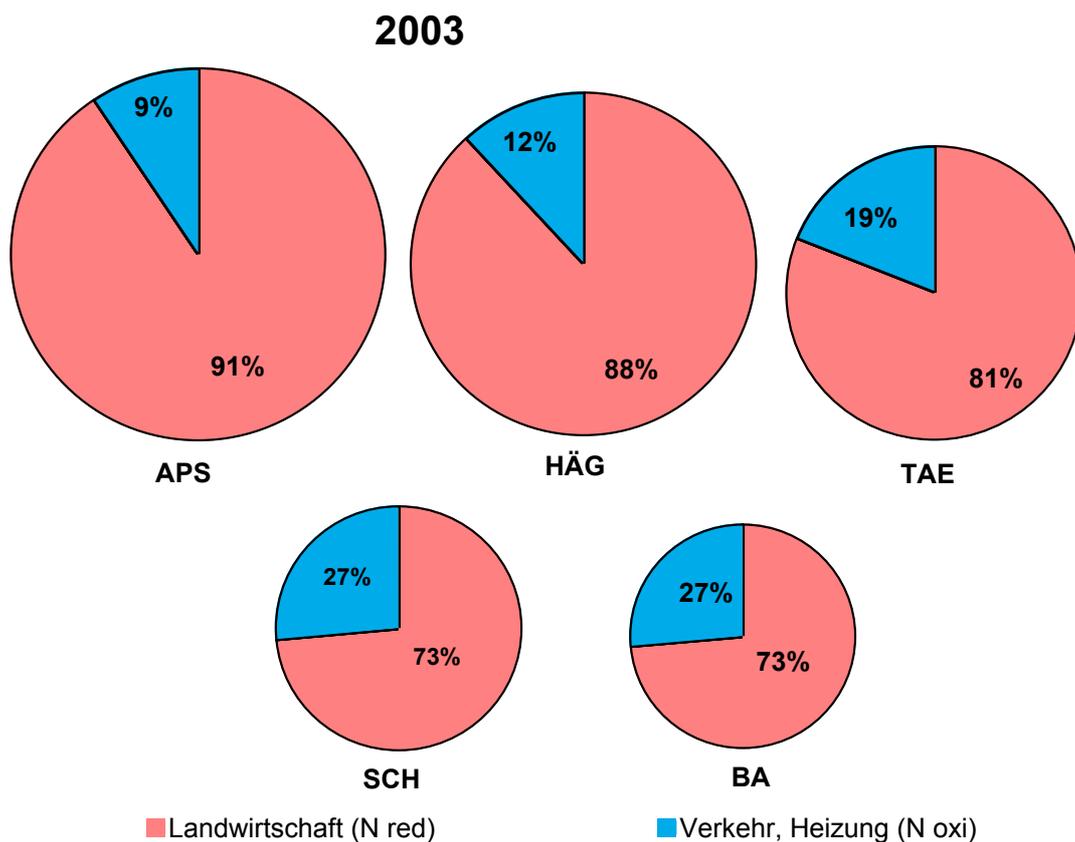


Abb. Z4 Herkunft der Stickstoffbelastung im Ökosystem "Wald". Anteil "Landwirtschaft" (reduzierte Verbindungen) und "Verkehr und Heizung" (oxidierte Verbindungen) im Jahr 2003. Mengenbezogene Darstellung: Fläche ist proportional zu Gesamtstickstoffeintrag. Stationsnamen siehe Tab. Z1.

Die reduzierten Stickstoffverbindungen (N_{red} – Ammoniak und Ammonium) stammen hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Quellen (biogene Prozesse, Zersetzung von Hofdünger und Biomasse). Die oxidierten Stickstoffverbindungen (N_{oxi} – Stickstoffdioxid, Nitrat und Salpetersäure) sind ein Nebenprodukt der Verbrennung und müssen hauptsächlich Verkehrsabgasen und zu einem kleineren Teil Feuerungsabgasen zugeordnet werden.

An allen untersuchten Standorten stellen die reduzierten Stickstoffverbindungen (rot/dunkel) den Hauptteil der gesamten Stickstoffbelastung dar. Im Ökosystem "Wald" erreicht der Anteil der reduzierten Verbindungen als Folge der grossen Auskämmwirkung Werte bis zu 91% der gesamten Stickstoffbelastung (Abb. Z4). Auch für das System „Feld“ werden ähnliche Anteile von reduzierten Stickstoffverbindungen gefunden (nicht abgebildet).

Langfristige Entwicklung von reduziertem und oxidiertem Anteil

In den letzten zehn Jahren blieb die Gesamtbelastung etwa gleich hoch (Abb. Z3), der Anteil der reduzierten Stickstoffverbindungen erhöhte sich jedoch deutlich gegenüber dem oxidierten Anteil (Abb. Z5). Dieses Ergebnis ist Ausdruck der bisherigen Anstrengungen zur Minderung des NO_x -Ausstosses, vor allem durch die Einführung von Katalysatoren bei Benzinfahrzeugen.

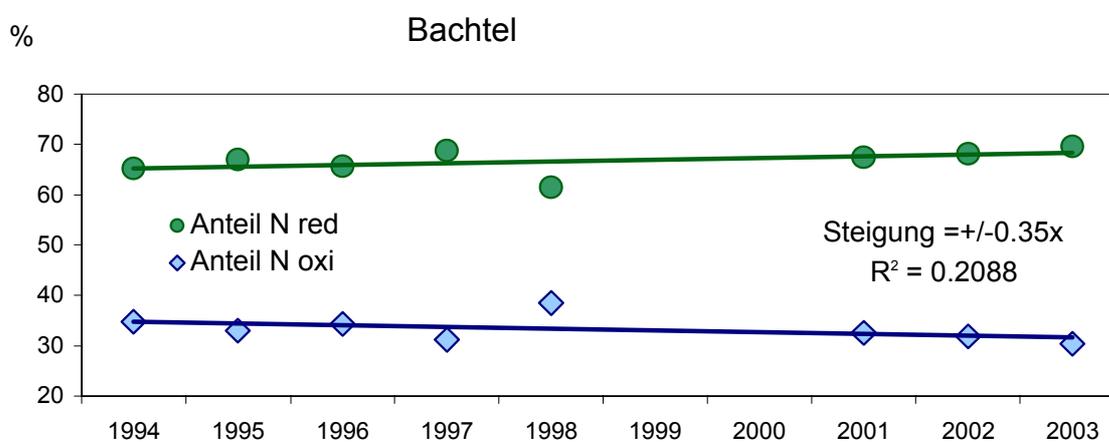


Abb. Z5 Entwicklung der reduzierten und oxidierten Anteile an der Gesamtstickstoff-Deposition auf dem Bachtel

1.4.4 Quellen- und Hintergrundbelastung

Ammoniak ist sehr reaktiv und wird an Vegetationsoberflächen, in feuchter Luft oder an Aerosolen rasch gebunden. Ein Teil dieser Emissionen wird in Quellennähe direkt abgelagert, der Rest wird als Ammonium an Aerosole gebunden und verfrachtet. NO Emissionen werden rasch in NO_2 überführt und schliesslich in Form von Salpetersäure und Nitrat in Aerosolen oder auf Vegetationsoberflächen gebunden.

Je ausgeprägter die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Umfeld, umso bedeutender wird der Beitrag der reduzierten Stickstoffverbindungen an der Gesamtbelastung. (Abb. Z6). Die Stickstoffbelastung durch oxidierte Verbindungen (Verkehrs- und Feuerungsemissionen) wird an verkehrsfernen Standorten eher über nass und trocken abgelagerte Nitrat-Anteile geprägt. Nur in Wallisellen, im Einflussbereich der Agglomeration Zürich, war der NO_2 -Anteil grösser als der Nitratanteil. Der Beitrag der Salpetersäure blieb untergeordnet, er lag jeweils unter 3% der gesamten Stickstoffbelastung.

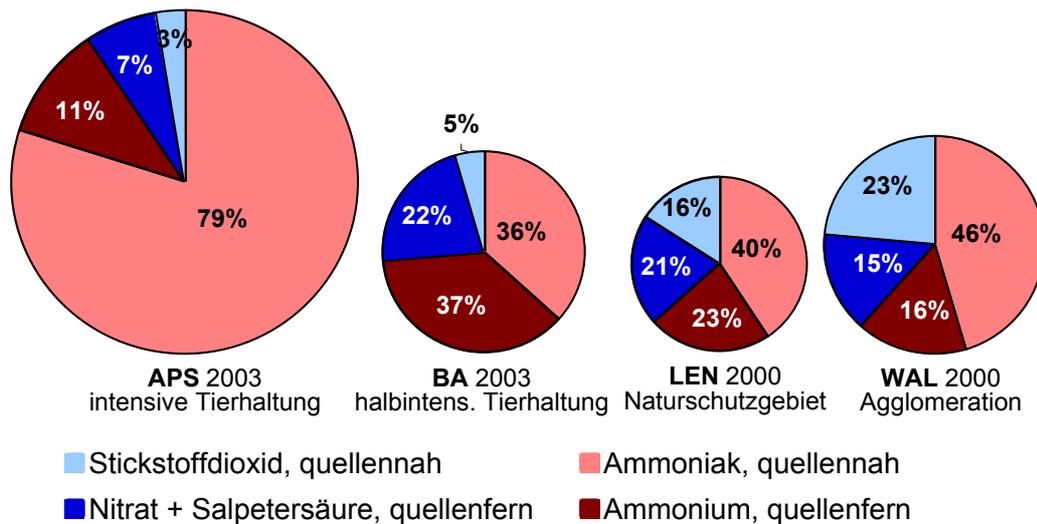


Abb. Z6 Unterscheidung von quellennahen (hell) und quellennahen (dunkel) Anteilen bzw. Quellenbeiträgen aus "Landwirtschaft" (reduzierte Verbindungen - rot) und „Verkehr“ (oxidierte Verbindungen - blau) an vier verschiedenen Standorttypen für das Ökosystem "Wald". Von links nach rechts Abnahme der nutztierhaltungsbedingten Anteile und Zunahme der verkehrsbedingten Beiträge. Mengenbezogene Darstellung: Fläche ist proportional zu Gesamtstickstoffeintrag. Stationsnamen siehe Tab. Z1.

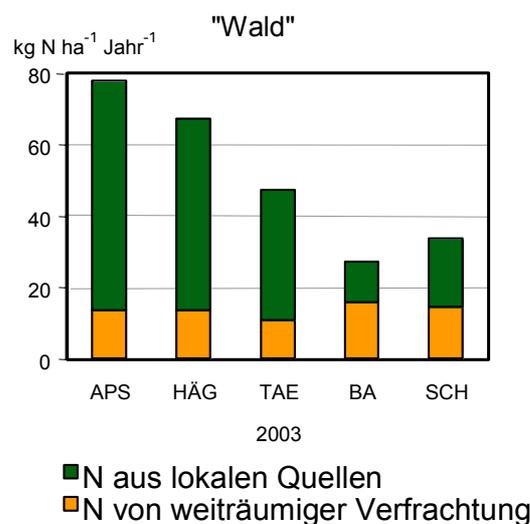


Abb. Z7 Stickstoffeintrag aus lokalen Quellen und über weiträumige Verfrachtung. Verteilung der Anteile an fünf Standorten (Tab. Z1) im Jahr 2003.

Ammonium- und nitrathaltige Aerosole werden bevorzugt durch Niederschläge ausgewaschen sowie als Staub abgelagert. Damit bestimmen sie den Stickstoff-Anteil, der weiträumig verfrachtet wird. Entsprechend ist der Anteil der Stickstoffverbindungen im Niederschlag und im schwebenden Staub regional ähnlich. Unterschiede in der Gesamtbelastung sind in erster Linie von den lokalen, insbesondere den gasförmigen Stickstoff-Beiträgen abhängig (Abb. Z7).

1.4.5 Versauerung

Die durchschnittliche Säurefracht (Protonen- H^+ -Fracht) im Niederschlag hat sich in den letzten zehn Jahren am Standort Bachtel etwa halbiert (Abb. Z8). Dieser Trend ist erkennbar am Anstieg des pH-Wertes im untersuchten Regen.

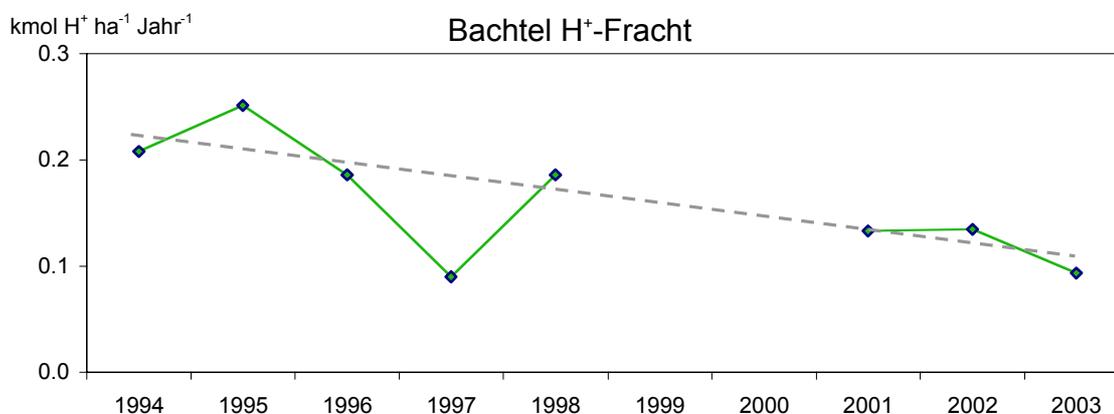


Abb. Z8: Der direkte Säureeintrag über Niederschläge wurde auf dem Bachtel in den letzten 10 Jahren (1994 – 2003) halbiert. Diese Entwicklung ist eine Folge der Minderung der Emissionen von sauren Abgasen (SO_2 und NO_x) in den Bereichen Verkehr und Wärmeerzeugung.

Die sauren Verbrennungsabgase (oxidierte Verbindungen wie NO_x und SO_2) werden in der Luft durch Ammoniak und Mineralstaub teilweise neutralisiert und verlieren damit ihre versauernde Wirkung vor ihrer Ablagerung (Abb. Z8). Das Risiko der Bodenversauerung ist damit aber noch nicht gebannt, weil die reduzierten Stickstoffverbindungen neben der Überdüngung auch bei der Bodenversauerung eine wichtige Rolle spielen. Durch die biologische Oxidation (Nitrifikation) von gelöstem Ammoniak und seinen Salzen wird in der Bodenlösung viel Säure freigesetzt⁵. Die reduzierten Stickstoffverbindungen aus der Luft erhöhen damit das Versauerungsrisiko für schlecht gepufferte Böden massiv (Abb. Z9).

⁵ Für die Berechnung des Säurebildungspotentials wurde angenommen, dass im Boden pro Mol N_{red} (Ammonium und Ammoniak) je ein Mol H^+ freigesetzt werden kann.

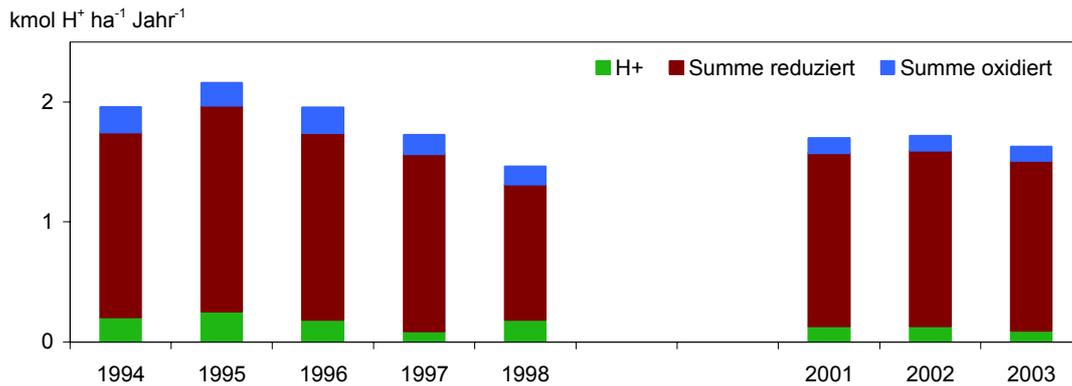


Abb. Z9 Entwicklung des Säure-Eintrages und des Potentials der Bodenversauerung für Wald-ökosysteme im Umfeld der Station Bachtel in den Jahren 1994 - 2003. (Protonenfracht H^+ = Saurer Niederschlag berechnet aus pH und Niederschlagsmenge; Summe reduziert = Versauerungspotenzial, als Gesamtfracht bestehend aus NH_4^+ -Fracht von Niederschlägen und Aerosolen sowie deponiertem NH_3 -Gas. Summe oxidiert = Frachtsumme von sauren Gasen NO_2 und HNO_3)

1.4.6 Einfluss der Witterung auf Quellenbeiträge und Deposition

Witterungsfaktoren beeinflussen die Verfrachtung und Ablagerung von Stickstoffverbindungen unterschiedlich. Im Hitze-Sommer 2003 wurden an den meisten Stationen deutlich höhere Ammoniak-Anteile festgestellt als im Vergleichsjahr 2000 (Abb. Z10, Beispiel Tänikon und Schänis). Erhöhte Temperaturen verstärken die Ammoniakemissionen und beeinträchtigen bei Trockenheit zudem die rasche Bindung in Quellennähe. Mangels Regen wurde im Sommer 2003 auch deutlich weniger Ammonium- und Nitrat-Stickstoff abgelagert (Schänis –40%, Tänikon –20%).

Der Gesamtstickstoff-Eintrag am quellenfernen Standort Schänis ist trotz witterungsbedingten Variationen in den Jahren 2000 und 2003 praktisch gleich geblieben. Im Jahre 2003 wurde der geringere Stickstoffeintrag über Niederschläge durch einen erhöhten Beitrag von Ammoniak aufgewogen. Am quellennahen Standort Tänikon hat die erhöhte Ammoniakbelastung im Hitzejahr 2003 dagegen zu einem deutlichen Anstieg der Gesamtbelastung geführt (Abb. Z10).

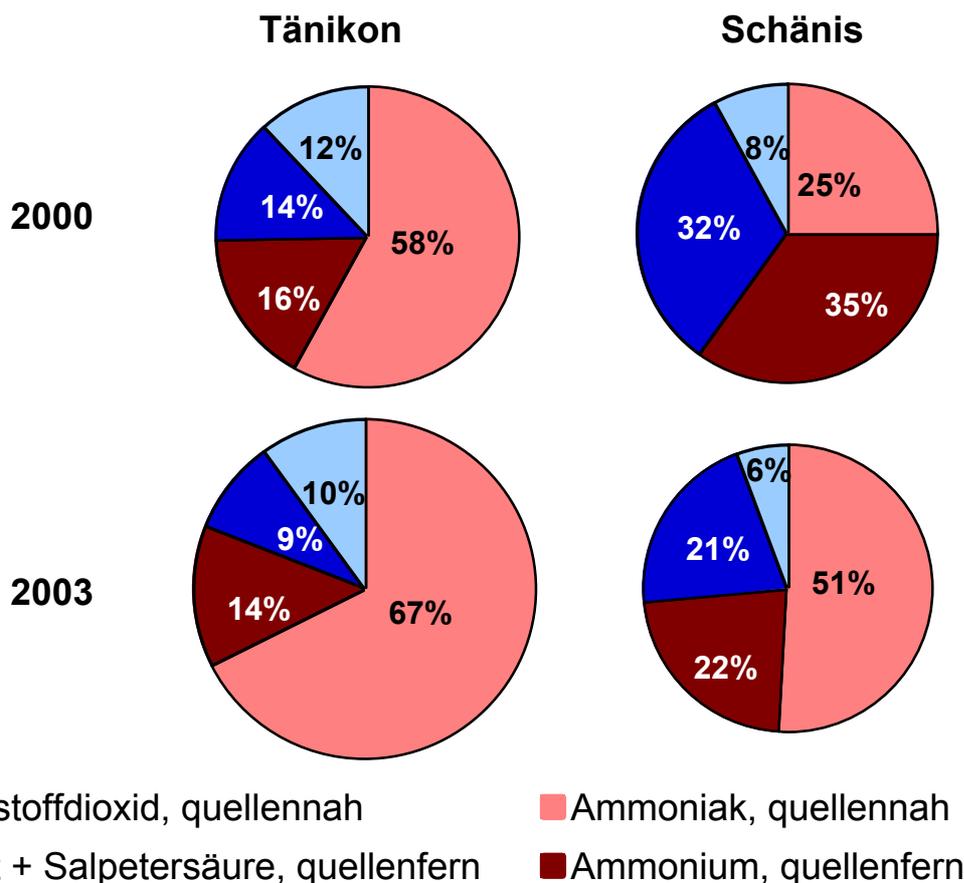


Abb. Z10 Witterungsbedingte Unterschiede der Quellenanteile an der gesamten Stickstoffbelastung im Ökosystem "Wald", an den Standorten Tänikon und Schänis. Vergleich der Jahre 2000 (klimatisch eher durchschnittliches bis feuchtes Jahr) und 2003 (sehr trockenes und heisses Jahr). Mengenbezogene Darstellung, Flächen proportional zum Gesamtstickstoffeintrag.

1.4.7 Saisonale Variation der Stickstoffeinträge

Stickstoffverbindungen gelangen zum grössten Teil durch Gasadsorption und Niederschläge auf die Vegetation. Die Hauptmenge des Jahresniederschlages fällt in der Regel im Sommerhalbjahr, entsprechend verstärkt sich der Stickstoffniederschlag in dieser Zeit. Im Sommerhalbjahr wurden auch häufig erhöhte Ammoniak-Konzentrationen gemessen, die dank der grossen Vegetationsoberfläche während dieser Zeit besonders leicht gebunden werden. Die erhöhten Stickstoffdioxid-Konzentrationen im Winter und die Ammonium- und Nitrat-Gehalten der Aerosole, tragen nur wenig zu den Gesamtstickstoffeinträgen bei⁶.

⁶ Jahresverlauf der einzelnen Komponenten vgl. Detailbericht

Abbildung Z11 zeigt am Beispiel der Stationen Appenzell-Steinegg und Bachtel, dass der Stickstoff zu einem überwiegenden Teil während der Vegetationszeit eingebracht wird⁷.

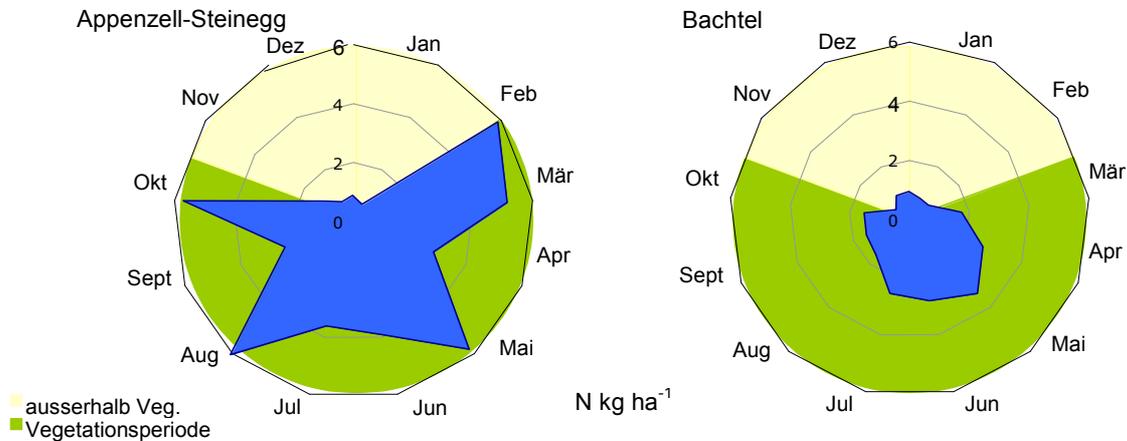


Abb. Z11 Jahresverlauf des Stickstoffeintrags in kg ha⁻¹ an den beiden Stationen Appenzell-Steinegg und Bachtel im Jahr 2003. Die Vegetationszeit ist grün/dunkler, die Nicht-Vegetationszeit ist gelb/heller unterlegt.

1.4.8 Vergleich mit modellierten Gesamteinträgen

Die punktuell gemessenen Gesamtstickstoffeinträge wurden mit berechneten Flächenbelastungen nach dem BUWAL/Meteotest Modell verglichen. Die Modellrechnungen haben sich auf Emissionsdaten aus dem Jahr 2000 abgestützt und unterscheiden den Depositionscharakter typischer Stickstoffverbindungen. Bei den reduzierten Stickstoffeinträgen liegen die Modellwerte z. T. deutlich unter den gemessenen Punktelastungen. Ausgeprägt ist diese Abweichung am Standort Appenzell-Steinegg (APS), dort unterschätzt das Modell den lokalen Gesamteintrag stark (Abb. Z12). Weil sich das Modell auf eine mittlere Flächenbelastung bezieht kann es im Nahbereich von Emissionsquellen (z. B. Tiermastbetriebe Appenzell-Steinegg) zu einer Unterschätzung der tatsächlichen punktuellen Belastung kommen.

Bei der Mehrheit der Stationen ergibt der Vergleich der gemessenen und berechneten Gesamtstickstoffdepositionen eine gute Übereinstimmung (Abb. Z12). Kleinere Abweichungen zwischen Messung und Modell wurden bei Häggenschwil (HÄG), Tänikon (TAE), Schänis (SCH), Mauren (MAU) und Wallisellen (WAL) gefunden.

Bei den oxidierten Stickstoffeinträgen ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und berechneten Werten. Tendenziell zeigt das Modell leicht höhere Werte für oxidierte Stickstoffverbindungen.

⁷ Die Depositionsgeschwindigkeit für NH₃ und NO₂ wurden während der Vegetationsperiode fünf

Bei den Stationen Hudelmoos (HUD) und Lengwiler Weiher (LEN), die in Naturschutzgebieten liegen, überschätzt das Modell die aus Messungen erhaltenen Stickstoffeinträge. Dies kann daran liegen, dass an diesen durch die umliegenden Wälder geschützten Lagen der Auskämmeffekt grösser ist, als das Modell annimmt. Die leichte Überschätzung durch das Modell beim Bachtel (BA) kann mit den speziellen Ausbreitungsbedingungen, die im Modell zu wenig berücksichtigt sind, erklärt werden.

Für die Abschätzung der räumlichen Belastung bieten die Modellrechnungen eine gute Basis. Mit dem flächenbezogenen Modellansatz werden punktuelle Belastungen und lokale Beschränkungen der Ausbreitung teilweise unterschätzt.

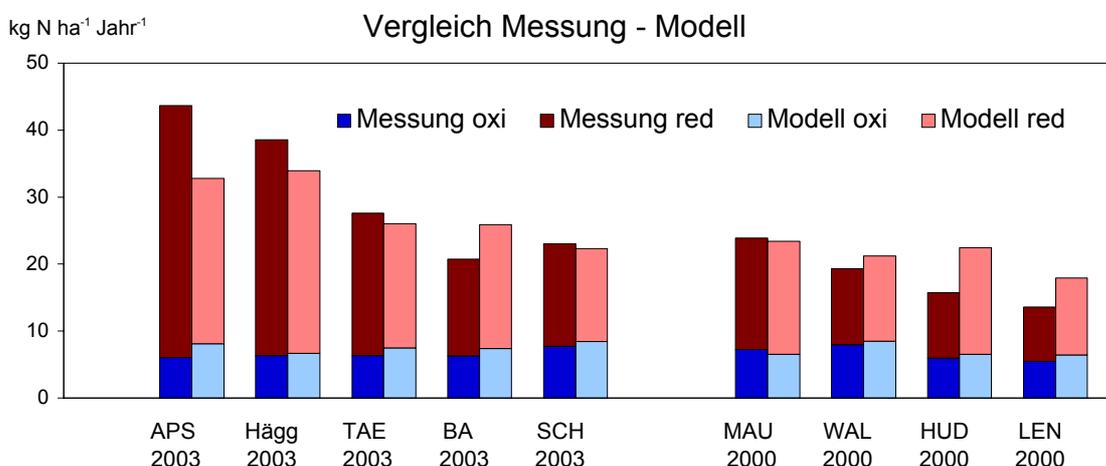


Abb. Z12 Vergleich der Gesamtstickstoffeinträge, die aus Feldmessungen ermittelt bzw. aus Emissionsdaten hochgerechnet wurden. Die Modellberechnungen bieten eine gute Näherung für die Flächenbelastung. Die Belastung in Quellennähe wird zum Teil unterschätzt, in abgeschirmten Bereichen (Naturschutzzonen) überschätzt.

1.5 Folgerungen

Die in den vergangenen Jahren durchgeführten Stickstoffmessungen im Gebiet OSTLUFT liefern eine gute Grundlage für die Beurteilung der regionalen Belastung durch relevante Stickstoffquellen und Verteilungspfade. Die mehrjährigen Untersuchungen bestätigen die kritische Stickstoffüberdüngung von Wäldern und anderen naturnahen Ökosystemen. Die massive Überschreitung der vegetationspezifischen Belastungsgrenzen beeinträchtigt die Stabilität und Vitalität der betroffenen Ökosysteme in unerwünschter Weise. Zum langfristigen Schutz wichtiger naturnaher Ökosysteme sind die stickstoffhaltigen Schadstoffemissionen entscheidend zu reduzieren. Der grosse Handlungsbedarf er-

fordert die Ausschöpfung aller Minderungsmöglichkeiten unabhängig vom Standort und der Intensität der Quellen. Eine grosse Bedeutung hat in diesem Zusammenhang die Minderung der Ammoniakverluste bei der Nutztierhaltung.

Die mit diesem Bericht zusammengestellten Messergebnisse bieten neben der Darstellung der Belastungssituation auch eine gute Basis für die Überprüfung der Wirkung von künftigen Minderungsmassnahmen. Zu diesem Zweck sollten die Ammoniakmessungen in den nächsten Jahren an ausgewählten Stellen weitergeführt werden. Ab 2004 ist die Erfassung von Ammoniak und Stickstoffdioxid mit Passivsammlern an fünf Referenzstellen geplant. Detaillierte Untersuchungen des Stickstoffeintrags sind erst wieder nach etwa fünf Jahre vorzusehen.

Zur Begleitung von umfassenden Massnahmen zur Senkung der Ammoniak-Emissionen kann es sinnvoll sein, die Wirkung durch Messungen zu überprüfen. Für solche Fälle wäre es zweckmässig, mit einem Netz von quellenbezogenen Messstellen und einzelnen Hintergrundstandorten ein Kontrollsystem einzurichten. Die Messungen sollten möglichst schon vor der Umsetzung von Massnahmen in Betrieb genommen werden und mehrerer typische Betriebsphasen umfassen.