

Ammoniakbelastung OSTLUFT 2000 bis 2007



Dezember 2008



OSTLUFT - Verbund der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein
zur Überwachung der Luftqualität

Impressum

Kurztitel: Ammoniakbelastung OSTLUFT 2000 bis 2007

Berichterstattung und
Analysen:



Lotti Thöni, Eva Seitler
FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung
Alte Jonastrasse 83
CH – 8640 Rapperswil
E-Mail: fub@fub-ag.ch, www.fub-ag.ch

Projektleitung: OSTLUFT Arbeitsgruppe Stickstoff-Depositionen
Fritz Zürcher, AfU AR (Vorsitz); Markus Meier, AWEL ZH; Jürg Hertz, AfU TG

Titelbild: Station Schwamendingen (Foto Susanne Schlatter)

Verdankung: Der Dank richtet sich an Personen, welche für den sorgfältigen Probewechsel besorgt waren
sowie Fachleute die ergänzende Daten zur Verfügung gestellt haben

Copyright: Verwendung mit Quellenangabe erlaubt

Bezugsquelle: Download unter www.ostluft.ch
OSTLUFT, Geschäftsleitung, Stampfenbachstr. 12, Postfach, 8090 Zürich
Tel. 043 259 30 18, Fax. 043 259 51 78, E-Mail: bestellungen@ostluft.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	2
2	Einleitung.....	4
3	Methodisches.....	6
3.1	Messsystem	6
3.2	Standorteinteilung in Belastungstypen, Bewirtschaftungstypen und Immissionstypen	6
3.3	Messstandorte im Überblick	7
4	Resultate in der Übersicht.....	8
4.1	Ammoniak	8
4.1.1	Jahres- und saisonale Mittelwerte	8
4.1.2	Wirkung von emissionsärmerer Gülleausbringtechnik	9
4.1.3	Vergleich zwischen Vegetationsperiode und Winterruhe.....	10
4.1.4	Mittlere Jahresverläufe und monatliche Schwankungen über die Jahre.....	11
4.1.5	Vergleich mit modellierten Emissionen und Immissionen	12
4.2	Stickstoffdioxid.....	13
4.2.1	Jahres- und saisonale Mittelwerte	13
5	Stationsbeschreibung und Einzelresultate	15
6	Literatur.....	58
7	Grundlagen.....	60
7.1	Empfehlung für Messstandorte	60
7.2	Messmethoden für Ammoniak in der Aussenluft	60
7.3	Passivsammler für Ammoniakmessung	60
7.3.1	Zürcher Passivsammler	60
7.3.2	Radiello Passivsammler	62
7.3.3	Beide Sammler im Vergleich	64
7.3.4	Kalibrierung der Zürcher Sammler auf Radiello Sammler	64
7.3.5	Grund für den Systemwechsel von Zürcher- zu Radiello-Passivsammler	66
7.3.6	Qualitätssicherung.....	66
7.4	Passivsammler für NO ₂ -Messung	69
7.5	Berechnung der Jahres- und Saisonmittelwerte	70
7.5.1	Vollständigkeit der Messperioden	70
7.5.2	Berechnung der Jahresmittelwerte	70
7.5.3	Berechnung der Saisonmittelwerte	70
8	Anhang.....	72
8.1	Ammoniak-Messwerte 2007	72
8.2	NO ₂ -Messwerte 2007	74

1 Zusammenfassung

OSTLUFT verfolgt den Verlauf der Ammoniakkonzentrationen an unterschiedlich belasteten Standorten in der Ostschweiz: von intensiver Nutztierhaltung bis hin zu abgeschirmten Naturschutzgebieten. Seit 2000 wird an vier Stationen gemessen, 2001 und 2002 kamen je eine weitere und 2003 zwei weitere dazu. 2007 wurde zusätzlich an zwei städtischen Standorten gemessen. Die NO₂-Konzentrationen wurden an vier Stationen erfasst.

Die gemessenen Ammoniakkonzentrationen wurden durch landwirtschaftliche Ammoniakquellen stark beeinflusst. Die höchsten Konzentrationen wurden in Gebieten mit intensiver Nutztierhaltung gemessen. Die Jahresmittel erreichten dort Werte von 8 - 10 µg m⁻³ NH₃. Auch an derjenigen städtischen Station, welche direkt neben einer Autobahn liegt, wurde ein relativ hoher Jahresmittelwert von 6 µg m⁻³ NH₃ ermittelt.

Die landwirtschaftlichen Aktivitäten spiegeln sich auch darin, dass in Gebieten mit Viehwirtschaft die Ammoniak-Konzentrationen im Frühjahr durch Gülleausbringung sprunghaft zugenommen haben. In Gebieten mit vorwiegend Ackerbau waren die jahreszeitlichen Schwankungen deutlich weniger ausgeprägt.

Die nach dem BAFU-Modell 2000 aus berechneten Emissionen und ihrer räumlichen Ausbreitung abgeleiteten, örtlichen Ammoniak-Konzentrationen stimmen gut mit den gemessenen Werten überein, nur an Standorten mit intensiver Nutztierhaltung und in Städten unterschätzt das Modell die tatsächlich gemessene Belastung.

Die Erfassung der Ammoniak-Immissionen bietet eine gute Basis für die Beurteilung von standorttypischen Jahresbelastungen, saisonalen Variationen und längerfristigen Belastungstrends, sowie für die Erfolgskontrolle von Massnahmen zur Emissionsminderung.

Die gemessenen NO₂-Konzentrationen an den vier (ländlichen) Standorten waren alle deutlich unter dem LRV-Grenzwert von 30 µg m⁻³.

Die Messungen im Auftrag von OSTLUFT wurden von der FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung durchgeführt.

Aus den bisherigen Untersuchungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Critical Levels für Langzeitexpositionen mit Ammoniak sind in grossen Teilen des OSTLUFT-Gebietes überschritten.
- Während der Vegetationsperiode sind die Ammoniak-Konzentrationen in der Regel deutlich höher als im Winter.
- Im Einflussbereich intensiver Viehwirtschaft sind die saisonalen Spitzenwerte sehr ausgeprägt und es werden im Jahresmittel drei bis vier Mal höhere Ammoniakkonzentrationen gemessen als im Umfeld von extensiv bewirtschafteten Flächen oder Ackerbau.
- Der Ammoniakgehalt der Luft ist ein wichtiger Indikator zur Abschätzung der N-Überlastung (Überdüngung und Versauerung) und der sekundären Aerosolbildung. Er ist zugleich Referenz für die Überprüfung der Wirkung von Entlastungsmassnahmen.
- Der konsequente Einsatz einer emissionsarmen Ausbringtechnik von Gülle (Schleppschlauchverteiler) führte zu einer deutlichen Absenkung der mittleren jährlichen NH₃-Konzentration und einem Rückgang saisonaler Spitzenwerte.

- An den ländlichen, siedlungsfernen Standorten wird die Belastung mit gasförmigen Stickstoffverbindungen durch Ammoniak dominiert, der oxidierte Stickstoffanteil in Form von NO_2 ist untergeordnet.
- Punktuelle Ammoniakmessungen mit Passivsammlern eignen sich gut für die raumübergreifende Beurteilung der Ammoniakbelastung und als Wirkungsnachweis von Massnahmen zur Minderung von Ammoniakverlusten.
- Die Kombination von Konzentrationsmessungen mit emissionsbasierten Hochrechnungen bietet eine raumübergreifende Darstellung der Belastungssituation.

Ausblick

Die Messungen werden im Jahr 2008 weitergeführt. An einigen Standorten werden neben dem Ammoniak auch die Inhaltstoffe im Regen und in Aerosolen bestimmt.

2 Einleitung

Stickoxide (NO_x) aus Verbrennungsprozessen und Ammoniak (NH_3) aus der Landwirtschaft verursachen bedeutende Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme wie Wälder, Moore und oligotrophe Stillgewässer. Sie verursachen langfristig eine beschleunigte Bodenversauerung, welche die Artenzusammensetzung zum Teil massiv und irreversibel verschiebt und die Böden destabilisiert. Die Critical Loads für Stickstoff werden weiträumig – selbst an quellenfernen Standorten – überschritten (UNECE 2003). Die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegen Stürme und Schädlinge nimmt ab. In der Schweiz sind mehr als 90% der Waldstandorte und rund 55% der Flächen von weiteren naturnahen Ökosystemen betroffen. (EKL 2005)

Die Ammoniak-Emissionen betragen im Jahr 2000 in der Schweiz 44 kt N. Die Landwirtschaft verursacht 93% dieser Ammoniakemissionen und ist damit auch die wichtigste Quelle der Stickstoffverbindungen die über den Luftpfad verfrachtet werden. Der Verkehr trägt 3% und Haushalte und Gewerbe 4% zu den Ammoniakemissionen bei. (EKL 2005)

Ammoniak wird meist quellennah deponiert. Ammoniak ist aber auch als wichtigster Säurebinder an der Bildung von Feinstaub beteiligt. Es bildet vor allem mit Stickoxiden und Schwefeldioxid aus Verbrennungsprozessen Aerosole, die über weite Strecken transportiert werden können. (EKL 2005) Während winterlicher Inversionen konnte gezeigt werden, dass etwa zwei Drittel des PM_{10} aus Ammoniumnitrat und -sulfat bestehen (PSI/uwe 2007).

Für Ammoniak und Ammoniumverbindungen gibt es keine Immissionsgrenzwerte (IGW's in Anhang 7 LRV). Das heisst, die Immissionen von Ammoniak und Ammoniumverbindungen gelten dann als übermässig, wenn sie Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften oder ihre Lebensräume gefährden oder wenn sie die Fruchtbarkeit des Bodens, die Vegetation oder die Gewässer beeinträchtigen (Art. 2 Abs. 5 lit. a und d LRV).

Die aus den gemessenen Ammoniakkonzentrationen ableitbaren Stickstofffrachten liegen in intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebieten weit über den von der United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) festgelegten Critical Loads für Ökosysteme. Damit sind die Behörden durch die LRV verpflichtet, Massnahmen zur Minderung der durch Ammoniak verursachten übermässigen Stickstofffrachten zu treffen.

Im Rahmen des UNECE Workshops on Atmospheric Ammonia vom Dezember 2006 wurden die Critical Levels für Ammoniak dem neuesten Stand des Wissens angepasst. Sie tragen den Langzeitwirkungen erhöhter Ammoniak-Konzentrationen Rechnung (UNECE 2007):

- $1 \mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$ für empfindliche Moose und Flechten und Ökosysteme, wo diese niederen Pflanzen ein wichtiger Teil der Unversehrtheit des Ökosystems sind.
- $3 \mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$ für höhere Pflanzen (Unsicherheitsbereich $2 - 4 \mu\text{g m}^{-3}$)

Zurzeit werden verschiedene Massnahmen zur Minderung der Ammoniakverluste in der Landwirtschaft geprüft und durchgesetzt: Änderung der Stallsysteme und Tierhaltungsformen, optimierte Güllelagerung, Gülleaufbereitung und Gülleausbringung, Stickstoffoptimierte Fütterung und bedarfsgerechte Düngung (z.B. Cercl'Air 2002, Agridea & Landwirtschaftsamt Thurgau 2006, Kanton Luzern uwe 2007).

OSTLUFT sichert die gemeinsame Überwachung der Luftqualität für acht Ostschweizer Kantone und das Fürstentum Liechtenstein. Um die regionalen Verhältnisse besser beurteilen zu können, hat sich OSTLUFT im Rahmen des Projektes N-Depositionen um bessere Grundlagen gekümmert.

Auf dem Gebiet der OSTLUFT wurden die gasförmigen Stickstoffverbindungen Ammoniak an acht und Stickstoffdioxid an vier unterschiedlich landwirtschaftlich belasteten Standorten gemessen. Ab 2007 wurde auch an zwei städtischen Standorten Ammoniak gemessen.

Karten, Bilder und Beschreibungen der Standorte, die gemessenen NH_3 -Konzentrationen sowie die modellierten Emissionen werden in Stationsbeschreibungen (Kapitel 5) dargestellt.

Die Daten der Ammoniakmessungen aus dem OSTLUFT-Gebiet werden auch in die gesamtschweizerische Überwachung durch das BAFU einbezogen (Thöni & Seitler 2008). Gleichzeitig können die vom BAFU beauftragten Standorte für den vorliegenden Bericht beigezogen werden.

Diese Messungen ermöglichen eine Übersicht über die Ammoniak-Immissionen und leisten einen Beitrag zur Erfolgskontrolle der bereits ergriffenen und noch geplanten Massnahmen zur Minderung der Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft (BUWAL 2002, Cercl' Air 2002).

3 Methodisches

3.1 Messsystem

Bis 2003 wurden die Ammoniakkonzentrationen mit dem Zürcher Passivsammler erfasst. Anfang 2004 wurde auf Radiello-Passivsammler umgestellt, die eine grössere Austauschfläche aufweisen und damit empfindlichere Messungen erlauben (Kapitel 7.3). Die Vergleichbarkeit der beiden Messmethoden wurde durch Parallelmessungen an verschiedenen Standorten nachgewiesen und die Ergebnisse der älteren Messungen mit Zürcher Passivsammler rückwirkend mit einem konstanten Umrechnungsfaktor auf die neue Messmethode umgerechnet. Somit ist die Kontinuität einer langen Messreihe gewährleistet.

Die Richtigkeit der Passivsammlermessungen wird mit einer unabhängigen aktiven Messmethode (Denuder) sowie durch weitere Untersuchungen laufend überprüft. (siehe Kapitel 7.3.6)

3.2 Standorteinteilung in Belastungstypen, Bewirtschaftungstypen und Immissionstypen

Die Standorte werden auf Grund ihrer geografischen Lage und ihrer unterschiedlichen Immissionsbelastung in Belastungstypen eingeteilt, angelehnt an die Belastungstypen der NABEL-Stationen (Tabelle 1).

Tabelle 1 Einteilung der Standorte in Belastungstypen

Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	BA
Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	APS, HÄG, ESCH, MAU, TAE, HUD, SCH
Städtisch	ZUE
Städtisch , verkehrsbelastet	SWA

Die ländlichen Standorte werden auf Grund ihrer unterschiedlichen Bewirtschaftungsart in Bewirtschaftungstypen eingeteilt (Tabelle 2).

Tabelle 2 Einteilung der Standorte in Bewirtschaftungstypen

Sehr intensiv bewirtschaftet	APS, HÄG
intensiv bewirtschaftet	ESCH, MAU, TAE
extensiv bewirtschaftet	BA, HUD, SCH

Auf Grund der Ammoniak-Jahresmittelwerte der Jahre 2004 bis 2006 wurden die Standorte zusätzlich in Immissionstypen eingeteilt, angelehnt an die Critical Levels für Ammoniak (UNECE 2007) (Tabelle 3). An Standorten mit späterem Messbeginn werden die vorhandenen Mittelwerte berücksichtigt.

Tabelle 3 Einteilung der Standorte in Immissionstypen

> 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH_3	APS, HÄG
5 – 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH_3	ESCH, MAU, TAE sowie SWA
3 – 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH_3	ZUE
1 – 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH_3	BA, HUD, SCH

3.3 Messstandorte im Überblick

In Kapitel 5 sind die Messstandorte dargestellt und ausführlich beschrieben..

Tabelle 4 Charakterisierung der Standorte zur Erfassung von gasförmigen Stickstoff-Komponenten

Belastungstyp	Standort	Abk.	Gas	gemessen
Ländlich Sehr intensiv bewirtschaftet	Ap.-Steinegg 820 m ü M	APS	NH ₃	2003 - 2007
	Hägenschwil 555 m ü M	HÄG	NO ₂ NH ₃ NO ₂	2003, 2005 - 2007 2003 - 2007 2003 - 2007
Ländlich Intensiv bewirtschaftet	Eschlikon 575m ü M	ESCH	NH ₃	2002 - 2007
	Mauren (Kant. Messstation) 439 m ü M	MAU	NH ₃	2000 - 2007
	Tänikon (NABEL-Messstation) 540 m ü M	TAE	NH ₃	2000 - 2007
Ländlich Extensiv bewirtschaftet	Bachtel Hinterer Sennenberg 930 m ü M	BA	NH ₃ NO ₂	1994-98, 2000-07 2004-2007
	Hudelmoos 520 m ü M	HUD 3	NH ₃	2001 - 2007
	Schänis (WSL-Messstation) 630 m ü M	SCH	NH ₃ NO ₂	2000, 2002 - 2007 2000, 2002 - 2007
	Zürich (Kaserne, NABEL-Messstation) 410 m ü M	ZUE	NH ₃	2007
Städtisch, verkehrsbelastet	Schwamendingen (Zürich, OSTLUFT-Station) 430 m ü M	SWA	NH ₃	2007

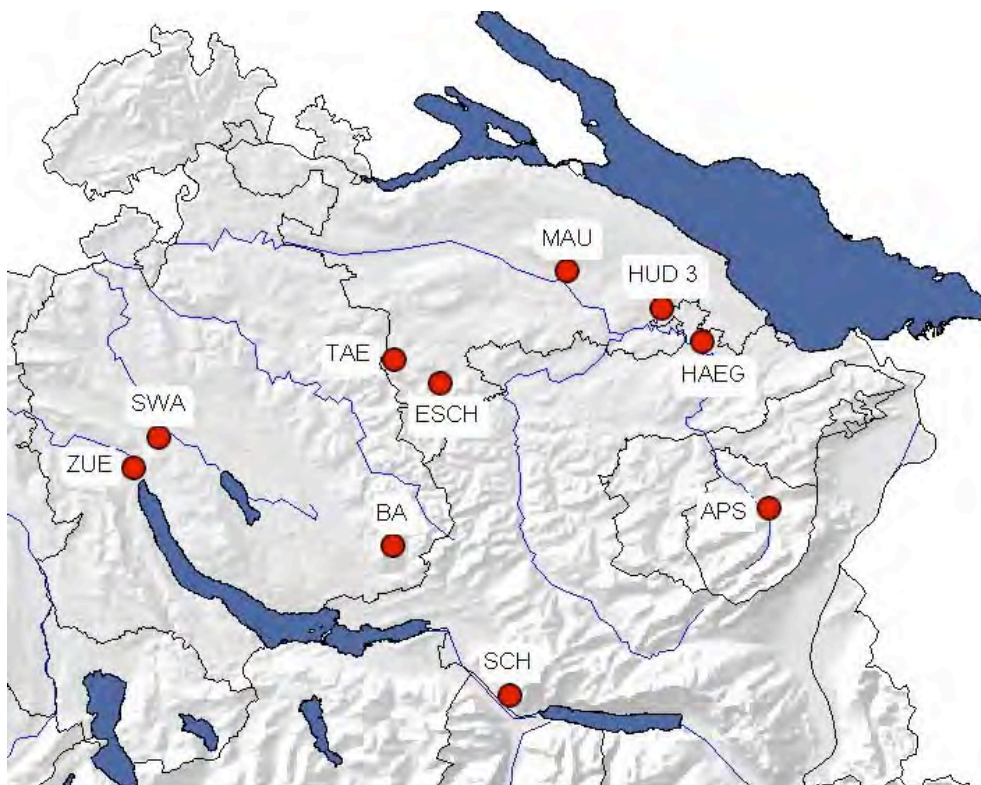


Abbildung 1 Die Standorte, an denen (auch) 2007 Ammoniak gemessen wurde.

In Abbildung 2 sind die Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen dargestellt. In Tabelle 5 sind zusätzlich die Saisonmittelwerte und die Mittelwerte der Vegetationsperiode aufgelistet.

4.1.2 Wirkung von emissionsärmerer Gülleausbringtechnik

Bei der Station Bachtel wurde mit einem Jahr Unterbruch seit 1993 Ammoniak gemessen. Die Jahresmittelwerte bei der Station Bachtel schwankten innerhalb von 1.6 – 2.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ (Abbildung 3). Die Immissionsmessungen zeigten zwischen 1993 und 2007 keine signifikante Tendenz zu einer Ab- oder Zunahme.

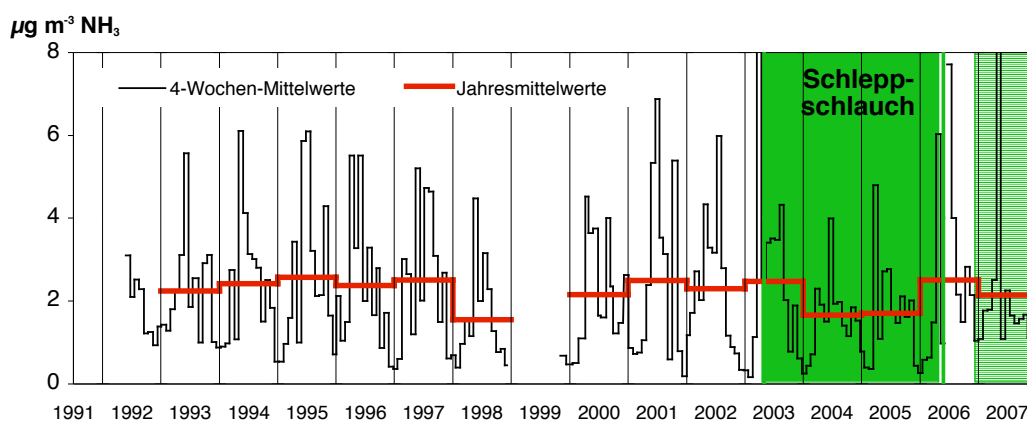


Abbildung 3 Ammoniak gemessen bei der Station Bachtel. Grüne Fläche: von April 2003 bis Mai 2006 wurde mit Schleppschlauch-System gegüllt, vorher und nachher mit Breitverteiler-System. (2007 beide Verfahren)

Nach Auskunft von Christian Knecht, Bauer bei der Station Bachtel, sind Menge und Häufigkeit der Gülleausbringung und Anzahl Vieheinheiten seit 1993 jedes Jahr ungefähr gleich geblieben. Das Verfahren zur Gülleausbringung wurde jedoch gewechselt. Von März 2003 bis Mai 2006 wurde mit dem Schleppschlauchverfahren gegüllt, vorher und nachher (wegen Defekt am Schleppschlauch) mit Breitverteiler. Im Jahr 2007 wurden beide Gülleausbringverfahren verwendet.

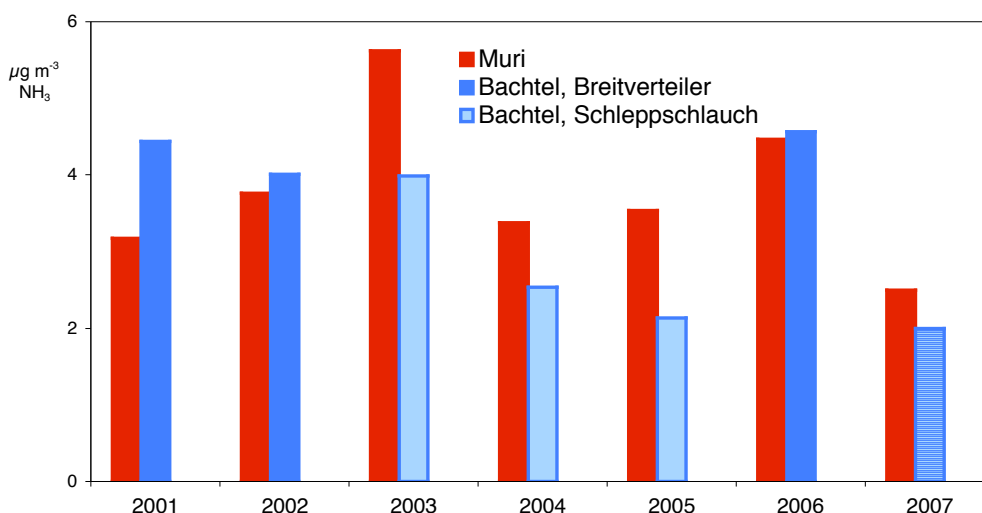


Abbildung 4 Vergleich der Sommer-Mittelwerte (Juni - August der Stationen Muri und Bachtel. Gülleausbringung auf dem Bachtel: 2001, 2002 und, 2006 mit Breitverteiler, 2003 bis 2005 mit Schleppschlauch, 2007 beide Verfahren

In Abbildung 4 werden die Ammoniakkonzentrationen der Stationen Bachtel mit dem ähnlich belasteten Muri verglichen. In den Jahren mit Gülleausbringung durch Breitverteiler auf dem Bachtel waren die Sommermittelwerte zwischen 2% und 40% höher als in Muri. In den Jahren, in denen auf dem Bachtel mit Schleppschlauch gegüllt wurde, waren die Sommermittelwerte hingegen 25 bis 40% tiefer als in Muri. Die kleineren Konzentrationen sind ein Hinweis, dass das Schleppschlauchverfahren die Emissionen von Ammoniak deutlich mindern kann. Im Jahr 2007 wurden auf dem Bachtel beide Gülleverfahren verwendet.

4.1.3 Vergleich zwischen Vegetationsperiode und Winterruhe

Die Ammoniakkonzentrationen der Vegetationsperiode (März bis November eines Jahres) wurden mit derjenigen der Winterruhe (Dezember vom Vorjahr, Januar, Februar) verglichen.

In der Regel sind die Ammoniakkonzentrationen während der Vegetationsperiode höher als während der Winterruhe. Besonders deutlich zu sehen im Jahr 2003, wo die Temperaturen während der Vegetationsperiode aussergewöhnlich hoch waren (Abbildung 5 links).

Standorte in Gebieten mit intensiver Tierwirtschaft weisen meist auch während der Winterruhe hohe Ammoniakimmissionen auf (Abbildung 5 rechst).

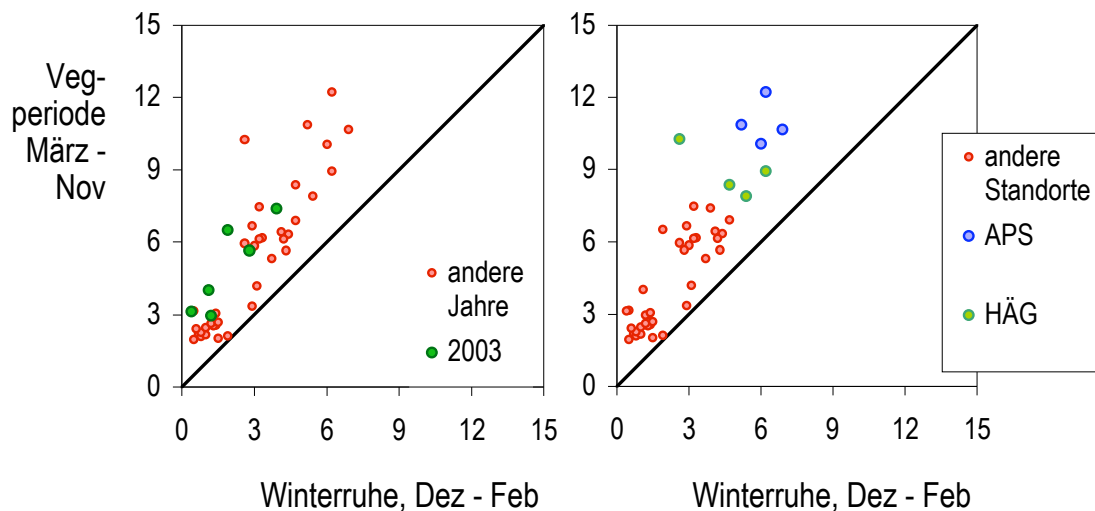


Abbildung 5 Vergleich der Ammoniakkonzentrationen während der Winterruhe (Dezember bis Februar) mit der Vegetationsperiode (März bis November) eines Jahres in $\mu\text{g m}^{-3}$. Datengrundlage sind alle gemessenen Standorte in den Jahren 2000 - 2007.

Hervorgehoben sind links alle im Jahr 2003 gemessenen Standorte, rechts die Standorte mit den höchsten Ammoniakimmissionen.

4.1.4 Mittlere Jahresverläufe und monatliche Schwankungen über die Jahre

In Kapitel 5 ist von jedem Standort der Jahresverlauf der Ammoniakwerte abgebildet. Dazu wurden alle Monatsmittelwerte eines Monats übereinander als Kreise, die Mediane dieser Monatsmittelwerte als grüne Striche dargestellt.

Diese Darstellung zeigt, wie stark die Werte eines Monats in verschiedenen Jahren schwanken und wie sich der Jahresverlauf entwickelt.

Bei einer extensiv bewirtschafteten Station sind die Schwankungen eines Monats in verschiedenen Jahren und die Schwankungen im Jahresverlauf klein (Abbildung 6). Im Winter sind die Ammoniakkonzentrationen sehr tief.

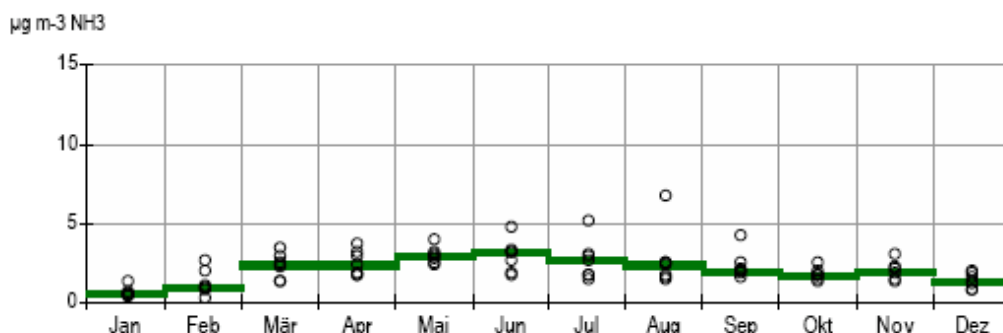


Abbildung 6 Beispiel: Jahresverlauf der Station Schänis, extensiv bewirtschaftet

In Gebieten mit Tierhaltung ist auch im Winter eine Grundbelastung mit Ammoniak vorhanden (Abbildung 7). Die Ammoniakbelastung variiert bei Standorten mit höherer Bewirtschaftungsintensität stärker. Oft sind hohe Ammoniakkonzentrationen drei Mal im Jahresverlauf – im Frühling, Sommer und Herbst – zu beobachten (siehe auch Kapitel 5). Naheliegend ist, dass vor allem in diesen Perioden gegüllt wird.

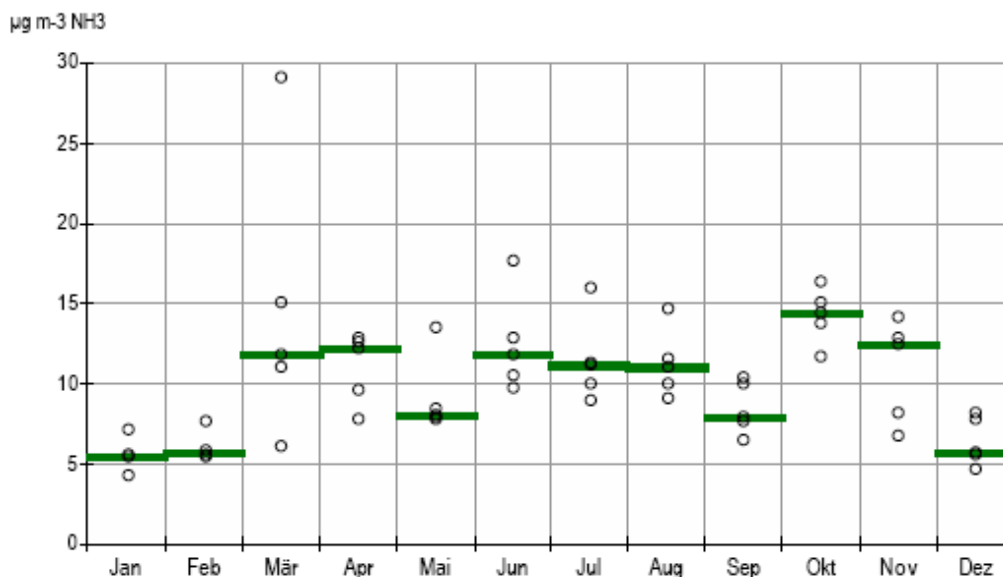


Abbildung 7 Beispiel: Mittlerer Jahresverlauf der Station Ap.-Steinegg, Tierhaltung

4.1.5 Vergleich mit modellierten Emissionen und Immissionen

Für die ganze Schweiz wurde die räumliche Verteilung der Ammoniak-Emissionen im Hektarraster modelliert (genauer in Kapitel 5, Ammoniakemissionen):

Die Emissionen haben das Bezugsjahr 2000 und werden den gemessenen Konzentrationen der Jahre 2000 bis 2007 gegenübergestellt.

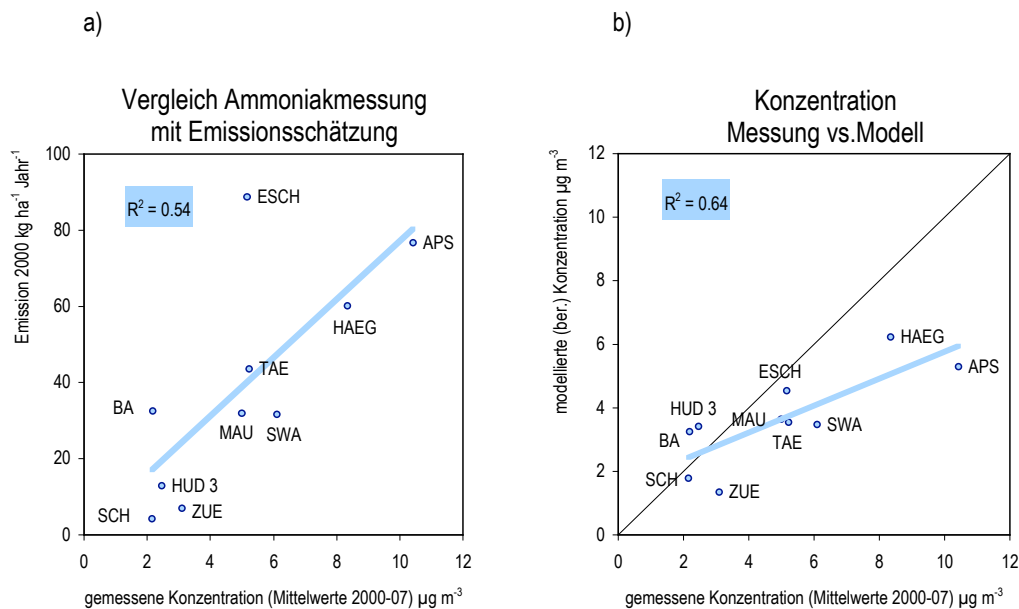


Abbildung 8 a) Vergleich der mittleren Ammoniak-Konzentration (Jahre 2000 - 2007, wenn vorhanden) mit den Emissionen am jeweiligen Standort (Grundlage Jahr 2000). Berücksichtigt sind die Emissionen im Radius von 0.5 km um die Station.

b) Vergleich der gemessenen mit den modellierten (berechneten) Konzentrationen (Emissionsdatengrundlage 2000)

Die blauen Linien sind die Regressionsgeraden.

Für die Abbildung 8a wurde die Summe der Emissionen aus den Quellen Landwirtschaft, Haushalt und Industrie/Gewerbe sowie Verkehr im Radius von 0.5 km um die Station verwendet. Die Abbildung 8a zeigt also, welche Stationen im Vergleich mit anderen Stationen relativ stark von "lokalen" Quellen (bis 500 m Distanz) beeinflusst sind, z.B. Eschlikon (ESCH) und Bachtel (BA). Vergleichsweise deutlich höhere Verhältnisse von gemessener Konzentrationen zu "500 m"-Emissionen zeigen Schänis (SCH) und Zürich Kaserne (ZUE); Dort wirken entweder Emissionen ausserhalb des 500 m-Radius mit, oder es sind im Modell nicht berücksichtigte Quellen vorhanden.

Mit einem Modell, in dem neben der Emissionsdichte auch die Ausbreitung, Deposition und Umwandlung in andere Komponenten berücksichtigt wird, wurde die Konzentration am jeweiligen Standort rechnerisch abgeschätzt (Abbildung 8b, Thöni et al. 2004).

In Ap.-Steinegg (APS) beträgt die modellierte Konzentration nur ca. die Hälfte der gemessenen Konzentrationen. Diese Station liegt teilweise nahe bei Punktquellen (Bauernbetriebe in 100 bis 200 m Abstand), was vom gesamtschweizerischen Modell kaum nachgebildet werden kann.

Hohe Konzentrationen scheinen mit dem Modell eher unterschätzt zu werden. Die Unterschiede können aber auch eine Folge der verschiedenen Bezugsjahre sein.

4.2 Stickstoffdioxid

4.2.1 Jahres- und saisonale Mittelwerte

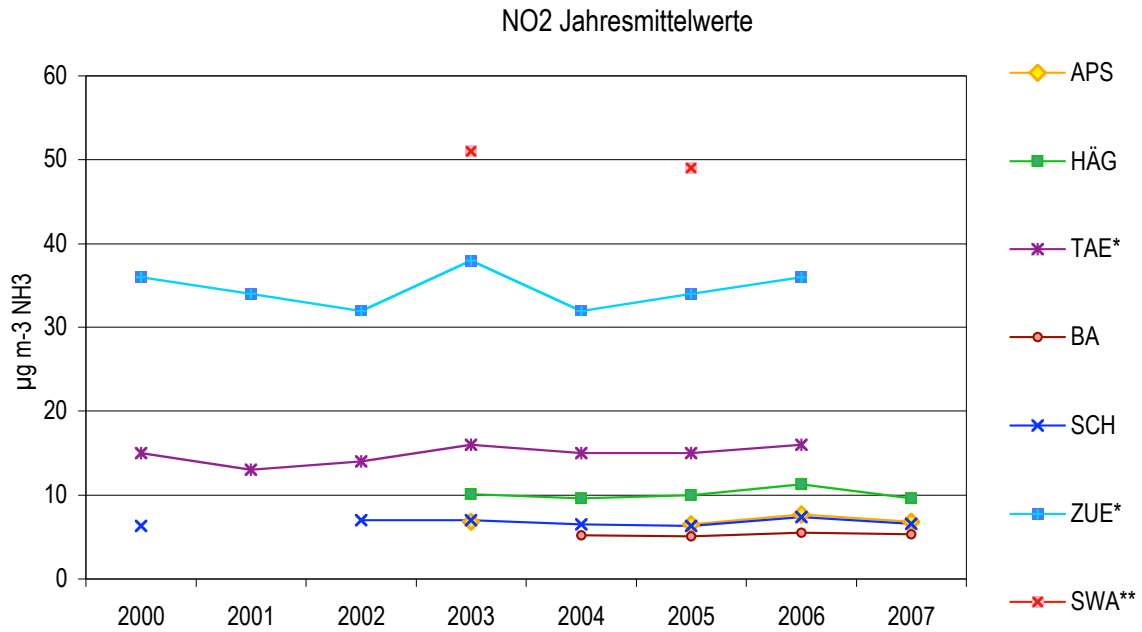


Abbildung 9 Verlauf der Verlauf der NO₂-Jahresmittelwerte in µg m⁻³

* = Daten aus kontinuierlichen Messungen des NABEL (BAFU/Empa)

** = Daten aus kontinuierlichen Messungen der OSTLUFT

Quelle für NABEL- und OSTLUFT-Jahresmittelwerte:

www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/blick_zurueck/01694/index.html?lang=de, 18.8.2008

In Abbildung 9 sind die Jahresmittelwerte der NO₂-Konzentrationen dargestellt. In Tabelle 6 sind zusätzlich die Saisonmittelwerte aufgelistet.

Die gemessenen NO₂-Konzentrationen an den vier (ländlichen) Standorten waren alle deutlich unter dem LRV-Grenzwert von 30 µg m⁻³.

Die NO₂-Konzentrationen zeigen keinen Zusammenhang mit der Intensität der Landwirtschaft.

5 Stationsbeschreibung und Einzelresultate

In diesem Kapitel werden für jede Station ein Stationsblatt mit einem Kartenausschnitt, Fotos, Kurzbeschreibung, geschätzten Emissionen in der Umgebung, gemessenen Ammoniakkonzentrationen tabellarisch als Jahres- und Saisonmittelwerte und grafisch als Verlaufskurven der Einzelwerte und Monatsmittelwerte dargestellt, dazu Grafiken mit dem typischen Jahresverlauf und den Boxplots der Monatsmittelwerte pro Jahr. Von den Standorten Ap.-Steinegg, Häggenschwil, Bachtel und Schänis sind auch die NO₂-Konzentrationen tabellarisch und grafisch dargestellt.

Abkürzungen und Definitionen

Immissionstypen:	Ammoniak-Jahresmittelwerte der Jahre 2004 bis 2006, Unterteilung in: 1 – 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH ₃ 3 – 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH ₃ 5 – 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH ₃ > 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH ₃
Belastungstypen:	Standorteinteilung auf Grund ihrer geografischen Lage und ihrer unterschiedlichen Immissionsbelastung: Ländlich, oberhalb 900 m ü. M. Ländlich, unterhalb 900 m ü. M. Städtisch Städtisch, verkehrsbelastet
GVE	Tiere als Anzahl Grossvieheinheiten auf Bauernhöfen im Umkreis von 500 m der Station, wo vorhanden gemäss Angaben des Betreibers (fett), sonst gemäss Standorten und Tierzahlen der landw. Betriebszählung 2000 des BFS.
Strassenabstand:	Strassen im Umkreis von 200 m mit mehr als 2000 Fahrzeugen pro Tag
Verkehr DTV (%LKW):	Durchschnittlicher täglicher Verkehr mit Lastwagenanteil in Prozent
Siedlungsgrösse:	Siedlungen, die in die Zone von 500 m um die Station hineinreichen, Unterteilung in: — keine Einwohner Einzelgebäude, Einzelhöfe Weiler <1'000 Einwohner kleines Dorf 1'000 – 3'000 Einwohner grosses Dorf 3'000 – 10'000 Einwohner Kleinstadt 10'000 – 50'000 Einwohner Stadt > 50'000 Einwohner

Ammoniakemissionen

Für die ganze Schweiz wurde die räumliche Verteilung der Ammoniak-Emissionen unter Verwendung folgender Informationen im Hektarraster modelliert (genaueres bei Thöni et al. 2004):

- Lage der Emittenten, (Landwirtschaftsbetriebe, Bodennutzung, Strassen)
- Koordinaten, Flächen und Tierbestand für jeden Bauernbetrieb (Betriebszählung 2000, Bundesamt für Statistik)
- Aktivitätsspezifische Emissionsfaktoren (Reidy et al. 2007)
- Hektarraster der Bodennutzung (Arealstatistik 1992/97, Bundesamt für Statistik)

Aus diesen Emissionskarten wurden um jede Station die Ammoniak-Quellen im Radius von 0.5 km und 2.5 km, aufgeschlüsselt nach Landwirtschaft, Haushalt und Industrie/Gewerbe sowie Verkehr ermittelt.

Die Emissionen haben das Bezugsjahr 2000.

Ammoniak- und NO₂-Konzentrationen

Für die Jahresmittelwerte wurden die Messwerte auf das Kalenderjahr umgerechnet, indem die Messperioden über den Jahreswechsel aufgeteilt wurden. Dasselbe Vorgehen wurde für die Monats- und Saisonwerte benutzt. Aufteilung der Saisonwerte:

- Winter: Dezember des Vorjahrs, Januar, Februar
- Frühling: März, April, Mai
- Sommer: Juni, Juli, August
- Herbst: September, Oktober, November

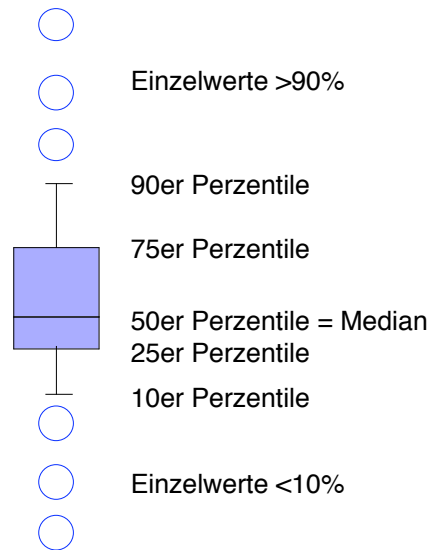
Die Jahres-, Monats- und Saisonmittelwerte wurden verwendet, wenn mindestens 80% der Zeit gemessen wurde.

Die Passivsammler wurden meist 2- oder 4-wöchentlich exponiert. Diese gemessenen Werte werden als Verlaufsgrafiken dargestellt.

Zur besseren Vergleichbarkeit verschiedener Standorte werden auch die Monatsmittelwerte als Verlaufsgrafiken dargestellt.

Um einen typischen Jahresverlauf pro Standort zu zeigen, werden die Mediane der Monatsmittelwerte aller Jahre eines Standortes ermittelt (grüne Linie). Die einzelnen Monatsmittelwerte sind als Kreise dargestellt.

Auch für die Boxplotgrafiken werden die monatlichen Mittelwerte verwendet um einen direkten Vergleich unter den Stationen zu ermöglichen. Darin sind die 10er, 25er, 50er (Median), 75er und 90er Perzentile berücksichtigt. Werte oberhalb der 90er Perzentile resp. unterhalb der 10er Perzentile sind als Einzelpunkte eingezeichnet (siehe unten).



Ap.-Steinegg

Immissionstyp

> 8

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Koordinaten: 750.83 / 243.7

Höhe (m ü.M.): 820

Landwirtschaft (GVE): 265

(Appenzell AI)

APS

Betreiber: OSTLUFT

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

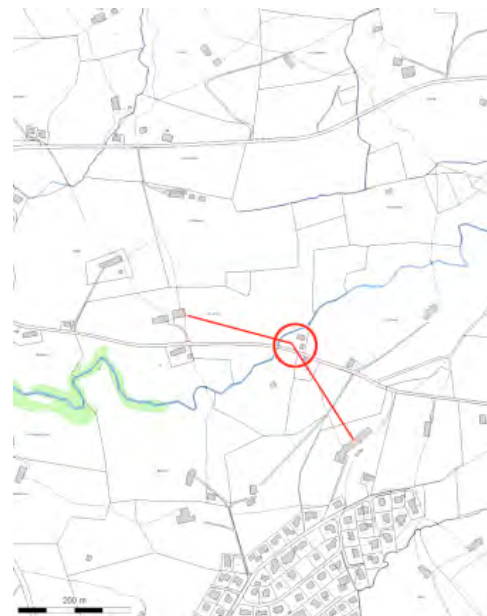
Strassenabstand in (m): —

Verkehr DTV (%LKW): —

Siedlungsgrösse: Weiler

Höhe über Boden (m): 1.7

direkte Umgebung: intensive Tierhaltung,
Wiesen



Lage zwischen Hauptquellen



Messtelle N-Deposition



Schweinestall ESE



Messtelle und Geflügelstall
auf Anhöhe W

Kurzbeschreibung der Station Ap.-Steinegg

Die Messtelle liegt im Vorgarten eines Einfamilienhaus angrenzend an eine Nebenstrasse. In je 100 m Entfernung befinden sich ein Schweinestall und ein Geflügelstall. Die Landwirtschaft wird intensiv betrieben.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹					(Datenbasis 2000)	* (Radius um Station)
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total		
0.5	48.8	0.6	0.0	49.4		
2.5	76.1	1.0	0.0	77.1		

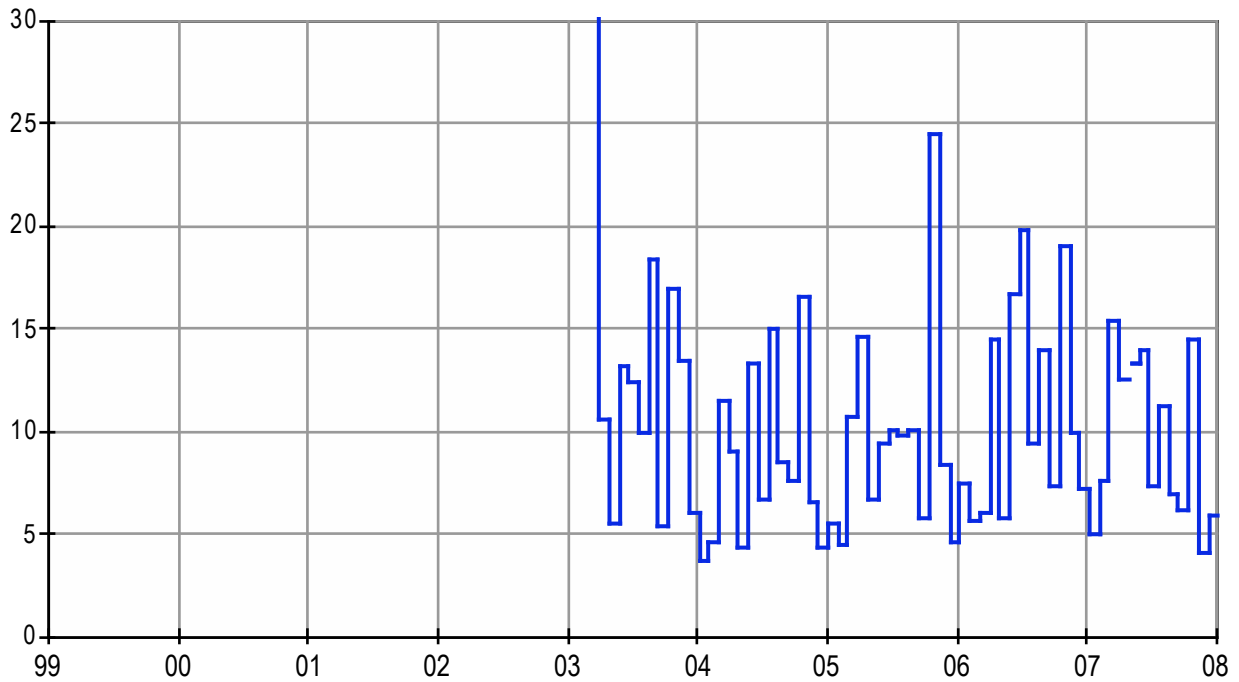
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001					
2002					
2003	13.3		15.6	13.0	12.7
2004	8.8	6.0	8.9	10.9	10.4
2005	9.6	5.2	10.5	9.9	12.2
2006	10.9	6.2	9.1	15.0	12.6
2007	9.8	6.9	13.8	10.0	8.4

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Ap.-Steinegg

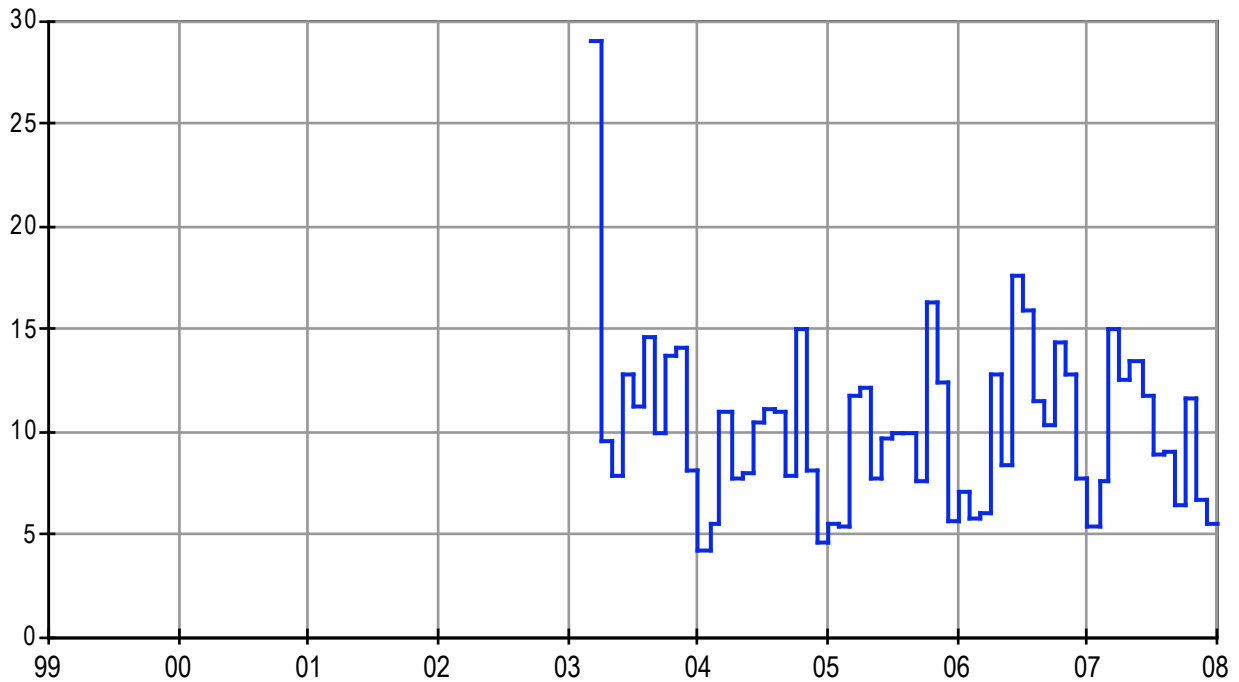
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Ap.-Steinegg

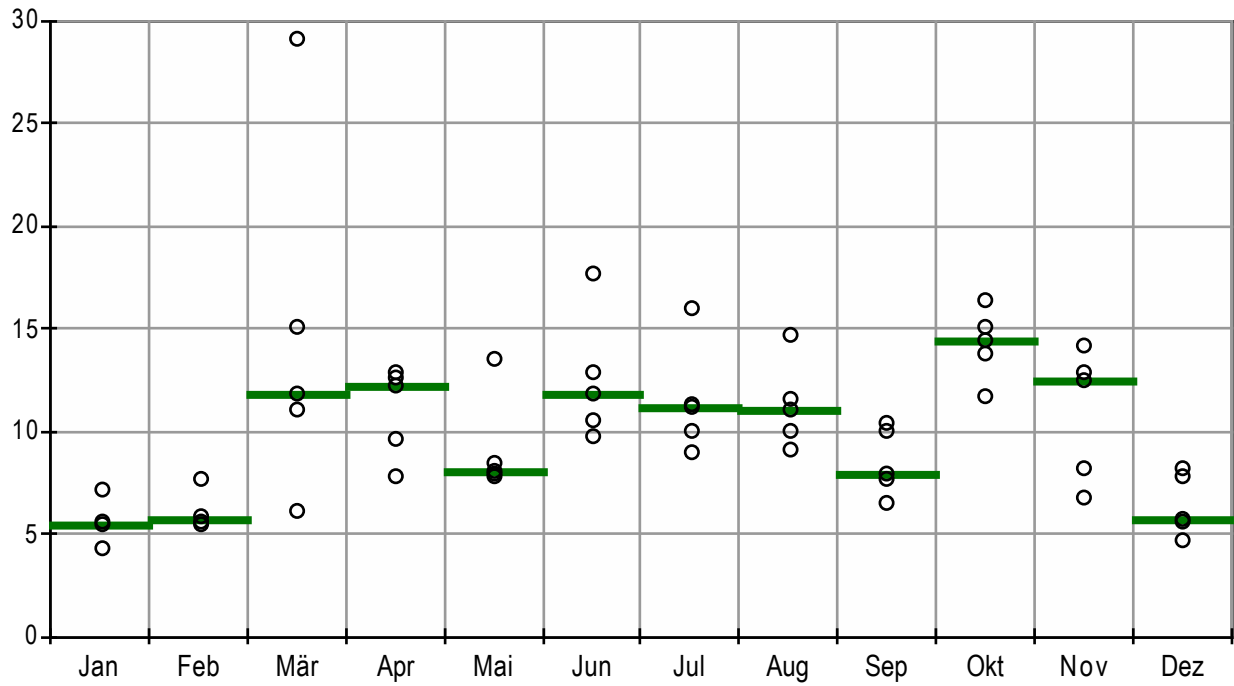
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Ap.-Steinegg

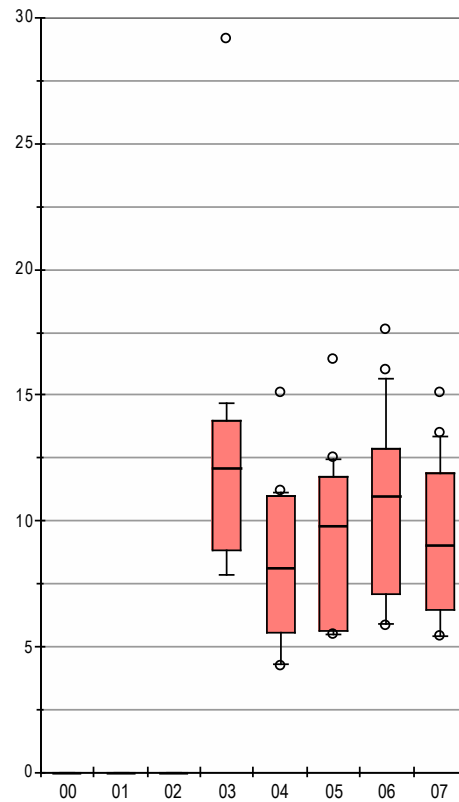
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Ap.-Steinegg

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Hägenschwil

Immissionstyp

> 8

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Koordinaten: 743.66 / 261.77

Höhe (m ü.M.): 555

Landwirtschaft (GVE): 100

(SG)

HÄG

Betreiber: OSTLUFT

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

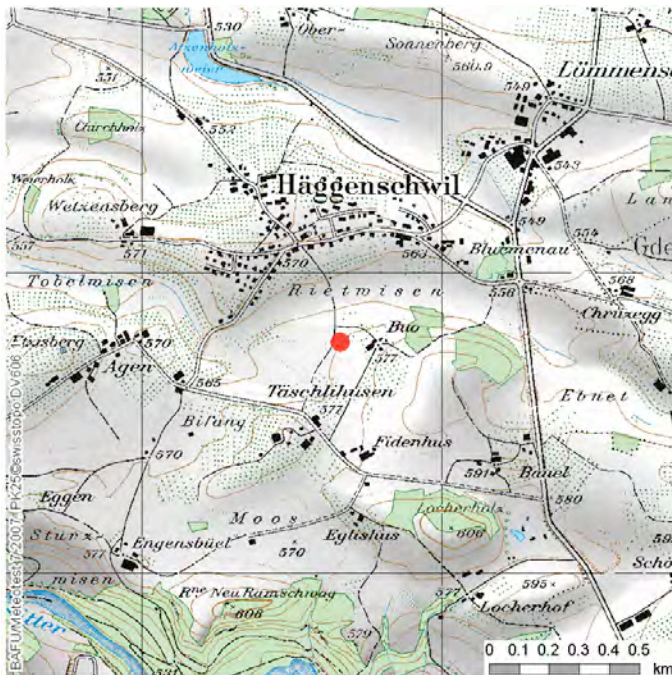
Strassenabstand in (m): —

Verkehr DTV (%LKW): —

Siedlungsgrösse: Weiler

Höhe über Boden (m): 1.7

direkte Umgebung: intensive Tierwirtschaft



Messtelle N-Deposition



Blick Richtung ESE Rinderstall

Kurzbeschreibung der Station Häggenschwil

Messtelle am Rand eines Flurweges inmitten von Weideland, angrenzend an Ackerbauflächen. Die Landwirtschaft wird intensiv betrieben.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹					(Datenbasis 2000)	* (Radius um Station)
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total		
0.5	60.1	1.0	0.0	61.1		
2.5	59.2	0.0	0.0	59.2		

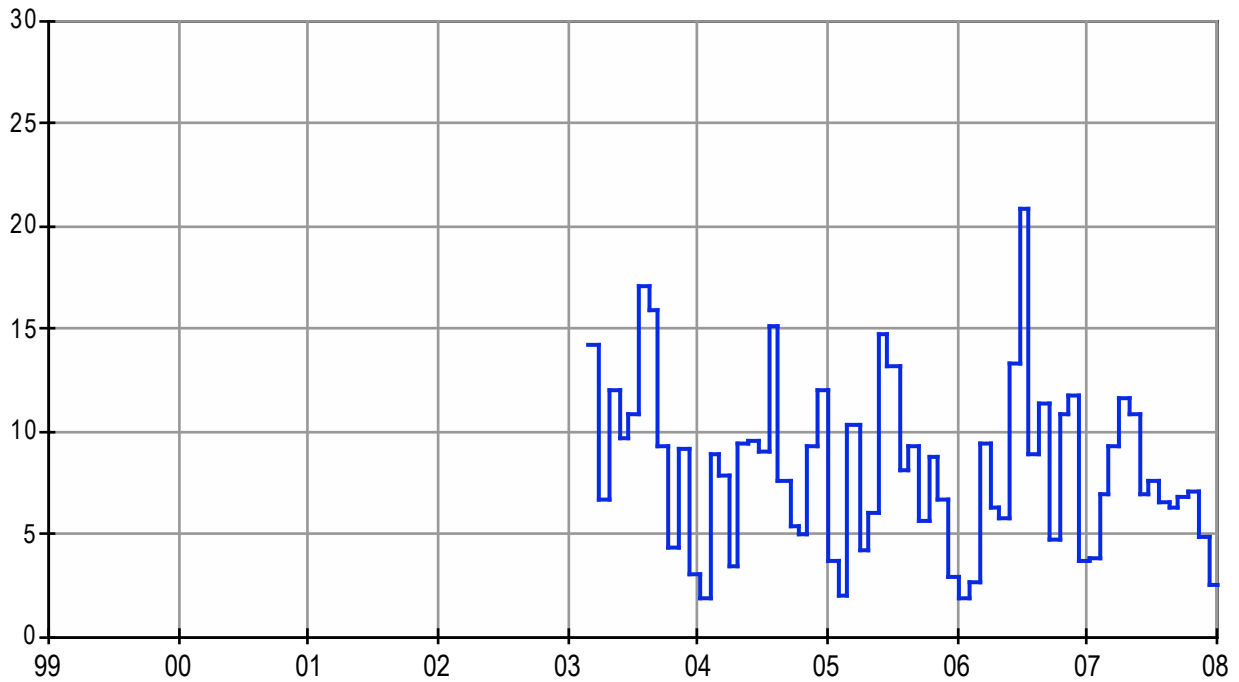
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001					
2002					
2003	10.2		10.7	13.5	8.6
2004	8.0	4.6	7.2	10.7	6.8
2005	7.5	6.2	8.2	11.3	7.3
2006	8.6	2.6	7.7	14.0	9.3
2007	7.1	5.4	10.3	7.0	6.4

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Häggenschwil

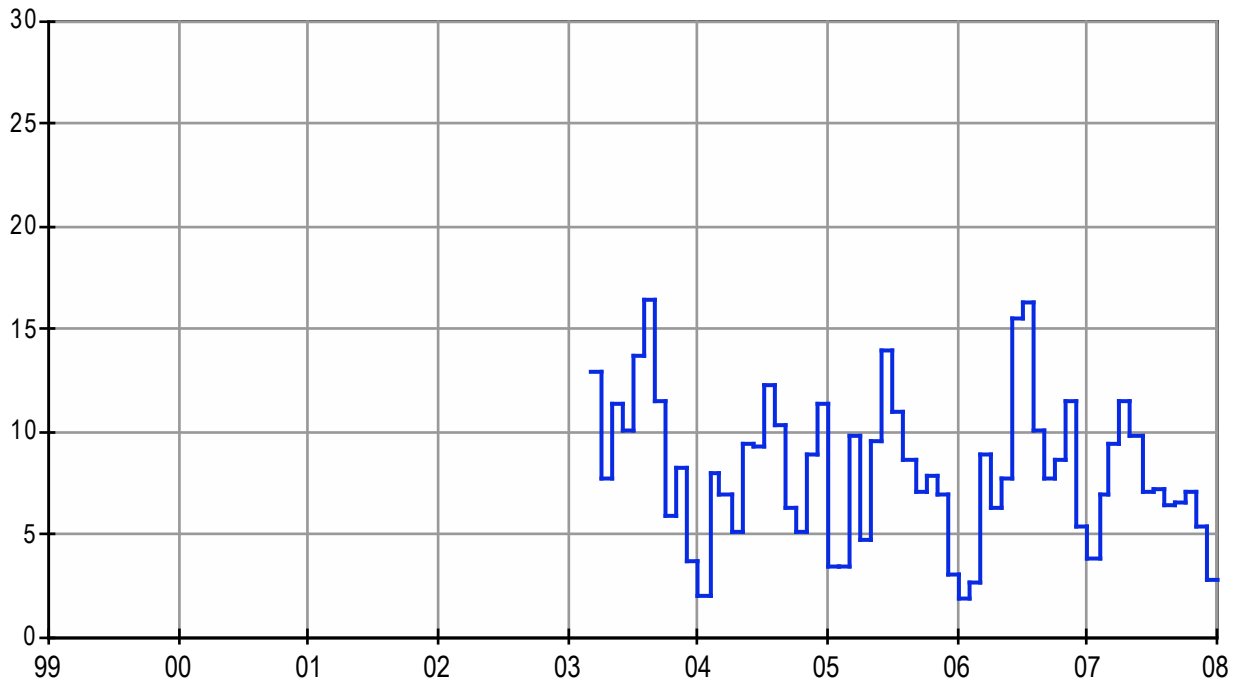
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Häggenschwil

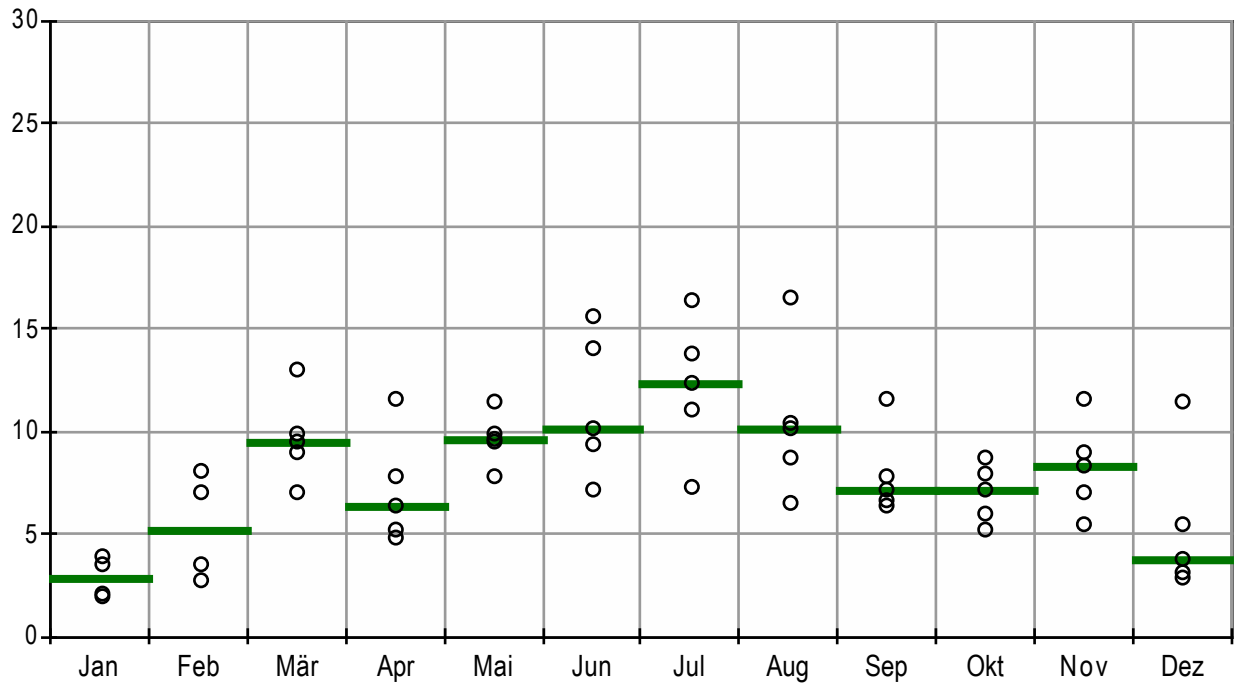
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Hägenschwil

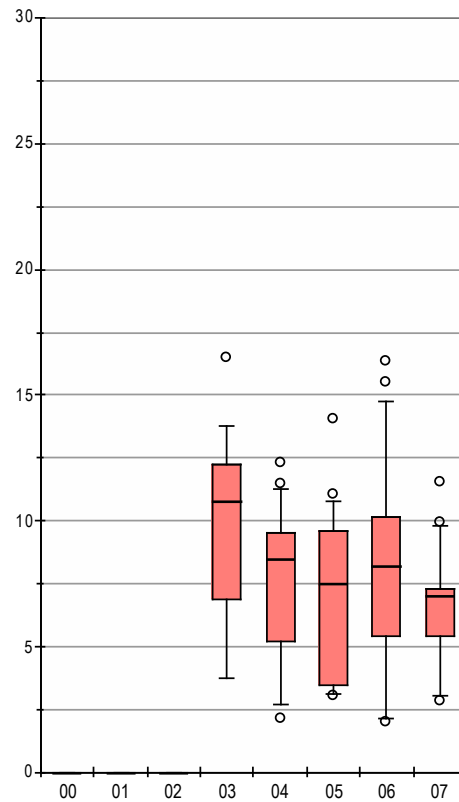
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Hägenschwil

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Eschlikon 0

Immissionstyp

Koordinaten: 715.42 / 257.22

5 – 8

Höhe (m ü.M.): 575

 $\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Landwirtschaft (GVE): 325

(TG)

Strassenabstand in (m): —

ESCH 00

Belastungstyp

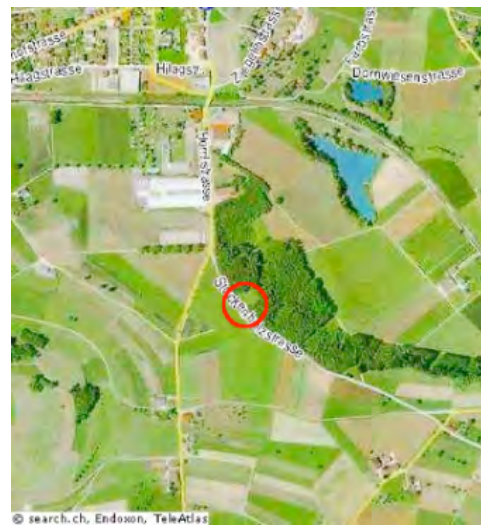
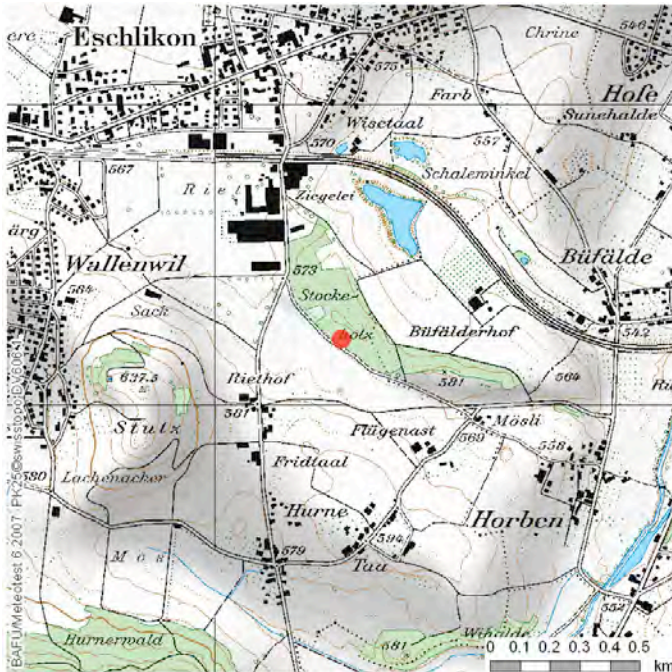
Verkehr DTV (%LKW): —

Betreiber: Kt. TG

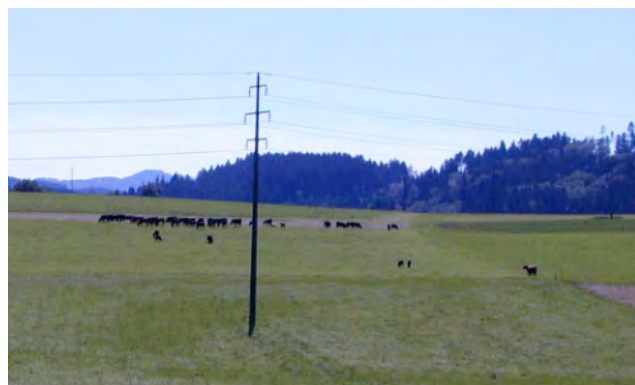
Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

Siedlungsgrösse: Einzelgebäude

Höhe über Boden (m): 1.7

direkte Umgebung: intensive Landwirtschaft,
Waldrand

Messtelle Waldrand

Blick von der Messtelle Richtung WSW,
Weide und Ackerland

Kurzbeschreibung der Station Eschlikon 0

Messstelle am Waldrand/Flurstrasse, am Rande einer landwirtschaftlich intensiv bewirtschafteten Ebene.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹				
(Datenbasis 2000)				
* (Radius um Station)				
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total
0.5	37.4	0.7	0.0	38.1
2.5	88.1	1.0	0.7	89.8

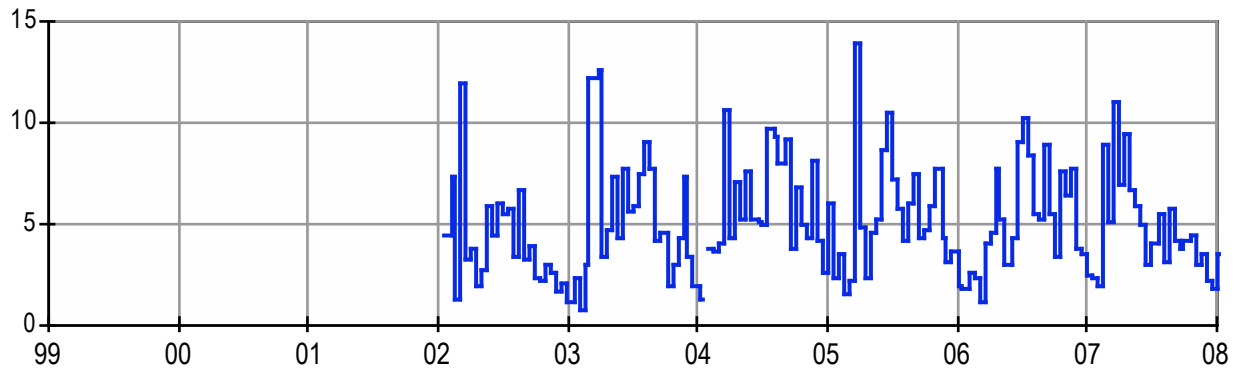
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001					
2002	4.2		4.8	5.3	2.9
2003	5.4	1.9	7.8	7.3	4.3
2004	5.9	2.9	6.7	7.1	6.2
2005	5.5	3.3	5.7	7.0	5.8
2006	5.1	2.6	4.2	7.1	6.5
2007	4.8	3.7	7.6	4.5	3.9

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Eschlikon

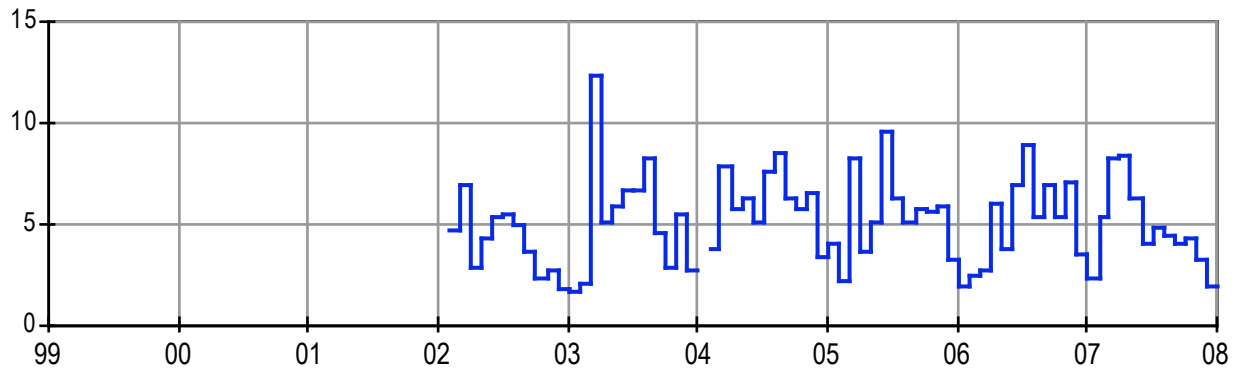
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Eschlikon

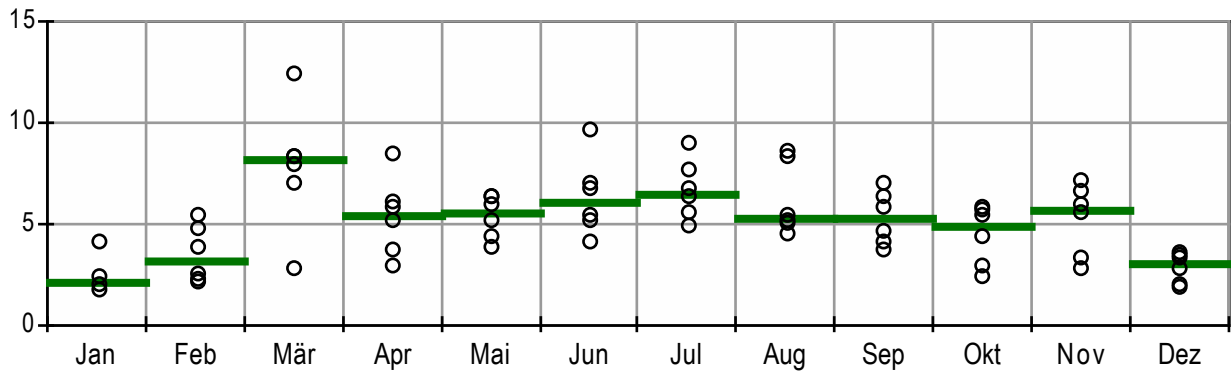
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Eschlikon

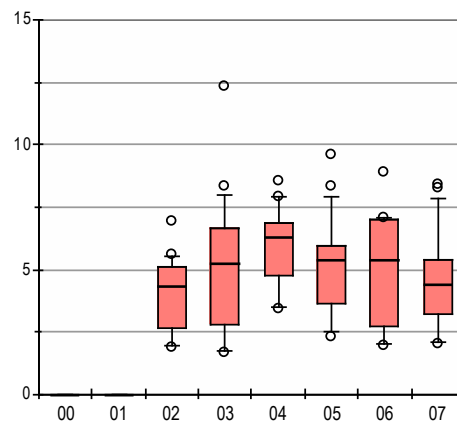
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Eschlikon

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Mauren

Immissionstyp

5 – 8

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Koordinaten: 729.16 / 269.4

Höhe (m ü.M.): 439

Landwirtschaft (GVE): 73

(TG)

Strassenabstand in (m): 150

Verkehr DTV (%LKW): 3000 (<5%)

Siedlungsgrösse: Weiler

Höhe über Boden (m): 1.7

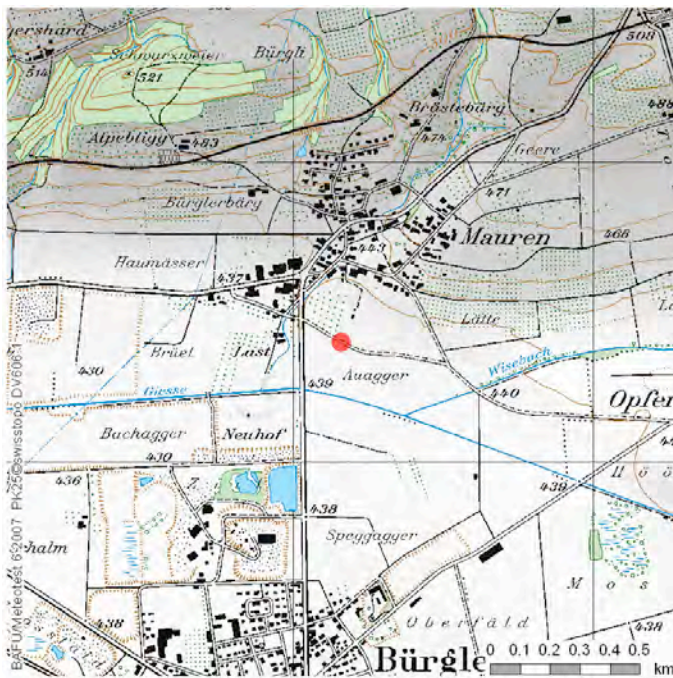
direkte Umgebung: Acker, Obstbau

MAU

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

Betreiber: Kt. TG



Überwachungsstation KVA Weinfeld



Blick Richtung N

Kurzbeschreibung der Station Mauren

Der Standort liegt 3 km östlich von Weinfelden am Rande intensiv landwirtschaftlich genutzter Flächen und in der Nähe einer Durchgangsstrasse. Von 1990 bis 2000 Luftqualitäts Überwachung durch Kanton TG, seither als Referenzstation von der KVA Weinfelden genutzt (NO₂/NO, SO₂, Staub Beta-Meter).

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹				(Datenbasis 2000)	* (Radius um Station)
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total	
0.5	31.2	1.0	0.0	32.2	
2.5	31.0	1.0	0.0	32.0	

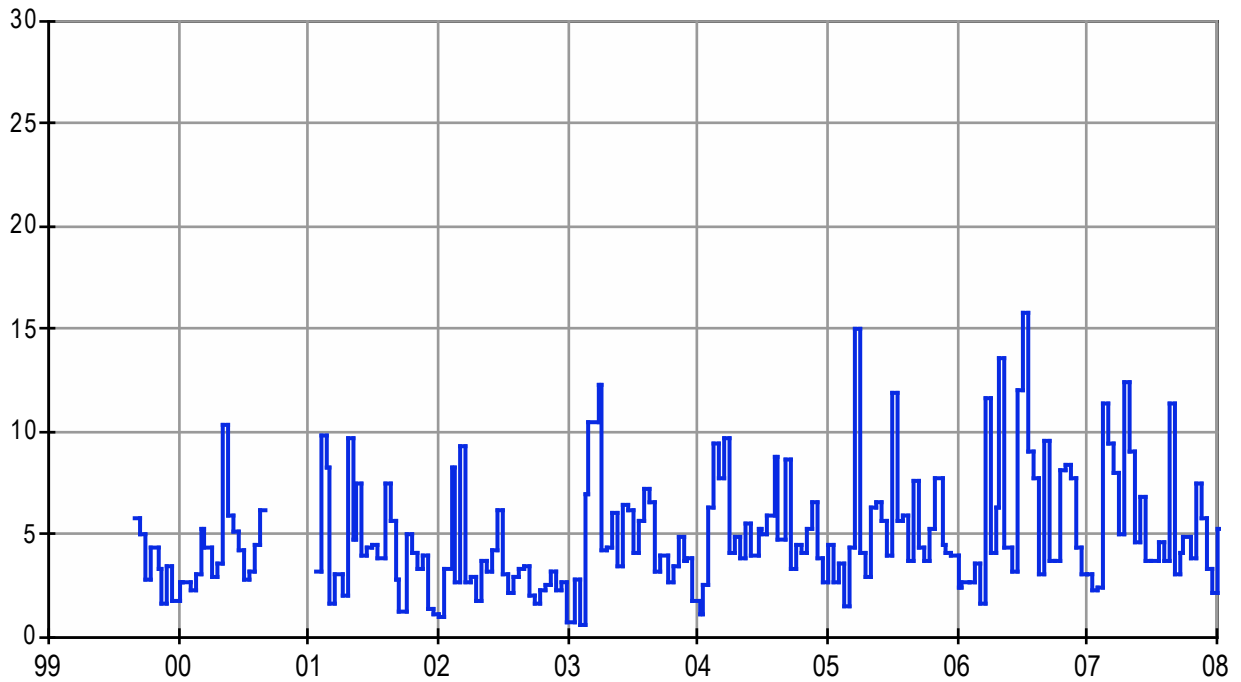
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					3.9
2000		2.7	5.3	4.4	
2001	4.4		4.9	5.0	3.5
2002	3.4	2.9	3.9	3.7	2.5
2003	5.0	2.7	7.1	6.1	3.8
2004	5.4	4.3	6.0	5.6	5.4
2005	5.5	3.2	6.7	6.1	5.6
2006	6.3	3.2	6.9	8.5	6.8
2007	5.8	4.4	8.3	5.7	5.0

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Mauren

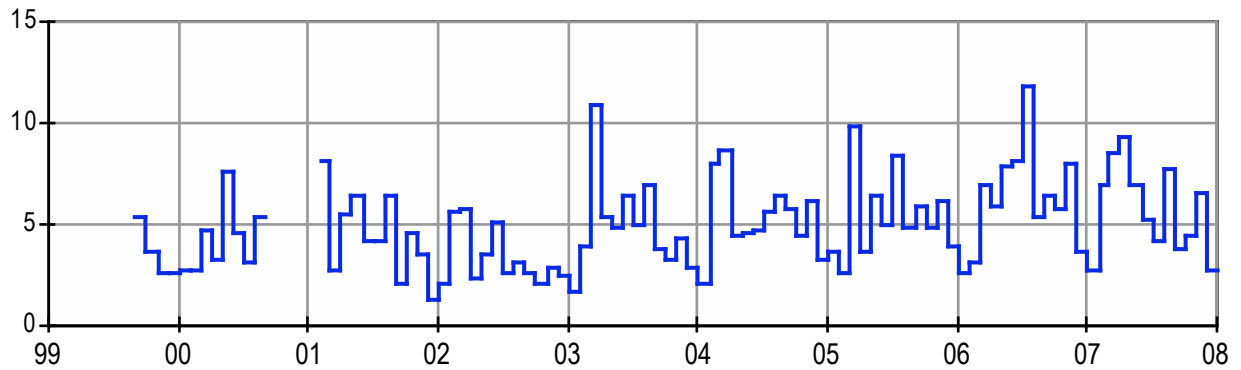
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Mauren

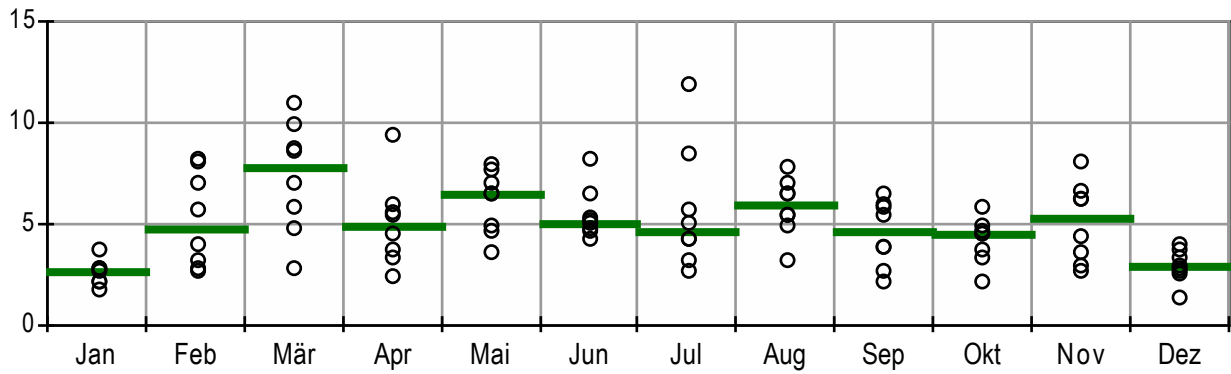
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Mauren

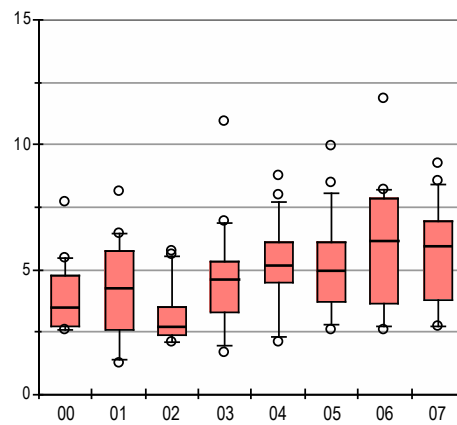
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Mauren

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Tänikon

(Aadorf TG)

TAE

Betreiber: NABEL

Immissionstyp

5 – 8

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

Koordinaten: 710.5 / 259.8

Höhe (m ü.M.): 539

Landwirtschaft (GVE): 154

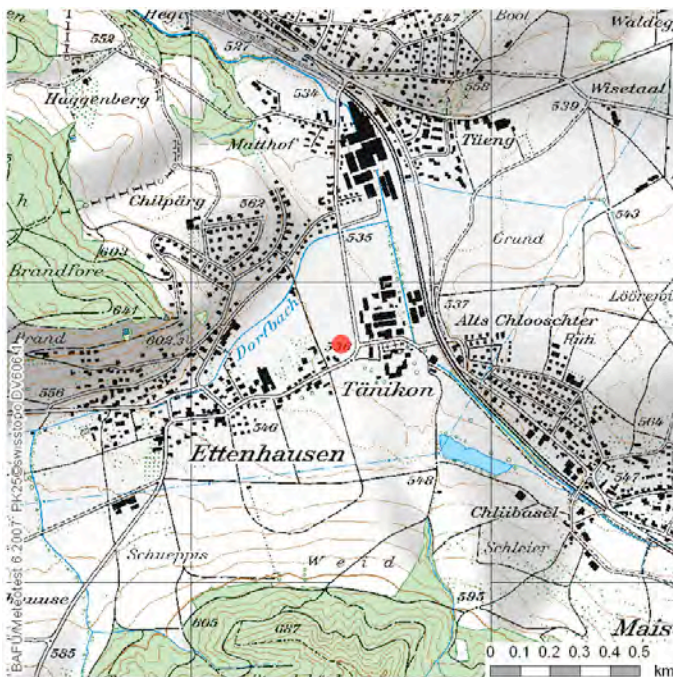
Strassenabstand in (m): —

Verkehr DTV (%LKW): —

Siedlungsgrösse: grosses Dorf

Höhe über Boden (m): ca. 3.5

direkte Umgebung: Weiden, Ackerbau



NABEL-Station Tänikon: Blick Richtung S



Blick Richtung NW

Kurzbeschreibung der Station Tänikon

Die Station liegt auf dem Gelände der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) in Tänikon auf dem Boden der Gemeinde Aadorf, nahe Ettenhausen. Die unmittelbare Umgebung ist, abgesehen von den Gebäuden der Forschungsanstalt nur wenig überbaut und wird von intensiver Landwirtschaft (Felder und Wiesen) und Wäldern dominiert. Das etwa 1 km nördlich gelegene Aadorf weist einige kleinere Industriebetriebe auf. Eine ANETZ-Station der MeteoSchweiz befindet sich auf demselben Gelände. Die Autobahn A1 (St. Gallen-Zürich) führt ca. 4 km nordöstlich der Station vorbei.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹ (Datenbasis 2000) * (Radius um Station)

km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total
0.5	21.0	2.0	0.0	23.0
2.5	41.6	1.0	0.0	42.6

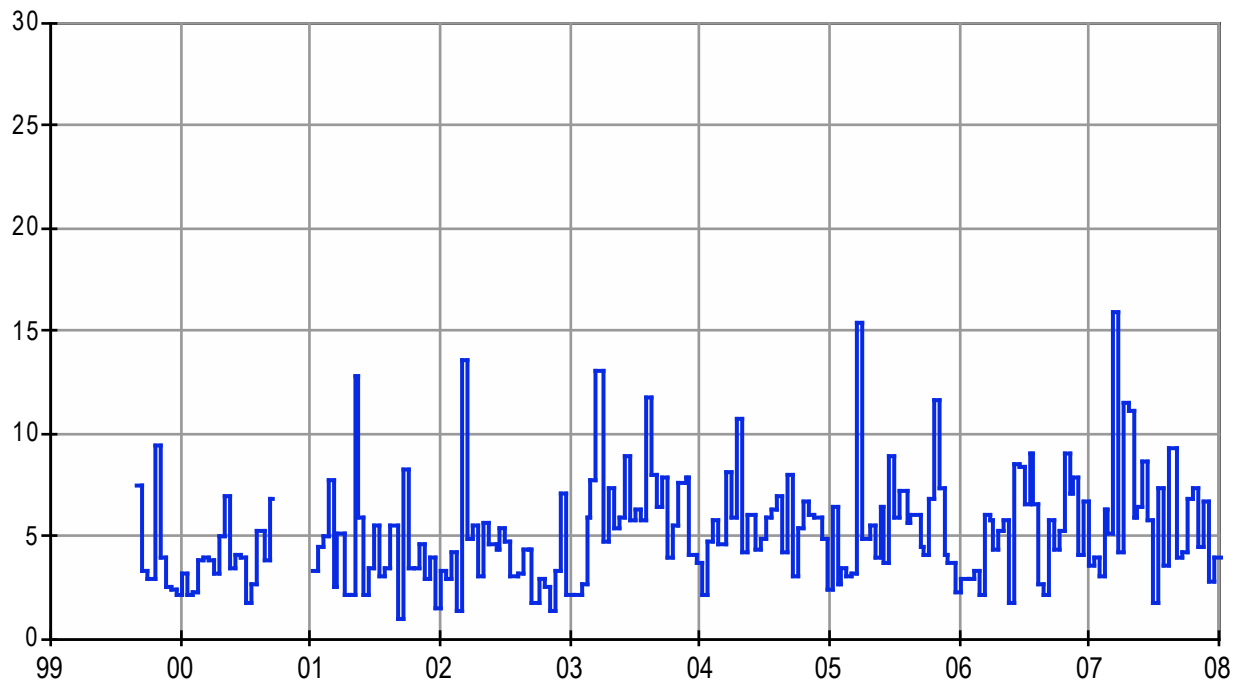
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					4.9
2000		2.6	4.5	3.7	
2001	4.4		5.4	4.0	4.1
2002	4.1	3.1	5.6	4.2	2.8
2003	6.5	3.9	7.6	7.9	6.6
2004	5.7	4.2	6.9	5.6	5.9
2005	5.7	4.1	6.5	6.4	6.4
2006	5.3	3.0	4.7	6.5	6.3
2007	6.2	4.7	9.0	6.0	5.7

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Tänikon

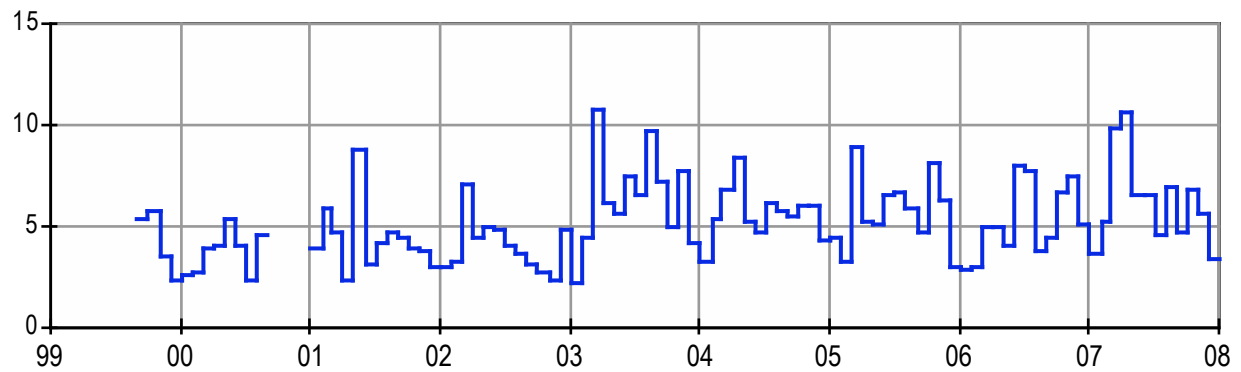
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Tänikon

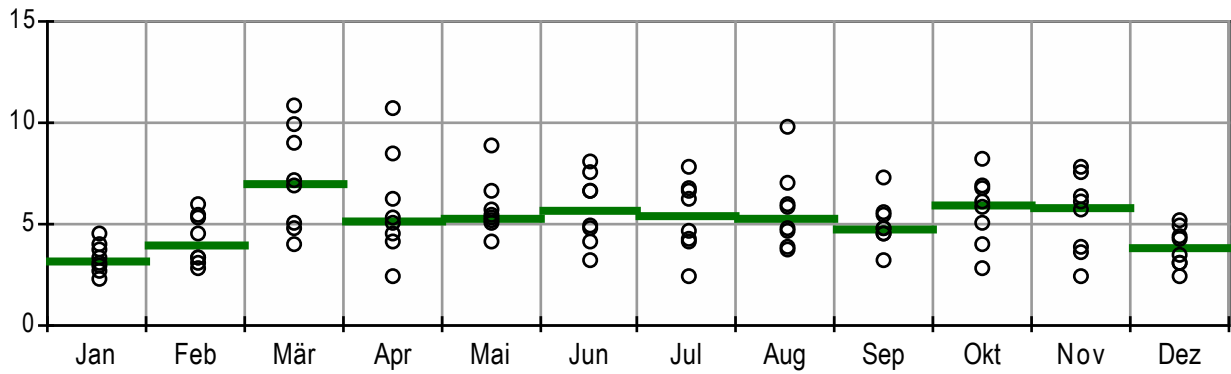
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Tänikon

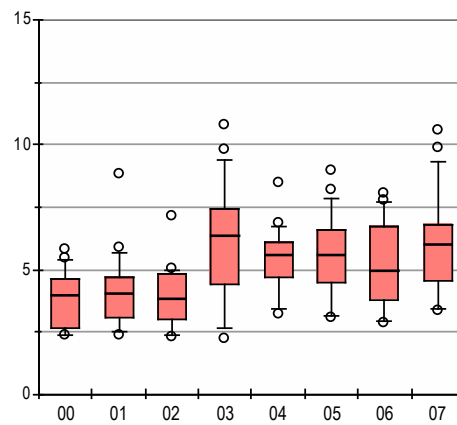
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Tänikon

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Bachtel

Immissionstyp

Koordinaten: 710.35 / 239.6

1 – 3

Höhe (m ü.M.): 930

 $\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Landwirtschaft (GVE): 114

(Wald ZH)

16

BA

Belastungstyp

Strassenabstand in (m): —

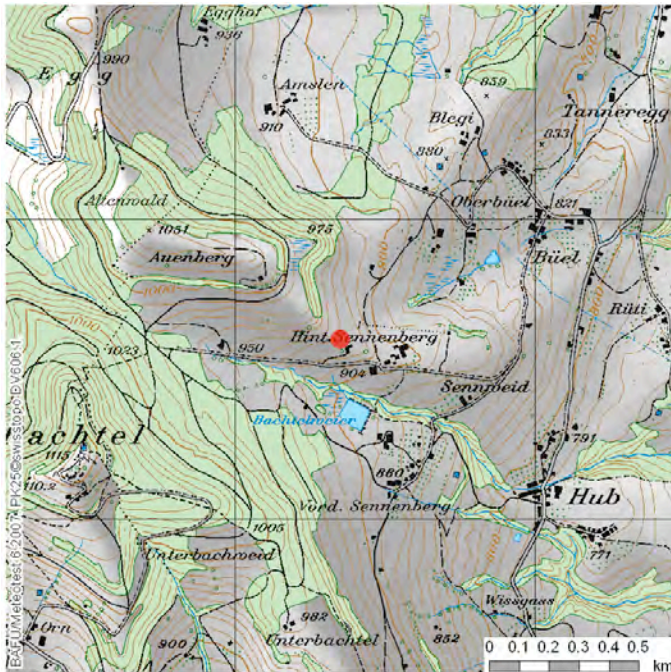
Verkehr DTV (%LKW): —

Betreiber: OSTLUFT, FUB

Ländlich, oberhalb
900 m ü. M.

Siedlungsgrösse: Einzelhöfe

Höhe über Boden (m): ca. 1.5

direkte Umgebung: Wiesen, Weiden,
Graswirtschaft

Blick Richtung SE



Passivsammler neben Minidenudern

Kurzbeschreibung der Station Bachtel

Die Station Bachtel liegt ca. 1 km östlich des Gipfels, beim Hinteren Sennenberg im Zürcher Oberland mitten in Wiesen und Weiden. Die Umgebung wird nur von einem Hof bewirtschaftet, was es ermöglicht, die Bewirtschaftung (Güllen, Weiden) in die Bewertung einzubeziehen. Er weist ca. 16-17 GVE auf, vor allem Kühe, die in einem 200 m entfernten Laufstall gehalten werden. In gleicher Entfernung befindet sich ein offenes Gülesilo. Bis März 2003 wurde die Gülle mit einem Breitverteiler ausgebracht, anschliessend mit Schleppschlauch. Im Sommer 2006 wurde wieder mit Breitverteiler gegüllt. In 50 m Distanz zur Messstation befindet sich ein altes Bauernhaus mit kleinem Stall in dem gelegentlich Schafe untergebracht sind.

Der Verlauf im Sommerhalbjahr 2001 wirkt unruhiger, wobei der Grund die höhere Sammel-frequenz ist (eine Woche). Sonst wurde zwei- oder vierwöchentlich gewechselt. Der untere Verlauf zeigt auf vier Wochen gemittelte Werte.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹					(Datenbasis 2000)	* (Radius um Station)
km*	Landwirt- schaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total		
0.5	29.5	0.0	0.0	29.5		
2.5	32.5	1.0	0.0	33.5		

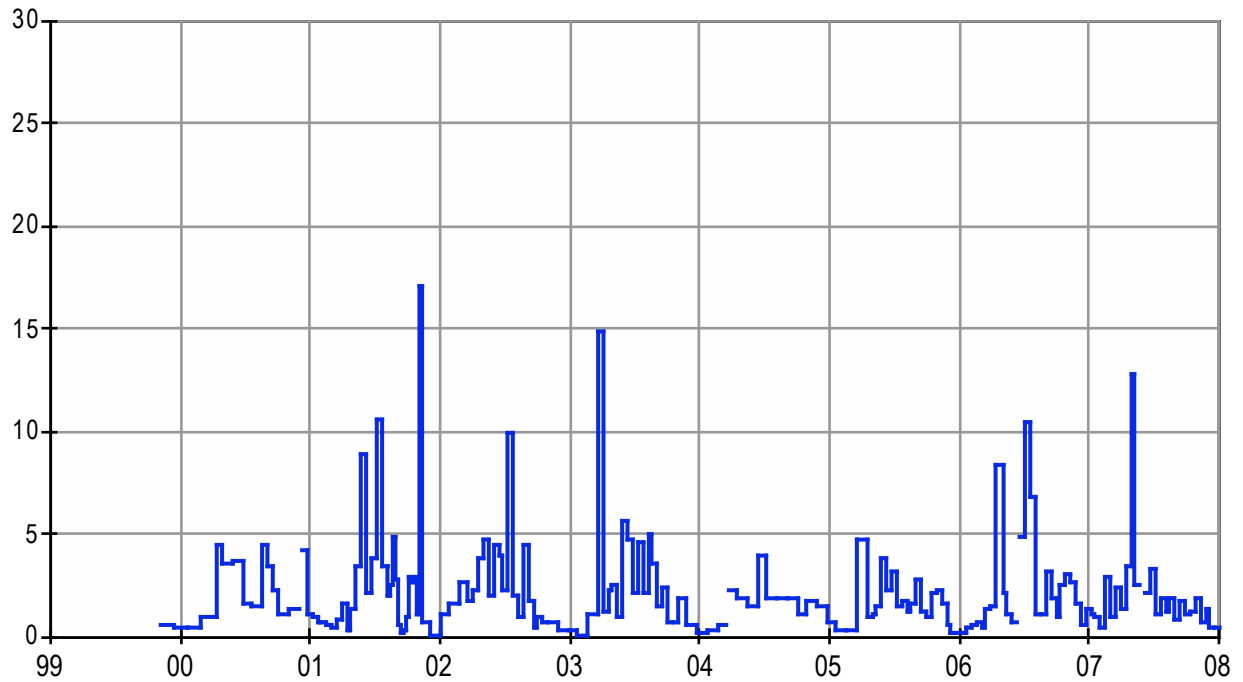
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000	2.2	0.6	2.8	2.7	1.8
2001	2.5	1.4	2.2	4.4	2.6
2002	2.3	1.2	2.9	4.0	1.0
2003	2.5	0.4	3.9	4.0	1.5
2004	1.7	0.5	1.7	2.5	1.7
2005	1.7	0.8	2.4	2.1	1.8
2006	2.5	0.5	2.6	4.6	2.3
2007	2.1	1.3	4.1	2.0	1.4

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Bachtel

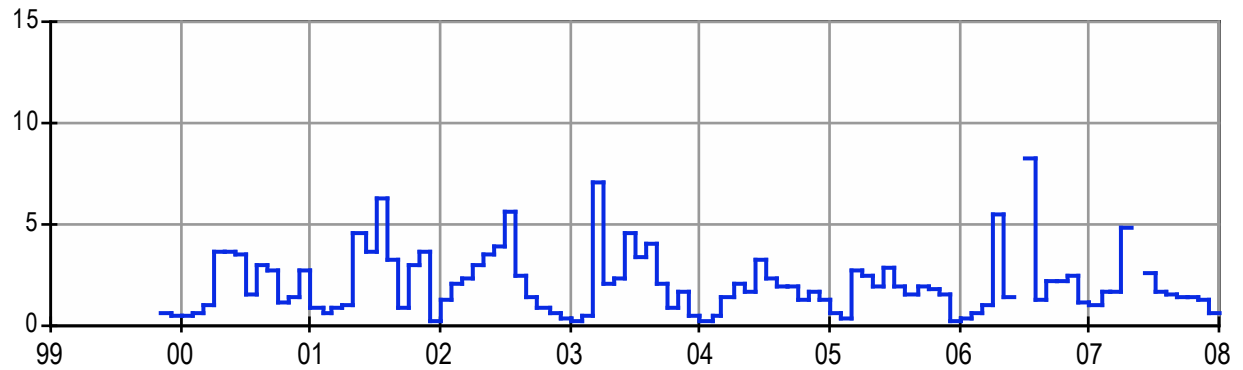
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Bachtel

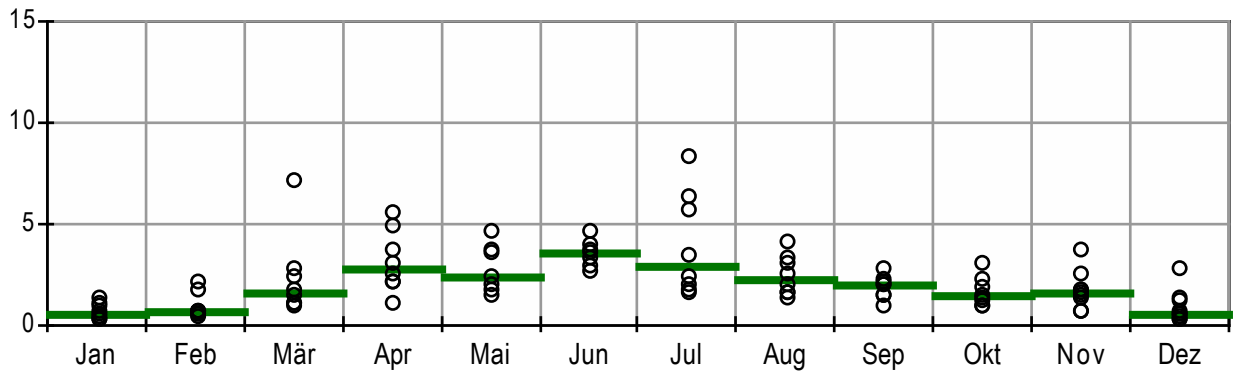
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Bachtel

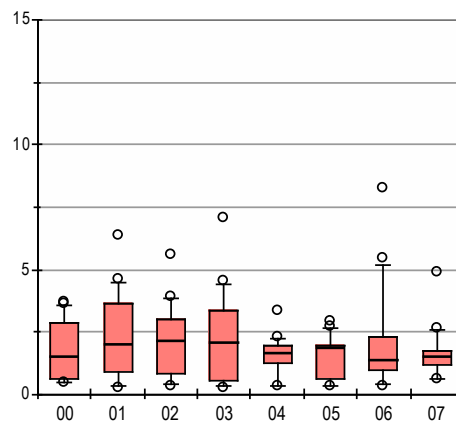
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Bachtel

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Hudelmoos 3

Immissionstyp

1 – 3

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Koordinaten: 739.14 / 265.5

Höhe (m ü.M.): 520

Landwirtschaft (GVE): 0

(TG)

HUD 3

Betreiber: OSTLUFT

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

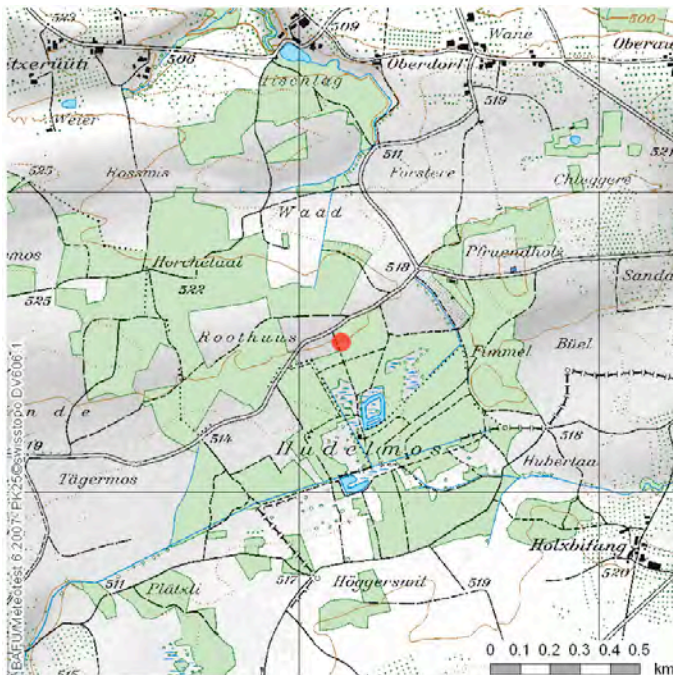
Strassenabstand in (m): —

Verkehr DTV (%LKW): —

Siedlungsgrösse: —

Höhe über Boden (m): 1.7

direkte Umgebung: Wiese, Acker, Wald



Blick Richtung SW

Kurzbeschreibung der Station Hudelmoos 3

Landwirtschaftlich bewirtschaftete Waldlichtung am Rand des Naturschutzgebietes. In der weiteren Umgebung wird intensive Schweinehaltung betrieben.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹					(Datenbasis 2000)	*(Radius um Station)
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total		
0.5	47.5	0.0	0.0	47.5		
2.5	12.9	1.0	0.0	13.9		

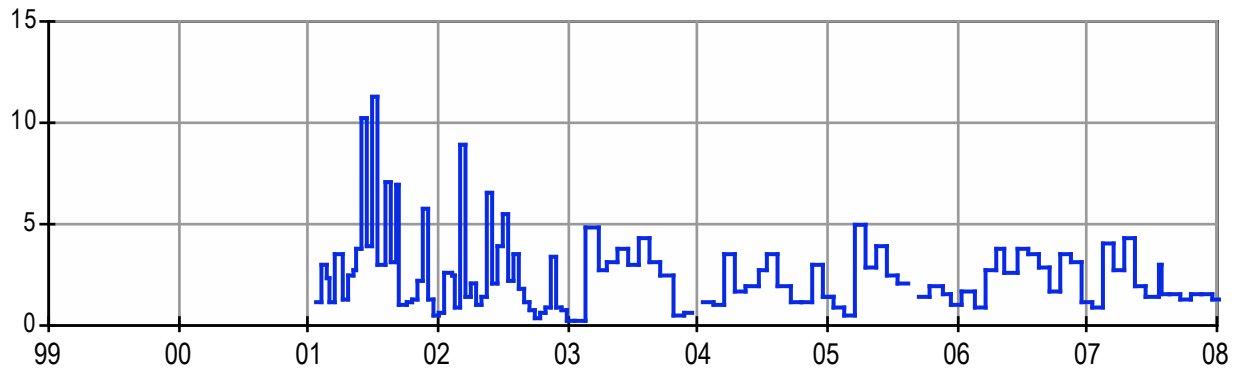
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001	3.4		2.6	6.3	2.9
2002	2.3	1.5	3.5	3.2	1.2
2003	2.6	1.2	3.6	3.6	1.7
2004	2.1		2.4	2.7	1.7
2005	2.1	1.4	3.4	2.5	1.7
2006	2.6	1.3	2.8	3.4	2.7
2007	2.1	1.9	3.4	1.7	1.4

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Hudelmoos 3

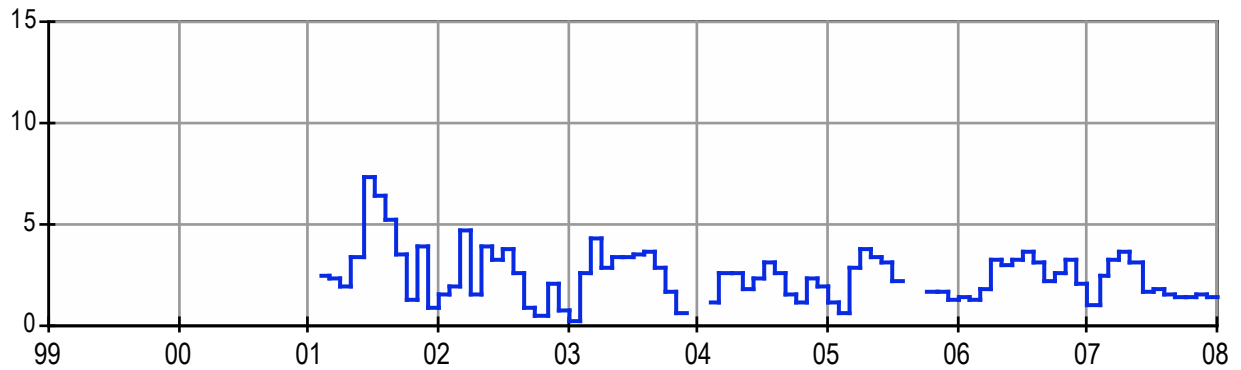
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Hudelmoos 3

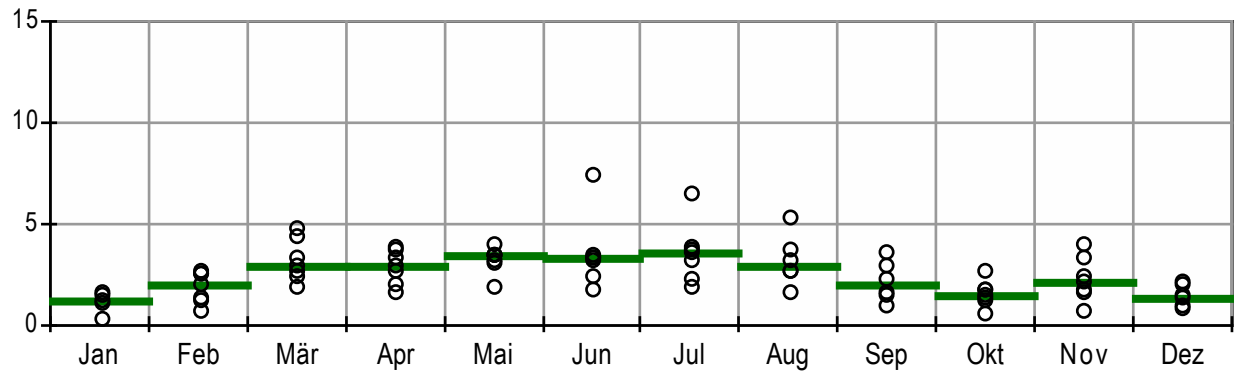
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Hudelmoos 3

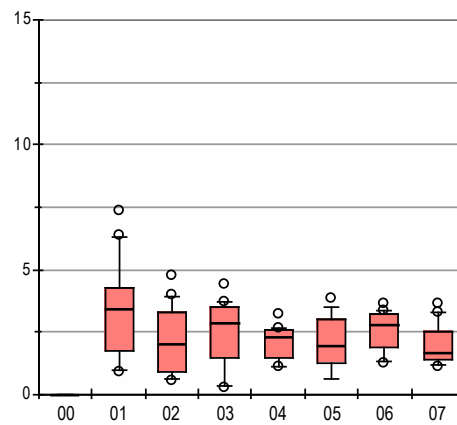
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Hudelmoos 3

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Schänis

Immissionstyp

1 – 3

 $\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Koordinaten: 722.92 / 223.52

Höhe (m ü.M.): 630

Landwirtschaft (GVE): 0

(SG)**SCH**

Betreiber: OSTLUFT, WSL/LWF

Belastungstyp

Ländlich, unterhalb
900 m ü. M.

Strassenabstand in (m): —

Verkehr DTV (%LKW): —

Siedlungsgrösse: —

Höhe über Boden (m): 2

direkte Umgebung: Waldlichtung,
Schafweide,

Blick Richtung SW, Linthebene mit KVA Niederurnen
auf die LWF-Freilandfläche in Schänis



Die Passivsampler sind am Meteomasten angebracht

Kurzbeschreibung der Station Schänis

Der Standort befindet sich oberhalb von Schänis am Schärer Berg in einer relativ steilen Waldlichtung, die als Schafweide genutzt wird, umgeben von Mischwald. Die Beobachtungsfläche Schänis ist eine der 17 Langfristigen Waldökosystemforschung (LWF) Flächen der Schweiz und gehört zum europäischen Level-II Flächennetz (<http://www.wsl.ch/forest/risks/projects/flux/flux-de.ehtml>). Neben den Schafen beeinflussen hauptsächlich Emissionen der Landwirtschaft aus der Linthebene die Freilandfläche Schänis. Bedingt durch die Staulage am Alpennordhang sind die Niederschlagsmengen und somit auch die atmosphärischen Stickstoffeinträge an diesem Standort im Vergleich zu den übrigen LWF-Flächen, mit Ausnahme der Tessiner Fläche, hoch.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹				(Datenbasis 2000)	* (Radius um Station)
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total	
0.5	21.0	0.0	0.0	21.0	
2.5	4.3	1.0	1.0	6.3	

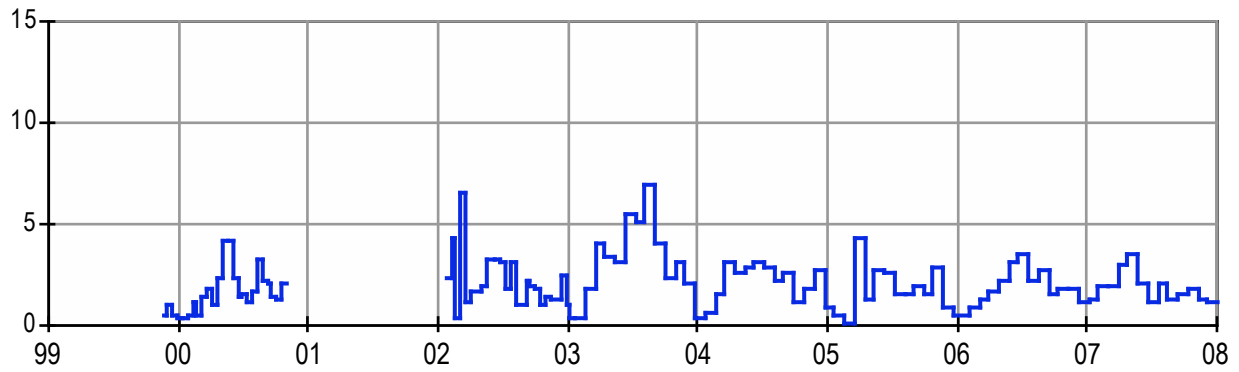
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000	1.8	0.7	2.4	1.9	
2001					
2002	2.2		2.6	2.4	1.6
2003	3.3	1.1	3.3	5.6	3.2
2004	2.2	1.0	2.7	2.8	1.9
2005	1.8	1.0	2.4	2.0	2.1
2006	1.9	0.7	1.9	2.9	1.8
2007	1.9	1.5	2.8	1.7	1.6

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Schänis

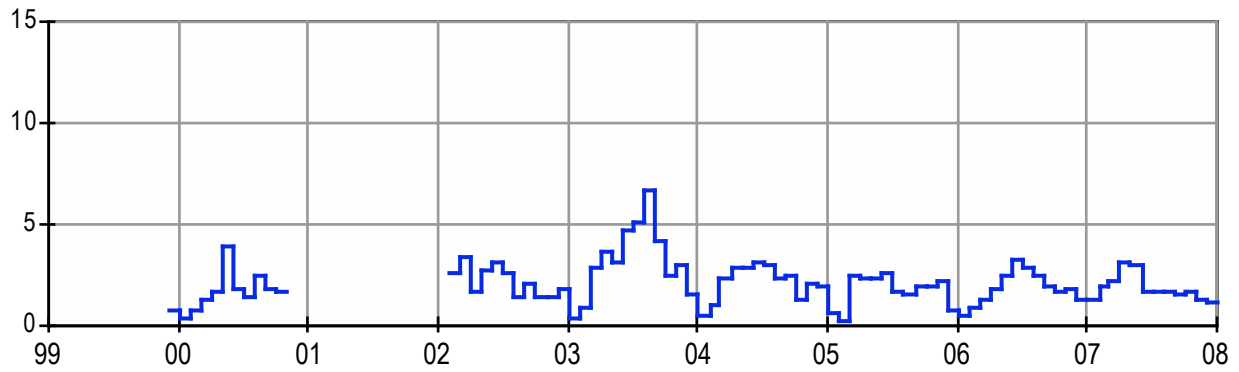
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Schänis

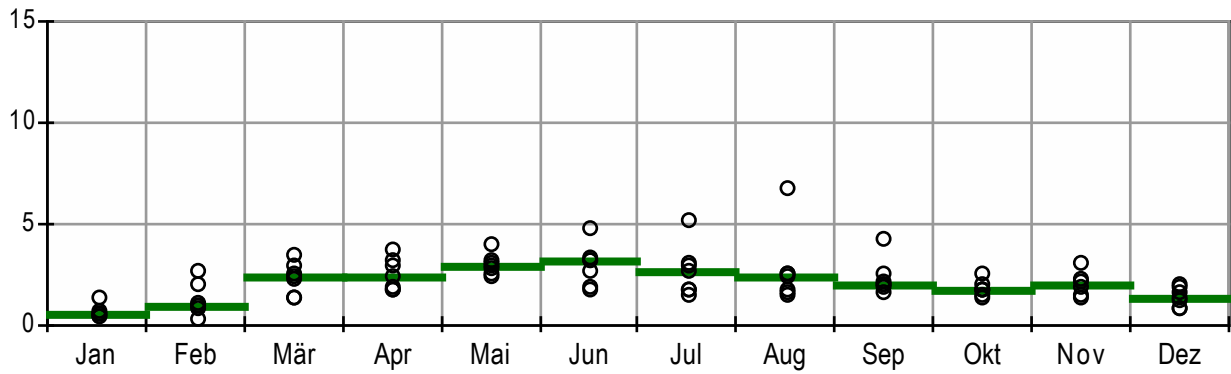
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Schänis

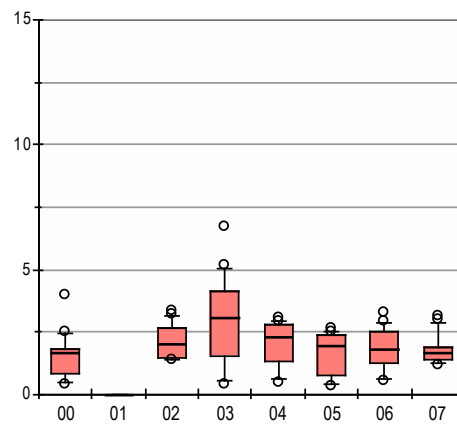
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Schänis

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Zürich

(Kaserne ZH)

ZUE

Betreiber: NABEL

Immissionstyp

3 – 5

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Belastungstyp

Städtisch

Koordinaten: 682.45 / 247.98

Höhe (m ü.M.): 410

Landwirtschaft (GVE): 0

Strassenabstand in (m):

Verkehr DTV (%LKW):

Siedlungsgrösse: Stadt

Höhe über Boden (m): 2.6

direkte Umgebung: Stadtzentrum, Park



Blick Richtung NE



Blick Richtung SW

Kurzbeschreibung der Station Zürich

Mitten in der Stadt Zürich (ca. 500 m südlich des Hauptbahnhofs) steht die Station in einem parkähnlichen Hof, welcher zum Gebäudekomplex der alten Kaserne gehört. In unmittelbarer Nachbarschaft liegen die Gebäude und Werkstätten der ehemaligen Zeughaus- und Kasernenverwaltung. Im angrenzenden Quartier befinden sich hauptsächlich Wohnhäuser sowie Kleinunternehmen und Geschäfte. Im April 1997 wurde die Station vom Kasernenhof an den heutigen Standort im Zeughaushof unter den Boden verlegt. In Abb. 2-43 sieht man nur die Luftansaugsonden der Messstation. An der Station führt keine Hauptverkehrsstrasse vorbei, der Verkehr im umliegenden Quartier ist jedoch Tag und Nacht recht lebhaft. Die Meteorologischen Wind und Globalstrahlung werden auf einem benachbarten dreistöckigen Gebäude gemessen.

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹				
(Datenbasis 2000)				
* (Radius um Station)				
km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total
0.5	0.0	5.0	2.0	7.0
2.5	0.0	5.0	5.0	10.0

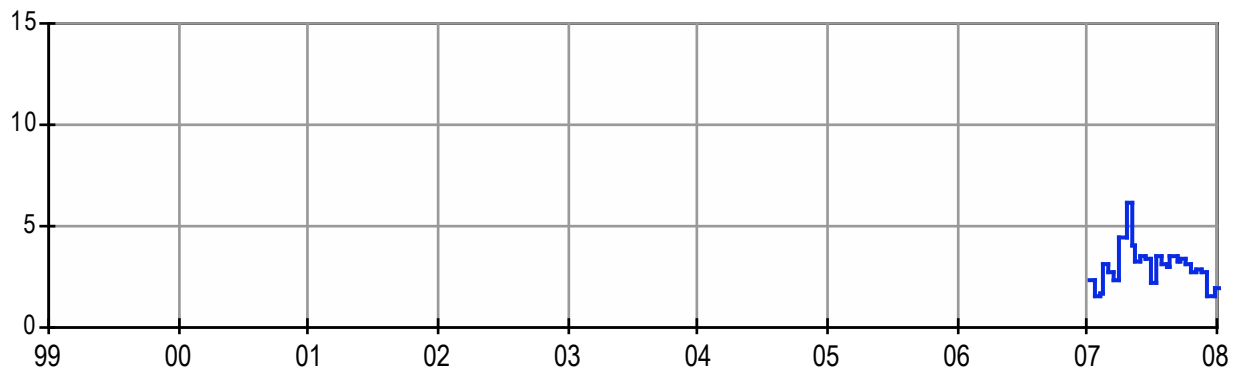
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007	3.1		3.9	3.2	3.0

Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der einzelnen Messperioden

Zürich

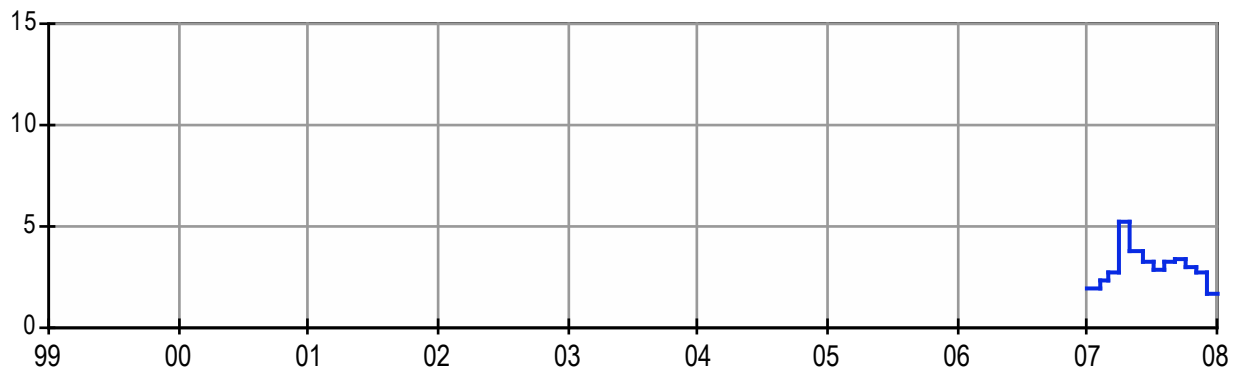
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Darstellung der Monatsmittelwerte

Zürich

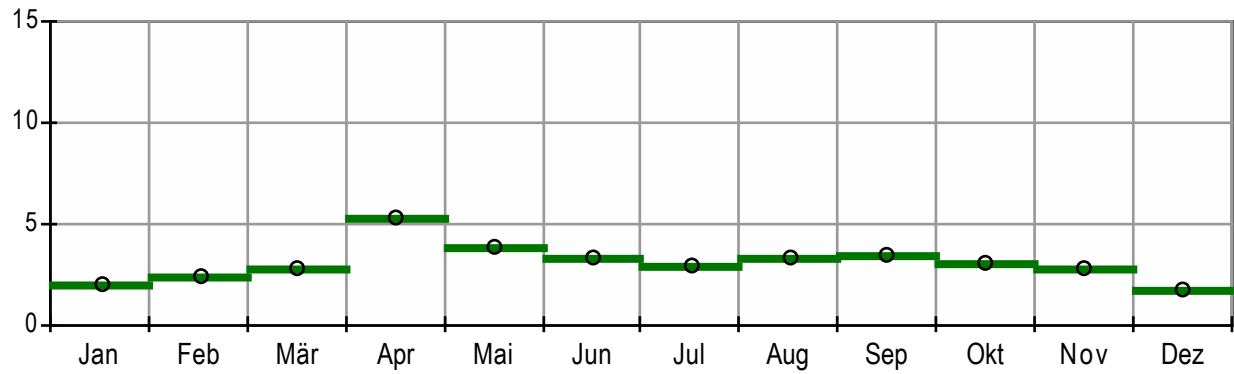
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Zürich

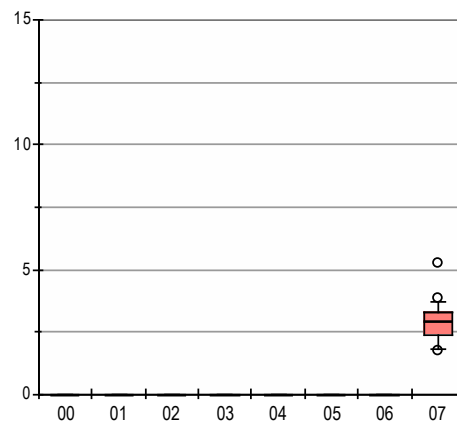
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Zürich

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Schwamendingen

(Zürich, Milchbuck ZH)

SWA

Betreiber: OSTLUFT

Immissionstyp

5 – 8

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$

Belastungstyp

Städtisch,
verkehrsbelastet

Koordinaten: 685.1 / 251.3

Höhe (m ü.M.): 430

Landwirtschaft (GVE): 0

Strassenabstand in (m): 1

Verkehr DTV (%LKW):

Siedlungsgrösse:

Höhe über Boden (m): 3

direkte Umgebung: Autobahn, Stadt



Blick Richtung SW



Blick Richtung S

Kurzbeschreibung der Station Schwamendingen

Ammoniakemissionen. Einheit: kg ha⁻¹ Jahr⁻¹ (Datenbasis 2000) * (Radius um Station)

km*	Landwirtschaft	Haushalte & Industrie	Verkehr	total
0.5	2.3	4.3	26.4	33.0
2.5	1.0	4.0	8.0	13.0

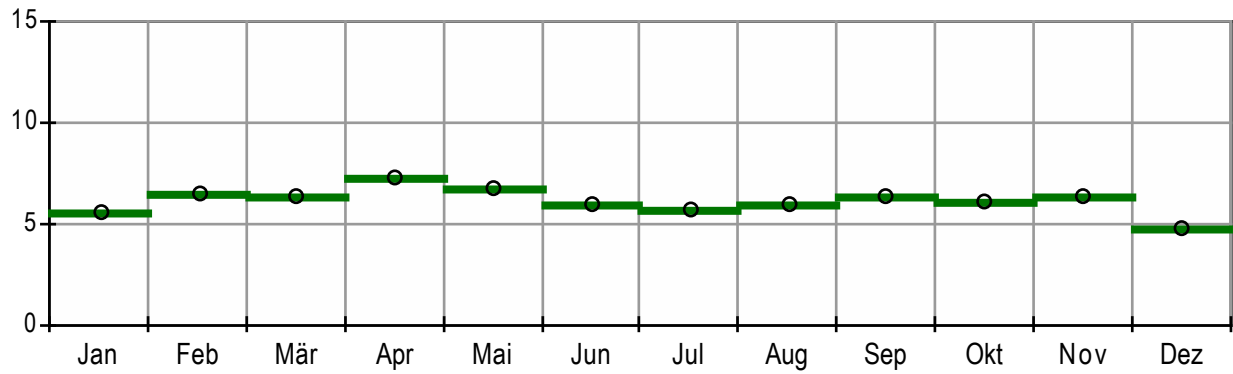
Ammoniakkonzentration in Luft. Einheit: µg m⁻³

Jahr	Jahresmittelwert	Winter Dez. - Feb.	Frühling März - Mai	Sommer Juni - Aug.	Herbst Sep. - Nov.
1999					
2000					
2001					
2002					
2003					
2004					
2005					
2006					
2007	6.1		6.7	5.8	6.2

Ammoniakkonzentration in Luft
Jahresverlauf Einzelwerte und Median

Schwamendingen

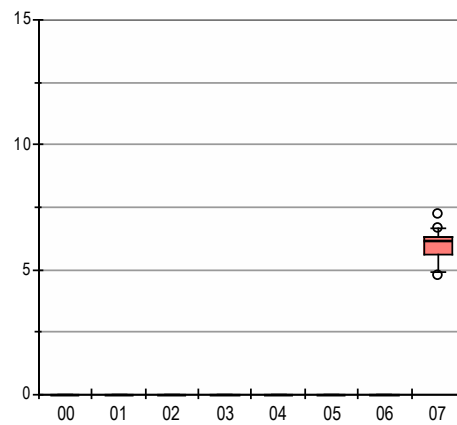
$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



Ammoniakkonzentration in Luft
Boxplot der Monatsmittelwerte

Schwamendingen

$\mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$



6 Literatur

- Agridea, Landwirtschaftsamt Thurgau 2006: Projektskizze N-Effizienz der Hofdünger steigern durch Reduktion der Ammoniakverluste
- BUWAL 2002: Ammoniak (NH₃)-Minderung bei der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Mitteilungen zur Luftreinhalte-Verordnung LRV, Nr. 13. BUWAL (ed.) Bern
- Cercl'Air 2002: Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft – Grundlagen der Luftreinhaltung. Positionspapier des Cercl'Air – Bericht der Arbeitsgruppe Ammoniak-Emissionen Bezug (22.8.2008): www.bafu.admin.ch/luft/00632/00640/index.html?lang=de
- Cercl'Air 2004: Stickstoffdioxidmessungen mit Passivsamplern, Nummer 25 Bezug: Cercl'Air Sekretariat, Postfach, 9102 Herisau, www.cerclair.ch (22.8.2008)
- EKL 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), BAFU (ed.) Bern, Schriftenreihe Umwelt Nr. 384.
- Empa 2003: Ammoniakmessungen im Gubristunnel – Vergleich verschiedener Analysemethoden. Bericht-Nr. 425'799, Abteilung Luftfremdstoffe / Umweltanalytik EMPA, 18 S.
- Gehrig, R., Fäsi, C., Hofer, P. 1993: Bestimmung des Staubbiederschlags nach Bergerhoff – Verfahrenskenngrößen für die Messung des Staubbiederschlags und seiner Anteile an Blei, Cadmium, Zink und Thallium. Staub – Reinhaltung der Luft 53 (1993) 201-208
- Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe) 2007: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak
- LRV 1985: Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985. SR 814.318.142.1
- OSTLUFT 2004: Stickstoff-Deposition in der Ostschweiz, 1994 bis 2003. Bezug (23.12.2008): www.ostluft.ch
- OSTLUFT 2005: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2004. Bezug (23.12.2008): www.ostluft.ch
- OSTLUFT 2006: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2005. Bezug (23.12.2008): www.ostluft.ch
- OSTLUFT 2007: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2006. Bezug (23.12.2008): www.ostluft.ch
- PSI/uwe 2007: Verursacher von Feinstaub, Teilbericht 1 PSI: Januar, Februar 2006, Teilbericht 2 uwe: Datenanalyse Reiden 2005/06, Paul Scherrer Institut / Umwelt und Energie Kanton Luzern
- Reidy B., Rihm B., Menzi H. 2007: A new Swiss inventory on ammonia emissions from agriculture based on a survey on farm and manure management and farmspecific model calculations. Atmospheric Environment (accepted).
- SN EN 13528-2 2002: Aussenluftqualität – Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Spezifische Anforderungen und Prüfverfahren.
- Thöni, L., Brang, P., Braun, S., Seidler, E., Rihm, B. 2004: Ammonia monitoring in Switzerland with passive samplers: patterns, determinants and comparison with modelled concentrations. Environmental Monitoring and Assessment 98, 93-107
- Thöni, L., Seidler, E. 2008: Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2007. BAFU-Bericht. Bezugsquelle: BAFU, Abt. Luftreinhaltung und NIS, CH-3003 Bern, Fax: ++41 31 324 01 37, pdf-Download (23.12.2008): www.bafu.admin.ch/luft/00649/01960/index.html?lang=de
- UNECE 2003: Expert Workshop on empirical critical loads for nitrogen deposition on (Semi-) natural ecosystems. Summary report prepared by the organizers. United Nations Economic Commission

for Europe, Executive Body for the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Working Group on Effects.. EB,.AIR/WG:1/2003/14

UNECE 2007: Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts. ECE/EB.AIR/WG.5/2007/3
<http://www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/ece.eb.air.wg.5.2007.3.e.pdf>

7 Grundlagen

7.1 Empfehlung für Messstandorte

Die Standorte für Ammoniakmessungen sollten so gewählt werden, dass so weit als möglich die regionale Immissionsbelastung erfasst werden kann. Dazu sollten folgende Kriterien beachtet werden:

- Platzierung auf einem offenen Feld mit freier Anströmbarkeit.
- Die Sammler sollten an einem Mast oder Kandelaber befestigt werden. In keinem Fall in einer Baumkrone oder in einer Hecke!
- Von Bäumen, Büschen, Hecken oder hoch wachsenden Kulturen (z.B. Mais) sollte genügend Abstand (horizontal ein Mehrfaches der Vegetationshöhe) gewählt werden.
- Empfohlene Höhe: 3 bis 5 m über Boden (gemäss WMO/GAW Empfehlungen für Schadstoffe die mit der Vegetation reagieren können, wie z. B. Ozon).
- Der Standort sollte regelmässig fotografisch dokumentiert werden.

Ergänzend können für Fallstudien, wie z.B. die Überprüfung der Wirksamkeit von kantonalen Massnahmen, Standorte in unmittelbarer Nähe von Emissionsquellen gewählt werden. Der Standort sollte regelmässig dokumentiert werden betreffend der getroffenen Massnahmen.

7.2 Messmethoden für Ammoniak in der Aussenluft

Ammoniak-Konzentrationen in der Aussenluft können unter anderem mit folgenden Methoden gemessen werden:

Kontinuierliche oder Quasikontinuierliche Messungen mit Hilfe von DOAS (Differential optical absorption spectroscopy), FTIR (Fourier-Transformations-Infrarot-Spektroskopie), Omnisens-PAS (Photoakustische Spektroskopie), oder mit einem automatisierten Denudersystem z.B. Airmonia oder AMOR (Wet Annular Denuder System) (Empa 2003).

Für periodische Messungen werden vor allem Denuder-Systeme (aktive Sammlung) und Passivsammler eingesetzt.

7.3 Passivsammler für Ammoniakmessung

In der vorliegenden Messkampagne wurde bis 2003 mit Zürcher Passivsammlern, ab 2004 mit Radiello Passivsammlern gemessen.

7.3.1 Zürcher Passivsammler

Der Zürcher Passivsammler, ein Sammler nach dem Prinzip von Palmes, wurde nach einer Idee von F. Zürcher (AfU AR) von A. Blatter, M. Fahrni und A. Neftel (1992) am Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL) in Liebefeld (heute ART Reckenholz) für Emissionsmessungen in der Landwirtschaft entwickelt und von der FUB bis zur Feldtauglichkeit für Immissionsmessungen weiterentwickelt. (Thöni 1993)

Er besteht aus einem einseitig offenen Zylinder aus Polypropylen mit Schraubverschlüssen und Teflondichtungen. Als Absorptionsmedium wird eine stark verdünnte Salzsäurelösung (0.0016%) verwendet, die durch eine poröse Teflonmembran (0.2 µm) von der Umgebungsluft getrennt ist; als Frostschutz wird 20% Ethylenglykol beigegeben. Der Diffusionsweg beträgt 7 mm. In Abbildung 10 wird der Passivsammler schematisch sowie als Bild (aufgeschnittenen Aufhängevorrichtung) dargestellt.

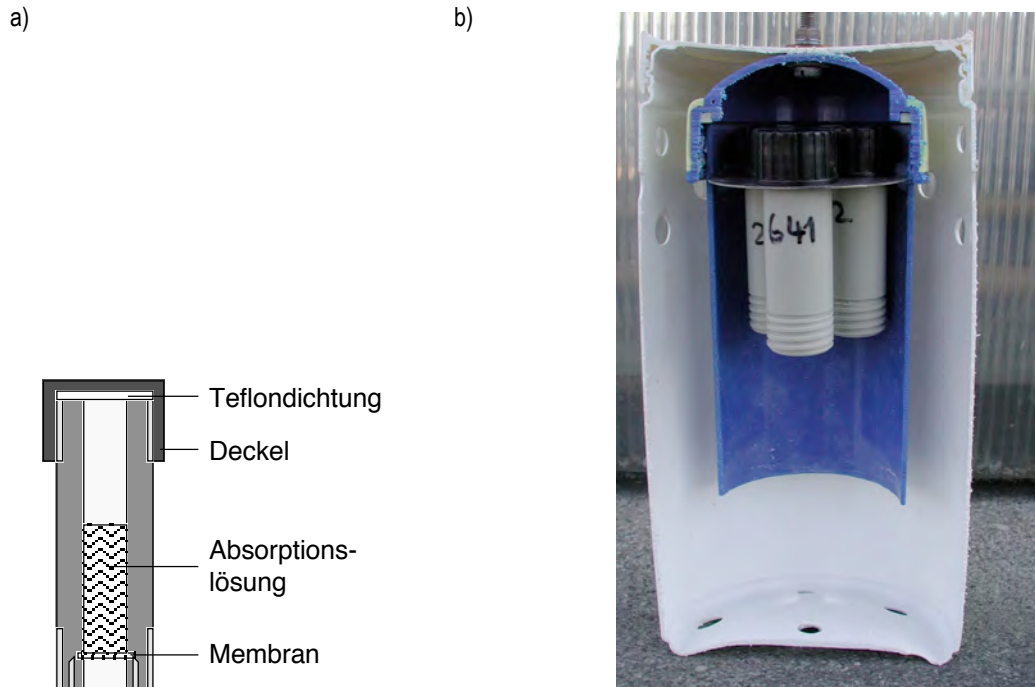


Abbildung 10 a) Zürcher-Passivsammler, schematisch dargestellt, Höhe 64 mm, Durchmesser aussen 20 mm, Durchmesser innen 9 mm
b) Zürcher-Passivsammler in aufgeschnittener Schutzbüchse

Der Stofffluss berechnet sich aus der Konzentrationsdifferenz und dem zu überwindenden Diffusions- und Membranwiderstand. Der Diffusionswiderstand berechnet sich gemäss dem ersten Fick'schen Gesetz, der Membranwiderstand wurde am IUL experimentell bestimmt.

Die während der Exposition durch Verdunstung verlorene Lösung wird gravimetrisch bestimmt und in die Berechnung einbezogen.

Ammoniak wird als Ammonium direkt im Absorptionsmedium mittels Ionenchromatografie gemessen (Dionex DX-100, Dionex column CS 12).

Da der Diffusionsweg mit 7 mm sehr kurz ist, müssen die Passivsammler vor Wind und Luftwirbeln geschützt werden. Dazu werden die Passivsammler in einer doppelwandigen Schutzbüchse mit Lüftungslöchern, die gleichzeitig als Aufhängevorrichtung fungiert, exponiert.

Berechnung

$$\rho_{\text{NH}_3, \text{Luft}} = \frac{m_{\text{NH}_4^+} \cdot M_{\text{NH}_3} \cdot R}{M_{\text{NH}_4^+} \cdot A \cdot t}$$

$\rho_{\text{NH}_3, \text{Luft}}$	=	Konzentration von Ammoniak in Luft
$m_{\text{NH}_4^+}$	=	Masse Ammonium, das von der Cartridge desorbiert wurde
M_{NH_3}	=	Molare Masse von NH_3
$M_{\text{NH}_4^+}$	=	Molare Masse von NH_4^+
R	=	Gesamtwiderstand
A	=	Fläche der Diffusionsöffnung
t	=	Zeit der Exposition

Der Gesamtwiderstand setzt sich zusammen aus Diffusionswiderstand und Membranwiderstand:

$$R = R_D + R_M = \frac{1}{D} \cdot l_D + R_M$$

R_D	=	Diffusionswiderstand
R_M	=	Membranwiderstand
D	=	Diffusionskonstante von Ammoniak bei 293 K und 1013 hPa
l_D	=	Diffusionsstrecke

7.3.2 Radiello Passivsammler

Der Radiello Passivsammler ist ein käufliches System, das zur Bestimmung einer grossen Anzahl gasförmiger Stoffe (anorganisch und organisch) eingesetzt werden kann. Es fusst auf dem Prinzip der Diffusion. Bei den herkömmlichen Palmes Sammlern ist eine relativ kleine Diffusionsöffnung vorhanden, was zu einer kleinen Sammelrate führt. Um diese zu vergrössern und damit die Analytische Empfindlichkeit zu erhöhen, wurde bei den Radiello Passivsammlern die Diffusions- und Absorptionsoberfläche zylindrisch und coaxial gestaltet (Radial-Sammler) (Abbildung 11). Eine genaue Beschreibung kann bei der Fondazione Salvatore Maugeri (fsmpd@fsm.it) bestellt werden. Der Body (Diffusive surface) ist aus 1.7 mm dickem mikroporösem Polyethylen mit einer Porenöffnung von $25 \pm 5 \mu\text{m}$ gebildet.

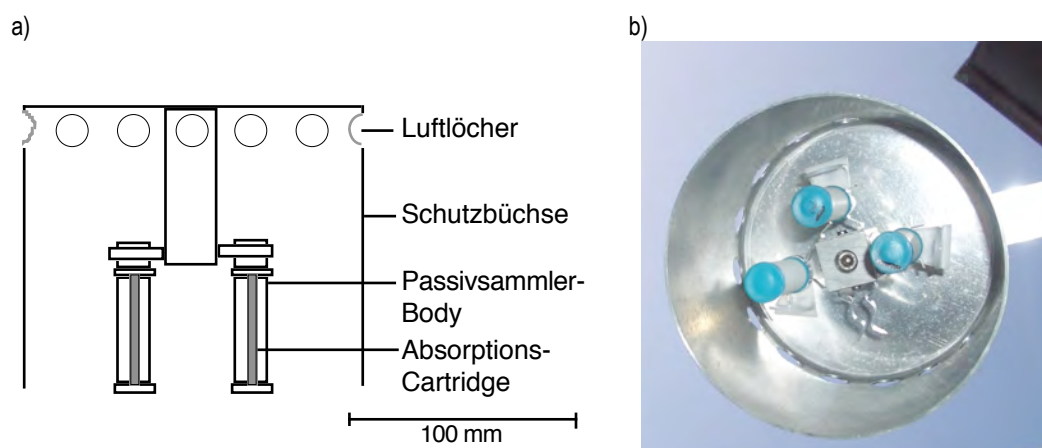


Abbildung 11 a) Schema des Radiello Passivsammlers, Gesamtlänge 65 mm mit Schutzbüchse, die gleichzeitig als Aufhängevorrichtung dient.

b) Radiello Passivsammler mit Schutzbüchse von unten

Die Absorptions-Cartridge für die Ammoniaksammlung besteht ebenfalls aus mikroporösem Polyethylen und wird mit Phosphorsäure belegt. Die Cartridge ist 60 mm lang mit einem Durchmesser von 4.8 mm.

Die Passivsammler werden in einer gut durchlüfteten Aufhängevorrichtung exponiert, die gleichzeitig als Witterungsschutz fungiert. Die Cartridges werden mit hochreinem Wasser desorbiert. Das Eluat wird mit Ionenchromatografie oder Fliessinjektionsanalyse mit Gasdiffusionsmembrane und UV-Detektion anstelle der vorgeschlagenen Fotometrie mit Indophenol-Methode auf Ammonium analysiert. Die Blindwerte und damit die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen können so deutlich gesenkt werden.

Berechnung

$$\rho_{\text{NH}_3, \text{Luft}} = \frac{m_{\text{NH}_4^+} \cdot M_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_4^+} \cdot Q \cdot t}$$

$\rho_{\text{NH}_3, \text{Luft}}$ = Konzentration von Ammoniak in Luft

$m_{\text{NH}_4^+}$ = Masse Ammonium, das von der Cartridge desorbiert wurde

M_{NH_3} = Molare Masse von NH_3

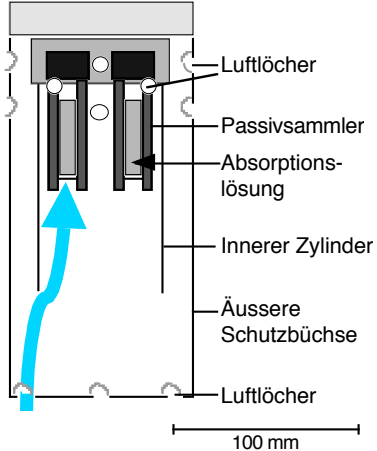
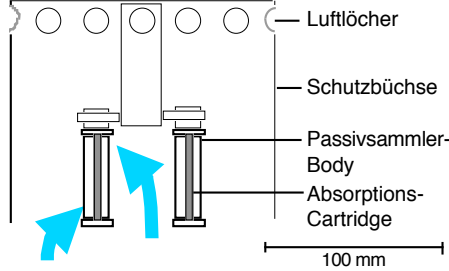
$M_{\text{NH}_4^+}$ = Molare Masse von NH_4^+

Q = Sammelrate bei 293 K und 1013 hPa

t = Zeit der Exposition

7.3.3 Beide Sammler im Vergleich

Tabelle 7 Radiello und Zürcher Passivsammler im Vergleich

Sammlerbeschreibung	Zürcher PS	Radiello PS
Transportweg vom Schutzbüchseingang zum Passivsammler	ca. 110 mm 	0 - 50 mm 
Weg durch den Passivsammler: über Gasdiffusion in die Senke	Gasphase Teflonmembran Flüssigphase	Gasphase mikroporöses Polyethylen Gasphase Festphase
Absorber	Verdünnte Salzsäurelösung (0.0016% v/v) Ethylenglykol (Frostschutz)	imprägnierte Oberfläche (Phosphorsäure)
Gasaustauschfläche	63 mm ²	2300 mm ²
Empirisch ermittelte Diffusionsstrecke	10.2 mm	18 mm
Sammelrate Q	8.7 cm ³ min ⁻¹	235 cm ³ min ⁻¹
Linearer Sammelbereich	6'000 - 5'000'000 µg m ⁻³ min NH ₃	2'000 - 7'000'000 µg m ⁻³ min NH ₃
theor. max. Sammeldauer bei 100 µg m ⁻³ NH ₃	30 Tage	50 Tage
Messprinzip	selektive Bestimmung von NH ₄ ⁺ in der flüssigen Phase (Ionenchromatografie)	selektive Bestimmung von NH ₄ ⁺ im Absorptionsextrakt (Ionenchromatografie, Fliessinjektionsanalyse)

7.3.4 Kalibrierung der Zürcher Sammler auf Radiello Sammler

Die fortlaufenden Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz wurden 2000 mit Zürcher Passivsammlern begonnen und 2004 mit Radiello Passivsammlern fortgesetzt. Die beiden Passivsammlersysteme wurden an acht unterschiedlichen Standorten mehrere Jahre zusammen exponiert. Diese insgesamt 294 einzelnen Vergleichsmessungen zeigten, dass die Zürcher Passivsammler, vor allem an quellennahen Standorten mit grossen Schwankungen der Ammoniakexposition, im Vergleich mit Radiello Passivsammlern und Minidenudern ca. 10% tiefere Werte messen (Abbildung 12).

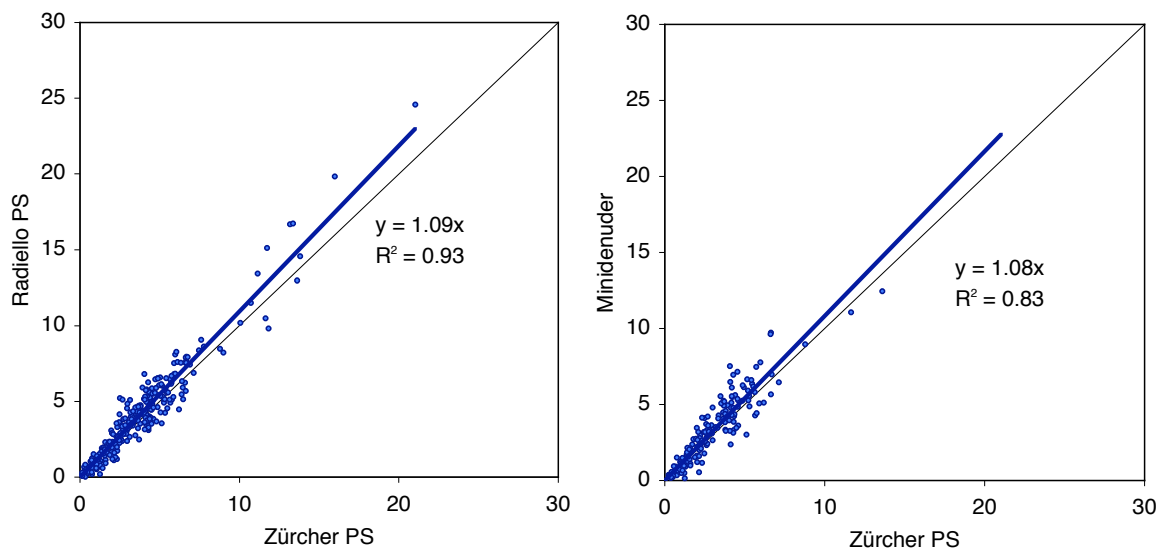


Abbildung 12 Vergleich der Zürcher-Passivsammler mit Radiello Passivsammlern (links) und Minidenudern (rechts), Werte in $\mu\text{g m}^{-3}$

Die Zürcher Passivsammlerwerte der Jahre 2000 – 2003 wurden darum rückwirkend auf die Radiello Passivsammlerwerte kalibriert:

$$\rho_{\text{NH}_3, \text{Radiello}} = 1.1 \cdot \rho_{\text{NH}_3, \text{Zürcher}}$$

ρ_{NH_3} = Konzentration von Ammoniak in Luft

Abbildung 13 zeigt, dass die Werte nun unabhängig von der Belastungssituation gut miteinander korrelieren und somit die Kontinuität der langen Messreihe gewährleistet ist. Im vorliegenden Bericht sind überall die korrigierten Werte berücksichtigt.

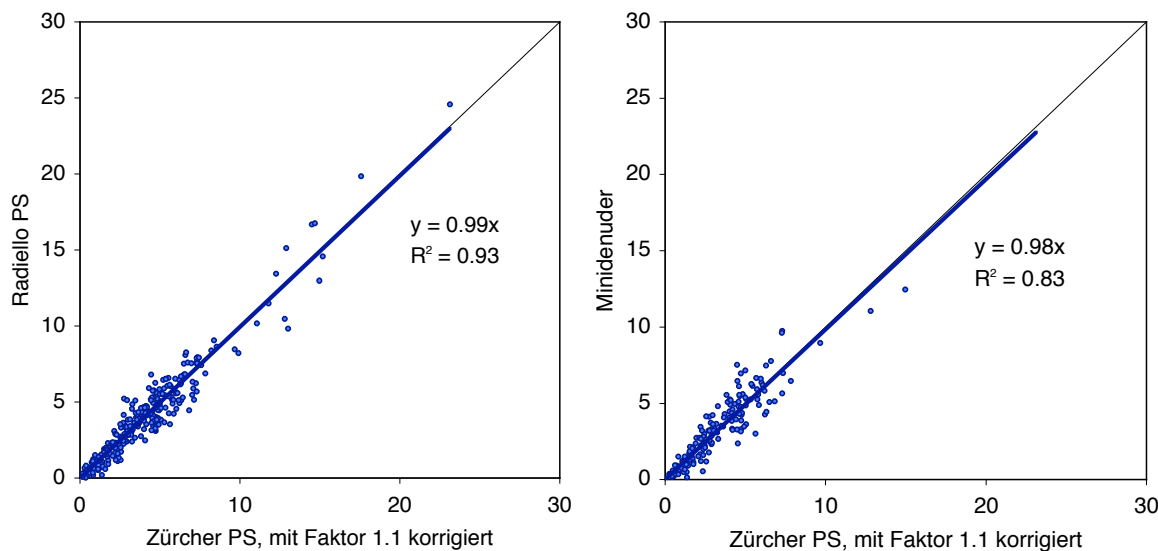


Abbildung 13 Vergleich der Zürcher-Passivsammler mit Radiello Passivsammlern (links) und Minidenudern (rechts) nach Anwendung des Korrekturfaktors für die Zürcher Werte, Werte in $\mu\text{g m}^{-3}$

7.3.5 Grund für den Systemwechsel von Zürcher- zu Radiello-Passivsammler

Die Radiello Passivsammler erwiesen sich als das qualitativ bessere System mit deutlich höherer Sammelrate (siehe Tabelle 7), weniger Ausfällen, tieferer Standardabweichung und Bestimmungsgrenze als die Zürcher Passivsammler (Tabelle 8).

Tabelle 8 Radiello- und Zürcher Passivsammler in Zahlen (Datengrundlage: Zürcher PS 2000 – 2003, Radiello PS 2004 – 2006)

Methodische Kenngrößen	Zürcher PS	Radiello PS
Kalibrierbereich der Messlösung	0.05 - 0.5 mg l ⁻¹ NH ₄ ⁺	0.5 - 8 mg l ⁻¹ NH ₄ ⁺
Sammelbereich 2 Wochen exponiert	0.3 - 250 µg m ⁻³ NH ₃	0.1 - 1'000 µg m ⁻³ NH ₃
Ausreisser	1.8%	1.8%
Ausfälle	2.3%	0.8%
Standardabweichung der Dreifachbestimmung	±8%	±5.5%
Bestimmungsgrenze (2 Wochen, Feldblind)	0.67 µg m ⁻³	0.32 µg m⁻³
Vertrauensbereich (95%) der Jahresmittel, Median	0.08 µg m ⁻³	0.06 µg m ⁻³
Richtigkeit	Methodenvergleich (Denuder)	Methodenvergleich (Denuder)

7.3.6 Qualitätssicherung

Zur Qualitätssicherung sollten unbedingt, wie auch von EMEP und Cercl'Air empfohlen, 3 Passivsammler an jedem Standort parallel aufgehängt werden (siehe Cercl'Air Empfehlung Nr 25 vom 7.12.2004). Dies erlaubt es, Ausreisser zu identifizieren.

Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Die Nachweis- und Bestimmungsgrenze der beiden Passivsammler wurde gemäss Empfehlung der SN EN 13528² (2002) bestimmt.

Nachweisgrenze: 3 x Standardabweichung der Blindwerte

Bestimmungsgrenze: 10 x Standardabweichung der Blindwerte

Dazu wurden Feldblindproben auf Ammoniak analysiert und die Standardabweichung des Einzelwertes berechnet. Um direkt mit den Konzentrationen in der Luft vergleichen zu können, wurden die Nachweis- und Bestimmungsgrenzen je mit einer mittleren Expositionszeit von 14 + 28 Tagen berechnet (Tabelle 9)

Tabelle 9 Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Radiello- und Zürcher-Passivsammler für Ammoniak.

		Radiello Passivsammler		Zürcher Passivsammler	
		14	28	14	28
Expositionszeit	d				
Nachweisgrenze	µg m ⁻³ NH ₃	0.19	0.10	0.40	0.20
Bestimmungsgrenze	µg m ⁻³ NH ₃	0.64	0.32	1.3	0.67

Für die Berechnung der Jahres- und Saisonmittelwerte wurden Messwerte unter der Bestimmungsgrenze berücksichtigt, und auch in den Grafiken sind die Werte dargestellt, da die unsicheren Werte im untersten Bereich mehr aussagen als gar keine Werte.

Feld-Blindwerte

Die mittleren Feld-Blindwerte (Radiello) entsprachen $0.16 \mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 für Zweiwochenperioden und $0.08 \mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 für Vierwochenperioden. Sie wurden von den Analysresultaten abgezogen.

Standardabweichung der Dreifachbestimmungen, Vertrauensbereich

Die mittlere relative Standardabweichung aller Dreifachbestimmungen der Radiello-Messung betrug 5.5% (Zürcher Passivsammler 8%).

Für jeden Standort wurde der 95% Vertrauensbereich für die jeweiligen Serien- (meist Zweiwochen-) und Jahresmittelwerte berechnet (nach Gehrig et al. 1993). Für die Berechnung wurden nur vollständige Dreifachbestimmungen berücksichtigt (Tabelle 10). Der Vertrauensbereich der Jahresmittelwerte betrug bei den Radiello Passivsammlern 1 – 7% der gemessenen Konzentration, bei den Zürcher Passivsammlern 1 – 16%. Hohe Prozentzahlen wurden an Standorten mit sehr niedrigen Ammoniakkonzentrationen in der Luft gefunden (Wengernalp).

Tabelle 10 95%-Vertrauensbereich der Serienmittelwerte und Jahresmittelwerte von Radiello und Zürcher Passivsammlern

	Vertrauensbereich (95%)	
	Serienmittelwert $\mu\text{g m}^{-3}$	Jahresmittelwert $\mu\text{g m}^{-3}$
	Radiello Passivsammler	
(2004)		
Minimalwert	0.07	0.02
Median	0.29	0.06
Maximalwert	0.82	0.23
	Zürcher Passivsammler	
(2000 - 2002)		
Minimalwert	0.11	0.03
Median	0.34	0.08
Maximalwert	1.25	0.26

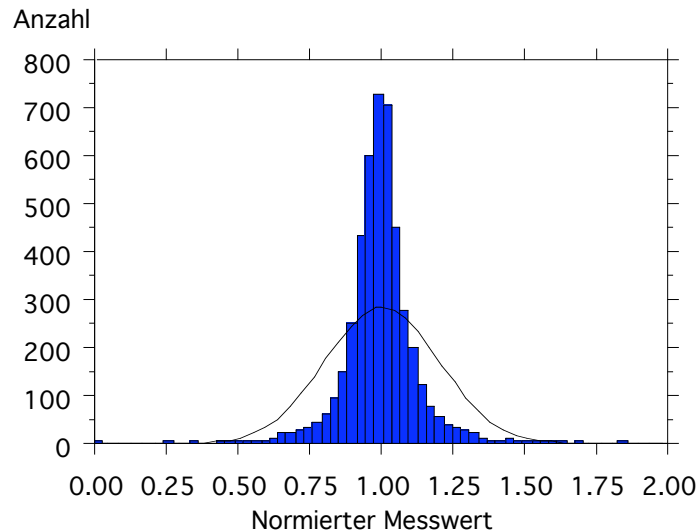


Abbildung14 Häufigkeitsverteilung von normierten Einzelmesswerten von Ammoniak gemessen mit dem Zürcher Passivsammler, Dreifachbestimmung (Normierkriterium: Mittelwert jeder Dreifachbestimmung = 1). Linie = Normalverteilung, 4633 Einzelwerte

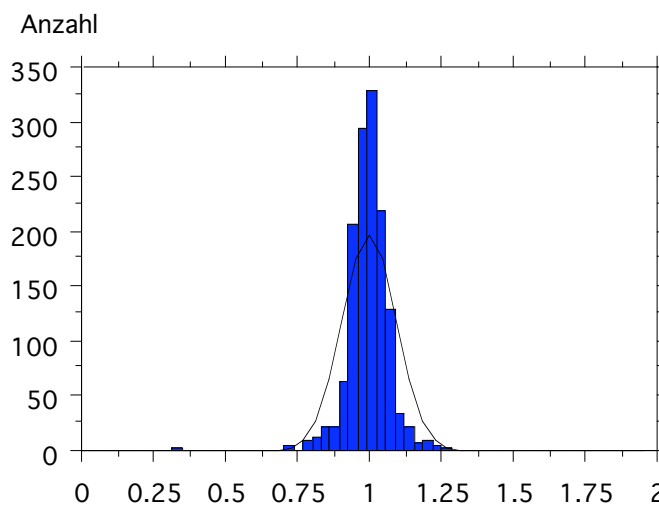


Abbildung15 Häufigkeitsverteilung von normierten Einzelmesswerten von Ammoniak gemessen mit dem Radiello Passivsammler, Dreifachbestimmung (Normierkriterium: Mittelwert jeder Dreifachbestimmung = 1). Linie = Normalverteilung, 1407 Einzelwerte

Abbildung 14 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Abweichung von normierten Einzelwerten, mit Zürcher Passivsammlern gemessen, Abbildung 15 diejenige mit Radiello Passivsammlern gemessen. Die Werte sind normal verteilt.

Vergleich mit Referenzmessung

Abbildung 16 zeigt die Vergleichswerte zwischen den Radiello Passivsammlern und den Minidenudern, welche an acht Standorten erhoben wurden: Bachtel, Rapperswil Dach, Rigi, Schönenbuch, Wauwil 6, Härkingen, Payerne und Braunschweig. Der Minidenuder ist ein System, das Ammoniak aktiv sammelt; die Aussenluft wird durch ein mit einer Säure belegtes Rohr gesaugt, wobei das Ammoniak an der Wand absorbiert wird. Die Radiello-Messungen liefern eine gute Übereinstimmung mit den Minidenuder-Messungen.

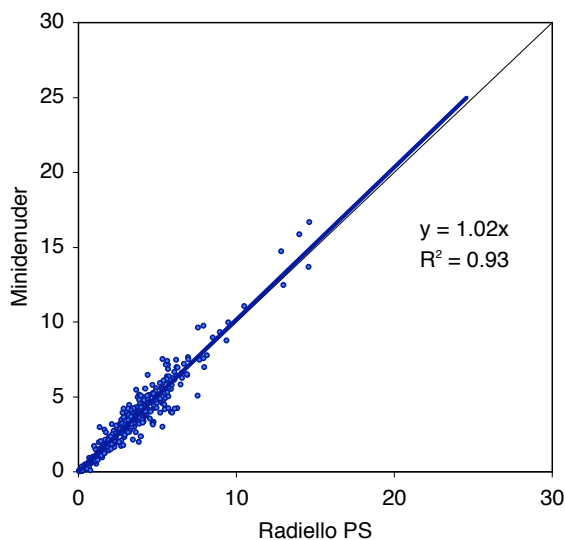


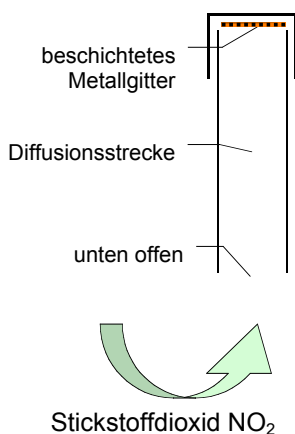
Abbildung16 Vergleich der Radiello- mit Minidenudermessungen, eine unabhängige, aktive Methode zur Ammoniakbestimmung. Werte in $\mu\text{g m}^{-3}$

7.4 Passivsammler für NO₂-Messung

Für die Stickstoffdioxidmessung wurden Passivsammler nach Palmes verwendet. Bis 2001 wurde der einseitig offene Sammler ohne Windschutz, ab 2002 der OSTLUFT-Passivsammler mit Windschutz verwendet (Brunner & Schlatter 2002) (Abb. 6.8).

Die beiden Sammlertypen geben sehr gut übereinstimmende NO₂-Konzentrationen. Bei Vergleichsmessungen an 15 verschiedenen Standorten über ein bis drei Jahre wies der offene Sammler durchschnittlich 2.5 % höhere Konzentrationen auf als der OSTLUFT-Sammler.

Passivsammler nach Palmes bis 2001



UGZ-Passivsammler nach Palmes ab 2002

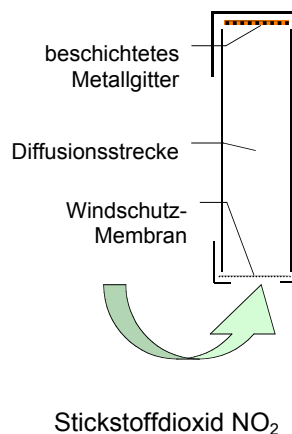


Abbildung 17 Methode zur Erfassung von NO₂ mit Passivsammlern mit und ohne Windschutz, Schematische Skizzen

7.5 Berechnung der Jahres- und Saisonmittelwerte

7.5.1 Vollständigkeit der Messperioden

Bei Berechnung von Jahres-, Saison- oder Monatsmittelwerten wurde die Vollständigkeit der Sammelintervalle berücksichtigt. Waren die Passivsammler zwischen 80 und 90% der gemittelten Messperiode exponiert, wurden die Mittelwerte in Tabellen kursiv dargestellt. Wurde weniger lang als 80% der Zeit gesammelt, wurden keine Mittelwerte berechnet.

7.5.2 Berechnung der Jahresmittelwerte

Für die Jahresmittelwerte wurden die Messwerte auf das Kalenderjahr umgerechnet, indem alle Messperioden zeitgewichtet erfasst und die Messperioden über den Jahreswechsel zeitgewichtet aufgeteilt wurden.

Die Messperiode 1999/2000, im Bericht als 2000 geschrieben, begann je nach Standort zwischen August und November 1999 und dauerte ein paar Tage länger als ein Jahr. Für die Berechnung des Jahresmittelwertes eines Standortes wurde als Ende der Messperiode der Messbeginn plus 366 Tage festgelegt.

Zwischen der Messperiode 1999/2000 und dem Beginn der Messperiode 2001 weisen alle langjährigen Messreihen eine Lücke auf (Abbildung 18).

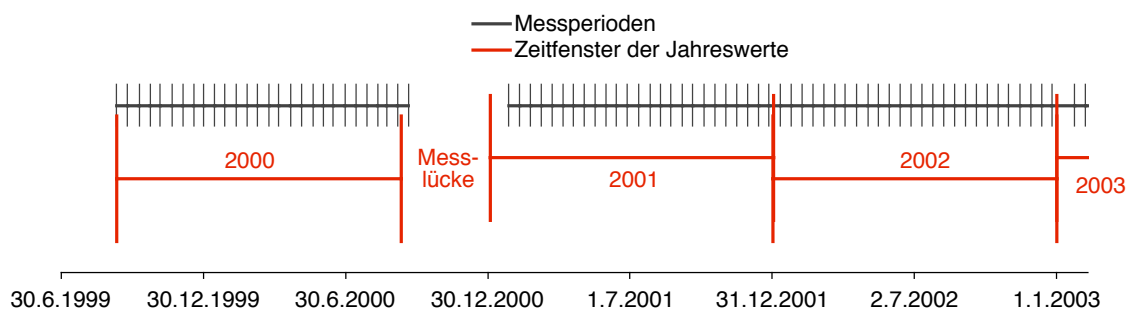


Abbildung 18 Beispiel, wie die Zeitfenster für die Jahresmittelwerte definiert wurden.

7.5.3 Berechnung der Saisonmittelwerte

Saisonmittelwerte wurden über folgende Monate berechnet:

Winter	Dezember des Vorjahres, Januar, Februar
Frühling:	März, April, Mai
Sommer:	Juni, Juli, August
Herbst:	September, Oktober, November

Der Mittelwert von Frühling, Sommer und Herbst wird als Ammoniakkonzentration während der Vegetationsperiode bezeichnet.

Der Winter ist in der Regel vollständig durch die Winterruhe abgedeckt, allerdings weichen gerade die Winter 2006/07 und 2007/08 davon ab, wo im Februar vielerorts bereits gegüllet wurde.

Im Jahr 1999/2000 musste ein Saisonwert jeweils aufgeteilt werden, weil die Messperiode mitten in einer Saison begann. Die Konzentrationen des Winters 2001

(Dezember 2000 – Februar 2001) fehlen, weil alle langjährigen Messreihen zwischen der Messperiode 1999/2000 und dem Beginn der Messperiode 2001 eine Lücke aufweisen. (Abbildung 19)

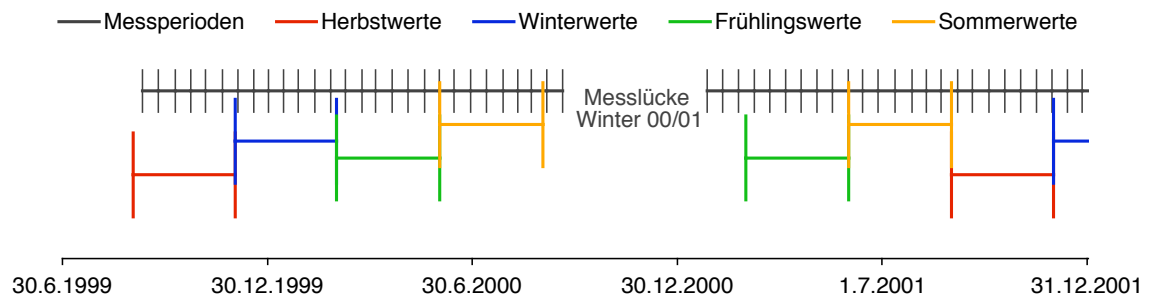


Abbildung 19 Beispiel, wie die Zeitfenster für die Saisonmittelwerte definiert wurden.

8 Anhang

8.1 Ammoniak-Messwerte 2007

Die Messwerte der früheren Jahre sind in OSTLUFT (2004, 2005, 2006 & 2007) aufgelistet.

Konzentration NH₃ in µg m⁻³.

Code	Anfangs- datum	Expositions- dauer Tage	Mittelwert µg m ⁻³	Standard- abweichung µg m ⁻³	Anzahl PS	Code	Anfangs- datum	Expositions- dauer Tage	Mittelwert µg m ⁻³	Standard- abweichung µg m ⁻³	Anzahl PS
APS	06.01.2007	26.1	5.0	0.3	3	ESCH	15.11.2007	15.0	3.6	0.3	3
APS	01.02.2007	28.0	7.7	0.2	3	ESCH	30.11.2007	14.0	2.2	0.5	3
APS	01.03.2007	27.9	15.4	0.5	3	ESCH	14.12.2007	17.0	1.8	0.1	3
APS	29.03.2007	28.0	12.7	0.2	3						
APS	02.05.2007	21.7	13.4	0.0	3	MAU	30.12.2006	17.3	3.2	0.1	2
APS	02.05.2007	21.7	13.4	0.0	3	MAU	16.01.2007	15.0	2.3	0.2	3
APS	24.05.2007	27.9	14.0	0.4	3	MAU	31.01.2007	14.0	2.4	0.2	3
APS	21.06.2007	28.3	7.4	0.1	3	MAU	14.02.2007	13.0	11.4	0.9	3
APS	19.07.2007	27.9	11.3	0.1	2	MAU	27.02.2007	15.0	9.5	0.1	2
APS	16.08.2007	27.1	7.0	0.4	3	MAU	14.03.2007	16.0	8.1	0.3	3
APS	12.09.2007	29.1	6.2	0.1	3	MAU	30.03.2007	14.0	5.1	0.3	3
APS	11.10.2007	27.8	14.5	0.3	3	MAU	13.04.2007	16.7	12.4	0.4	3
APS	08.11.2007	28.1	4.2	0.1	3	MAU	30.04.2007	16.3	9.1	1.1	3
APS	06.12.2007	28.0	5.9	0.2	3	MAU	16.05.2007	15.0	4.7	0.4	3
						MAU	31.05.2007	15.0	6.8	0.2	3
HÄG	05.01.2007	26.8	3.9	0.2	3	MAU	15.06.2007	14.0	3.8	0.3	3
HÄG	01.02.2007	28.0	7.0	0.3	3	MAU	29.06.2007	17.1	3.8	0.6	3
HÄG	01.03.2007	29.1	9.4	0.0	3	MAU	16.07.2007	14.9	4.7	0.1	3
HÄG	30.03.2007	27.0	11.7	0.1	3	MAU	31.07.2007	15.1	3.8	0.2	3
HÄG	26.04.2007	28.1	10.8	0.0	3	MAU	15.08.2007	16.0	11.4	1.1	3
HÄG	24.05.2007	27.8	7.0	0.1	3	MAU	31.08.2007	14.0	3.1	0.3	3
HÄG	21.06.2007	29.0	7.6	0.1	3	MAU	14.09.2007	14.0	4.2	0.4	3
HÄG	20.07.2007	27.0	6.7	0.5	3	MAU	28.09.2007	18.0	4.9	0.1	3
HÄG	16.08.2007	27.1	6.4	0.1	3	MAU	16.10.2007	15.0	3.9	0.0	3
HÄG	12.09.2007	28.9	6.9	0.1	3	MAU	31.10.2007	15.0	7.5	0.4	3
HÄG	11.10.2007	28.0	7.2	0.1	3	MAU	15.11.2007	15.0	5.8	0.5	3
HÄG	08.11.2007	27.2	4.9	0.2	3	MAU	30.11.2007	14.0	3.4	0.2	3
HÄG	05.12.2007	29.0	2.5	0.1	3	MAU	14.12.2007	17.0	2.2	0.2	3
ESCH	30.12.2006	17.2	2.5	0.1	3	TAE	27.12.2006	14.1	3.6	0.3	3
ESCH	16.01.2007	15.0	2.3	0.1	3	TAE	10.01.2007	14.6	4.0	0.3	3
ESCH	31.01.2007	14.0	2.0	0.1	3	TAE	25.01.2007	14.0	3.1	0.1	3
ESCH	14.02.2007	13.0	8.9	0.4	3	TAE	08.02.2007	13.9	6.4	0.1	3
ESCH	27.02.2007	15.0	5.2	0.6	3	TAE	22.02.2007	13.1	5.2	0.2	2
ESCH	14.03.2007	16.0	11.0	0.5	3	TAE	07.03.2007	14.3	16.0	0.5	3
ESCH	30.03.2007	14.0	7.0	0.3	3	TAE	21.03.2007	13.7	4.3	0.6	2
ESCH	13.04.2007	16.8	9.5	0.6	3	TAE	04.04.2007	14.0	11.6	0.4	3
ESCH	30.04.2007	16.2	6.7	0.6	3	TAE	18.04.2007	14.0	11.1	0.3	3
ESCH	16.05.2007	15.0	5.9	0.6	3	TAE	02.05.2007	14.0	6.0	0.1	3
ESCH	31.05.2007	15.0	5.0	0.3	3	TAE	16.05.2007	15.1	6.5	0.4	3
ESCH	15.06.2007	14.0	3.1	0.3	3	TAE	31.05.2007	13.9	8.7	0.3	3
ESCH	29.06.2007	17.1	4.1	0.3	3	TAE	14.06.2007	12.4	5.9	0.2	3
ESCH	16.07.2007	14.9	5.6	0.3	3	TAE	26.06.2007	15.9	1.8	0.3	3
ESCH	31.07.2007	15.0	3.1	0.1	3	TAE	12.07.2007	13.7	7.4	0.3	3
ESCH	15.08.2007	16.0	5.8	0.5	3	TAE	26.07.2007	18.3	3.7	0.2	3
ESCH	31.08.2007	14.0	4.3	0.5	3	TAE	13.08.2007	21.7	9.3	0.2	3
ESCH	14.09.2007	14.0	3.8	0.2	3	TAE	04.09.2007	15.3	4.0	0.3	3
ESCH	28.09.2007	18.0	4.1	0.3	3	TAE	19.09.2007	14.0	4.3	0.3	3
ESCH	16.10.2007	15.0	4.5	0.3	3	TAE	03.10.2007	13.8	6.9	0.5	3
ESCH	31.10.2007	15.0	3.0	0.4	3	TAE	17.10.2007	13.4	7.5	0.3	3

Code	Anfangs- datum	Expositions- dauer Tage	Mittelwert $\mu\text{g m}^{-3}$	Standard- abweichung $\mu\text{g m}^{-3}$	Anzahl PS	Code	Anfangs- datum	Expositions- dauer Tage	Mittelwert $\mu\text{g m}^{-3}$	Standard- abweichung $\mu\text{g m}^{-3}$	Anzahl PS	
TAE	30.10.2007	15.0	4.6	0.4	3	SCH	23.04.2007	28.0	3.5	0.2	3	
TAE	14.11.2007	14.9	6.8	0.1	3	SCH	21.05.2007	28.0	2.1	0.1	3	
TAE	29.11.2007	19.7	2.9	0.1	3	SCH	18.06.2007	28.0	1.2	0.4	3	
TAE	19.12.2007	21.3	4.1	0.2	3	SCH	16.07.2007	28.0	2.1	0.1	3	
BA	02.01.2007	14.0	1.1	0.1	3	SCH	13.08.2007	28.0	1.4	0.1	3	
BA	16.01.2007	14.7	1.0	0.1	3	SCH	10.09.2007	28.0	1.6	0.2	3	
BA	31.01.2007	13.3	0.5	0.1	3	SCH	08.10.2007	28.0	1.8	0.1	3	
BA	13.02.2007	13.8	2.9	0.2	3	SCH	05.11.2007	29.0	1.3	0.0	3	
BA	27.02.2007	14.2	1.1	0.1	3	SCH	04.12.2007	24.0	1.2	0.1	3	
BA	13.03.2007	13.8	2.5	0.1	3	ZUE	03.01.2007	15.0	2.4	0.1	3	
BA	27.03.2007	13.2	1.4	0.1	3	ZUE	18.01.2007	14.0	1.6	0.1	3	
BA	09.04.2007	15.0	3.5	0.3	3	ZUE	01.02.2007	14.0	1.7	0.1	3	
BA	24.04.2007	14.1	12.9	1.4	2	ZUE	15.02.2007	14.0	3.2	0.1	3	
BA	08.05.2007	13.9	2.7	0.0	3	ZUE	01.03.2007	14.1	2.8	0.1	3	
BA	22.05.2007	14.1			0	ZUE	15.03.2007	13.8	2.3	0.2	3	
BA	05.06.2007	14.0	2.2	0.2	3	ZUE	29.03.2007	19.1	4.5	0.1	3	
BA	19.06.2007	13.8	3.3	0.2	3	ZUE	17.04.2007	15.9	6.1	0.2	3	
BA	03.07.2007	14.3	1.2	0.1	3	ZUE	03.05.2007	12.0	4.0	0.2	3	
BA	17.07.2007	13.7	2.0	0.1	3	ZUE	15.05.2007	14.9	3.3	0.1	3	
BA	31.07.2007	14.2	1.3	0.0	3	ZUE	30.05.2007	14.1	3.6	0.1	3	
BA	14.08.2007	14.0	2.0	0.0	3	ZUE	13.06.2007	13.0	3.4	0.2	3	
BA	28.08.2007	13.8	1.0	0.0	3	ZUE	26.06.2007	15.9	2.2	0.2	3	
BA	11.09.2007	14.9	1.9	0.0	3	ZUE	12.07.2007	12.1	3.6	0.2	3	
BA	26.09.2007	13.1	1.2	0.0	3	ZUE	24.07.2007	14.9	3.1	0.1	2	
BA	09.10.2007	14.2	1.4	0.1	3	ZUE	08.08.2007	13.1	3.1	0.1	3	
BA	23.10.2007	14.0	2.0	0.2	3	ZUE	21.08.2007	15.8	3.6	0.1	3	
BA	06.11.2007	13.8	0.8	0.1	3	ZUE	06.09.2007	13.0	3.3	0.3	3	
BA	20.11.2007	14.0	1.4	0.0	3	ZUE	19.09.2007	14.0	3.4	0.1	3	
BA	04.12.2007	14.0	0.5	0.0	3	ZUE	03.10.2007	13.2	3.2	0.2	3	
BA	18.12.2007	14.3	0.5	0.0	3	ZUE	16.10.2007	14.0	2.8	0.2	3	
HUD	3	16.01.2007	29.0	0.9	0.1	3	ZUE	30.10.2007	15.0	2.9	0.2	3
HUD	3	14.02.2007	28.0	4.1	0.1	3	ZUE	14.11.2007	15.0	2.7	0.2	3
HUD	3	14.03.2007	30.0	2.7	0.1	3	ZUE	29.11.2007	21.0	1.6	0.1	3
HUD	3	13.04.2007	33.0	4.4	0.0	3	ZUE	20.12.2007	19.1	2.0	0.1	3
HUD	3	16.05.2007	30.0	2.0	0.1	3	SWA	04.01.2007	25.9	5.4	0.1	3
HUD	3	15.06.2007	31.1	1.5	0.2	3	SWA	30.01.2007	28.0	6.5	0.1	3
HUD	3	16.07.2007	7.0	3.0	0.0	2	SWA	27.02.2007	28.0	6.1	0.2	3
HUD	3	23.07.2007	22.9	1.5	0.0	2	SWA	27.03.2007	28.0	7.3	0.1	3
HUD	3	15.08.2007	30.0	1.6	0.2	3	SWA	24.04.2007	28.0	7.0	0.2	3
HUD	3	14.09.2007	32.0	1.3	0.1	2	SWA	22.05.2007	28.0	5.9	0.2	3
HUD	3	16.10.2007	30.0	1.5	0.2	3	SWA	19.06.2007	28.3	5.7	0.4	3
HUD	3	15.11.2007	29.0	1.5	0.1	3	SWA	17.07.2007	29.8	5.5	0.1	3
HUD	3	14.12.2007	34.0	1.3	0.1	3	SWA	16.08.2007	26.3	6.4	0.2	3
SCH	03.01.2007	27.0	1.3	0.0	3	SWA	11.09.2007	28.7	6.2	0.1	3	
SCH	30.01.2007	28.0	1.9	0.1	3	SWA	10.10.2007	27.0	6.0	0.1	3	
SCH	27.02.2007	27.0	2.0	0.1	3	SWA	06.11.2007	27.8	6.3	0.3	3	
SCH	26.03.2007	28.1	3.1	0.1	3	SWA	04.12.2007	35.2	4.6	0.0	3	

8.2 NO₂-Messwerte 2007

Die Messwerte der früheren Jahre sind in OSTLUFT (2004, 2005, 2006 & 2007) aufgelistet.

Werte in $\mu\text{g NH}_3 \text{ m}^{-3}$.

Code	Anfangs- datum	Expositions- dauer Tage	Mittelwert $\mu\text{g m}^{-3}$	Standard- abweichung $\mu\text{g m}^{-3}$	Anzahl PS
APS	06.01.2007	26.1	8.5	0.1	3
APS	01.02.2007	28.0	8.3	0.1	3
APS	01.03.2007	27.9	7.3	0.3	3
APS	29.03.2007	28.0	5.6	0.0	3
APS	26.04.2007	27.9	4.8	0.0	3
APS	24.05.2007	27.9	4.1	0.0	3
APS	21.06.2007	28.3	4.0	0.1	3
APS	19.07.2007	27.9	4.1	0.0	3
APS	16.08.2007	27.1	5.3	0.1	3
APS	12.09.2007	29.1	6.2	0.1	3
APS	11.10.2007	27.9	9.3	0.1	3
APS	08.11.2007	28.1	10.9	0.1	3
APS	06.12.2007	28.0	10.1	0.2	3
HÄG	05.01.2007	26.8	10.3	0.2	3
HÄG	01.02.2007	28.0	12.9	0.1	3
HÄG	01.03.2007	29.1	9.1	0.4	3
HÄG	30.03.2007	27.0	8.4	0.1	3
HÄG	26.04.2007	28.1	5.5	0.1	3
HÄG	24.05.2007	27.8	5.4	0.1	3
HÄG	21.06.2007	29.0	4.8	0.1	3
HÄG	20.07.2007	27.0	5.4	0.4	3
HÄG	16.08.2007	27.1	6.8	0.1	3
HÄG	12.09.2007	28.9	8.8	0.1	3
HÄG	11.10.2007	28.0	12.5	0.1	3
HÄG	08.11.2007	27.2	15.7	0.2	3
HÄG	05.12.2007	29.0	18.4	0.2	3
SCH	03.01.2007	27.0	6.4	0.1	3
SCH	30.01.2007	28.0	9.2	0.1	3
SCH	27.02.2007	27.0	6.1	0.1	3
SCH	26.03.2007	28.1	5.2	0.1	3
SCH	23.04.2007	28.0	3.6	0.0	3
SCH	21.05.2007	28.0	2.9	0.1	3
SCH	18.06.2007	28.0	2.7	0.0	3
SCH	16.07.2007	28.0	3.3	0.1	3
SCH	13.08.2007	28.0	4.1	0.1	3
SCH	10.09.2007	28.0	5.0	0.1	3
SCH	08.10.2007	28.0	9.6	0.1	3
SCH	05.11.2007	29.0	12.0	0.0	3
SCH	04.12.2007	24.0	15.9	0.2	3
BA	20.12.2006	27.0	6.2	0.1	3
BA	16.01.2007	28.0	7.2	0.1	3
BA	13.02.2007	28.0	5.8	0.1	3
BA	13.03.2007	27.0	5.7	0.0	3
BA	09.04.2007	29.1	4.3	0.1	3
BA	08.05.2007	28.0	3.2	0.2	3
BA	05.06.2007	27.8	2.6	0.2	3
BA	03.07.2007	28.0	3.1	0.1	3
BA	31.07.2007	28.2	3.5	0.1	3
BA	28.08.2007	28.7	4.5	0.0	3
BA	26.09.2007	27.3	6.1	0.0	3
BA	23.10.2007	27.8	8.5	0.1	3
BA	20.11.2007	28.0	8.3	0.4	3
BA	18.12.2007	14.3	5.3	0.1	3