

# Stickstoff- & Elementdeposition OSTLUFT 2000 bis 2008



Februar 2010



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

## Impressum

Kurztitel:	Stickstoff- & Elementdeposition OSTLUFT 2000 bis 2008
Berichterstattung und Analysen:	 <p>Lotti Thöni, Eva Seitler FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung Alte Jonastrasse 83 CH – 8640 Rapperswil E-Mail: <a href="mailto:fub@fub-ag.ch">fub@fub-ag.ch</a>, <a href="http://www.fub-ag.ch">www.fub-ag.ch</a></p>
Projektleitung	OSTLUFT Arbeitsgruppe Stickstoff-Depositionen Fritz Zürcher, AfU AR (Vorsitz); Markus Meier, AWEL ZH; Jürg Hertz, AfU TG Markus Scheller, UGZ Stadt Zürich
Titelbild	Station Bachtel (Foto FUB)
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 <a href="http://www.ostluft.ch">www.ostluft.ch</a> OSTLUFT, Geschäftsleitung, Stampfenbachstr. 12, Postfach, 8090 Zürich Tel. 043 259 30 18, Fax. 043 259 51 78, E-Mail: <a href="mailto:bestellungen@ostluft.ch">bestellungen@ostluft.ch</a>

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Methodisches</b>	<b>7</b>
3.1	Überblick über Probesammlung und Analytik	7
3.2	Messstandorte im Überblick	8
<b>4</b>	<b>Resultate</b>	<b>10</b>
4.1	Ammoniak	10
4.1.1	Vergleich mit den Critical Levels	10
4.1.2	Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte	11
4.1.3	Standortvergleich 2000, 2003, 2008, Variabilität	12
4.1.4	Jahreszeitliche Muster	13
4.1.5	Vergleich zwischen Vegetationsperiode und Winterruhe	14
4.1.6	Wirkung von emissionsärmerer Gülleausbringtechnik	15
4.2	Stickstoffdioxid	17
4.2.1	Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte	17
4.2.2	Standortvergleich 2000, 2003, 2008, Variabilität	17
4.2.3	Jahreszeitliche Muster	18
4.3	Reduzierter und oxidiertes Stickstoff im Niederschlag (Bulk)	19
4.3.1	Langjähriger Verlauf der Jahreswerte	19
4.3.2	Standortvergleich, Variabilität	20
4.3.3	Jahreszeitliche Muster	20
4.4	Aerosolmessungen (Ammonium, Nitrat) und gasförmige Salpetersäure	22
4.4.1	Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte (Station Bachtel)	22
4.4.2	Standortvergleich Bachtel – Tänikon 2008	22
4.4.3	Jahreszeitliche Muster	23
4.5	Gesamtstickstoffeinträge	24
4.5.1	Vergleich mit den Critical loads	24
4.5.2	Herkunft der Stickstoffverbindungen	26
4.5.3	Eintrag aus nahen und fernen Quellen	27
4.5.4	Langjährige Entwicklung	27
4.5.5	Jahreszeitliche Muster	28
4.6	Anionen und Kationen im Niederschlag	30
4.6.1	Chlorid, Nitrat und Sulfat, Verlauf über die Jahre	30
4.6.2	Chlorid im Vergleich mit Natrium	31
4.6.3	Ammonium vs Nitrat und Sulfat	32
4.6.4	Kationen	33
4.7	Schwermetalle (Bergerhoff)	34
4.7.1	Frachten 2008	34
4.7.2	Schwermetallfrachten im Verlauf der Zeit	37
<b>5</b>	<b>Fachteil</b>	<b>39</b>
5.1	Empfehlung für Messstandorte	39

5.1.1	Ammoniak	39
5.1.2	Bulk und Bergerhoff	39
5.2	Messumfang.....	40
5.3	Sammelmethoden.....	41
5.3.1	Nass- und Trockendeposition "wet & dry", Ionen	41
5.3.2	Bulk – Niederschlags-Depositionssammlung, Ionen	42
5.3.3	Midefix (Denuder und Aerosolfilter)	43
5.3.4	Passivsammler für Ammoniakmessung	45
5.3.5	Passivsammler für NO <sub>2</sub> -Messung	50
5.3.6	Staubsammler nach Bergerhoff, Metalle	51
5.4	Probepvorbereitung und Spurenanalytik.....	52
5.5	Qualitätssicherung.....	53
5.5.1	Mehrfachproben	53
5.5.2	Transport-Blindwerte	54
5.5.3	Nachweis- und Bestimmungsgrenzen	54
5.5.4	Vergleich mit zertifiziertem Referenzmaterial	55
5.5.5	Vergleich mit anderen Messverfahren	56
5.5.6	Vergleich mit anderen Labors	57
5.5.7	Ionen- und Leitfähigkeitsbilanz	58
5.5.8	Kontrolldenuder	59
5.5.9	Bulk Trichter Analyse	59
5.6	Berechnung der Gesamtstickstoffeinträge.....	60
5.6.1	Von Konzentration zu Fracht – "inferential technique"	61
5.6.2	Schätzung der N-Fracht über passive Erfassung der Komponenten	61
5.6.3	Abschätzung der Qualität der Gesamt-Stickstoff-Resultate	62
<b>6</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>67</b>
7.1	Abkürzungen.....	67
7.2	Ammoniak-Messwerte 2008.....	68
7.3	NO <sub>2</sub> -Messwerte 2008.....	70
7.4	Messwerte der Bulk-Sammlung 2008.....	71
7.5	Midefix- Messwerte 2008.....	73
7.6	Messwerte der Bergerhoff-Sammlung 2008.....	74
7.7	Stationsbeschreibung und Einzelresultate.....	75
7.7.1	Abkürzungen und Definitionen	75
7.7.2	Standorteinteilung in Belastungstypen, Bewirtschaftungstypen und Immissionstypen für Ammoniak	75

# 1 Zusammenfassung

In diesem Bericht wird die Entwicklung der Schadstoffeinträge auf dem Gebiet von OSTLUFT aufgezeigt. 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. Die Messungen wurden von der FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung durchgeführt.

An etlichen unterschiedlich belasteten Standorten, von intensiver Nutztierhaltung bis hin zu abgeschirmten Naturschutzgebieten sowie städtischen Gebieten, wurde in den letzten Jahren Ammoniak und Stickstoffdioxid durchgehend gemessen. Andere Stickstoffverbindungen sowie weitere Kationen, Anionen und Schwermetalle wurden an ausgewählten Standorten schwerpunktmässig 2003 und 2008 bestimmt. Bei der Station Bachtel liegen z.T. Messwerte seit 1988 vor.

Die gemessenen **Ammoniak**konzentrationen wurden durch landwirtschaftliche Quellen stark beeinflusst. Die höchsten Konzentrationen wurden in Gebieten mit intensiver Nutztierhaltung gemessen. Die Ammoniakkonzentrationen erreichten dort Jahresmittelwerte von 8 - 10  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Auch an den städtischen Stationen, welche direkt neben einer Autobahn oder einer viel befahrenen Strasse liegen, wurde ein relativ hoher Ammoniak-Jahresmittelwert von 6  $\mu\text{g m}^{-3}$  ermittelt. Hier spielen neben der Ausdünstung der Kanalisation auch die Emissionen des Katalysators eine Rolle. In den Landwirtschaftsgebieten sind die Konzentrationen im Winter meist niedriger als in der Vegetationszeit, in den Städten sind die Unterschiede gering.

Die Critical Levels für höhere Pflanzen sind an allen Standorten mit intensiver und sehr intensiver Landwirtschaft sowie an städtischen Standorten überschritten.

Die landwirtschaftlichen Aktivitäten spiegeln sich auch darin, dass in Gebieten mit intensiver Viehwirtschaft die Schwankungen der Ammoniak-Monatswerte deutlich höher waren als in extensiv bewirtschafteten und städtischen Standorten. Die Ammoniak-Konzentrationen haben im Frühjahr durch die Gülleausbringung sprunghaft zugenommen. Auch im Sommer waren solche Belastungsspitzen zu sehen und im November war oft eine weitere Erhöhung zu finden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Güllelager vor dem Einwintern nochmals geleert werden.

Bei den meisten Stationen war keine grosse Änderung im Verlauf der Jahre festzustellen. Die Änderungen in den Konzentrationen war z.T. auch Wetter abhängig. Der extrem heisse, lange und trockene Sommer 2003 zum Beispiel führte zu schweizweit erhöhten Ammoniakwerten.

Der konsequente Einsatz einer emissionsarmen Ausbringtechnik von Gülle (Schleppschlauchverteiler) am Standort Bachtel führte zu einer deutlichen Absenkung der mittleren jährlichen  $\text{NH}_3$ -Konzentration und einem Rückgang saisonaler Spitzenwerte.

Die **Stickstoffdioxid**-Konzentrationen an den ländlichen Standorten waren mit Werten zwischen 5 und 15  $\mu\text{g m}^{-3}$  alle deutlich unter dem LRV-Grenzwert von 30  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Hingegen wurde in Zürich-Wiedikon an der stark verkehrsbelasteten Durchgangsstrasse über 50  $\mu\text{g m}^{-3}$  gemessen. Die Konzentrationen haben sich seit 2000 kaum geändert. Im ländlichen Raum wurden im Winter deutlich höhere Konzentrationen gemessen, in der Stadt war der Unterschied gering.

Bei den **Stickstoff-Konzentrationen im Niederschlag** sind die Unterschiede an den verschiedenen Standorten viel geringer als bei den gasförmigen. Hingegen ist die **Stickstoff-Fracht** vor allem abhängig von der Regenmenge. Es sind keine gesicherten Abnahmen im Verlauf der Zeit zu finden, auch wenn im 2008 die niedrigsten Frachten

gefunden wurden. Jahreszeitlich sind die Haupteinträge in der Vegetationszeit zu finden.

Bei den **Ammonium-** und **Nitrat-Konzentrationen** in Aerosolen wurden im Winter und Frühling höhere Konzentrationen gemessen. Die Konzentrationen an gasförmiger **Salpetersäure** waren im Sommer leicht höher.

Die „Critical Loads“ von sensiblen Ökosystemen im OSTLUFT-Gebiet sind durch die **Gesamtstickstoffeinträge** vor allem in der Nähe von landwirtschaftlich bewirtschafteten Gebieten stark überschritten.

Die Gesamtstickstoffeinträge sind durch die reduzierten Stickstoffverbindungen – also von der Landwirtschaft – dominiert, bei strassen- und siedlungsfernen Standorten bis zu 90%.

Im Jahr 2003 war der Anteil an Stickstoff, besonders der reduzierte Stickstoff, höher als im Jahr 2008. Dies vermutlich wiederum als Folge des extrem heissen, langen und trockenen Sommers 2003.

Im Jahr 2008 waren die Gesamtstickstoffeinträge und die Anteile aus Ferntransport von einem ländlichen, sehr intensiv bewirtschafteten Standort und einem städtischen, verkehrsbelasteten Standort ähnlich hoch, die oxidierten und reduzierten Anteile aus nahen Quellen jedoch sehr unterschiedlich.

Im langjährigen Vergleichen zeigte sich bei quellenfernen Stickstoffkomponenten (Ammonium, Nitrat) eine Abnahmetendenz.

Im Winter sind die Einträge um ein Vielfaches geringer als in der Vegetationszeit.

**Chlorid** im Niederschlag hat auf dem Bachtel von 1988 bis 1993 (Einsetzung von weitergehender Rauchgasreinigung in der Kehrichtsverbrennungsanlage Zürich Oberland) auf ein Drittel abgenommen und blieb dann stabil. Schwefel aus **Sulfat** nahm mehr oder weniger kontinuierlich ab, 2008 auf noch einen Drittel von 1988, dies als Folge der Einführung von schwefelarmen Treib- und Brennstoffen und die Sanierung von Industrien in ganz Europa. Bei den **Kationen** Natrium, Kalium, Calcium und Magnesium war keine Änderung zu beobachten. Sehr hohe Natriumchloridwerte im Niederschlag wurden im Winter bei der strassennahen Station gemessen, aber auch an den verkehrsfernen Standorten hatte es im Winter mehr Natrium und Chlorid als im Sommer.

**Cadmium, Blei** und **Zink** wiesen in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts eine starke Abnahme auf, die sich in den letzten Jahren langsamer fortsetzte. Die Frachten sind nun weit unter den Grenzwerten, ausser bei Zink in Zürich-Wiedikon, wo 2008 immer noch der Grenzwert erreicht wurde. Der Eintrag erfolgt dort teilweise aus lokalen Quellen, möglicherweise aus Reifenabrieb, sowie verzinkten Stangen und Dachrinnen.

Es können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Bei den Stickstoffkomponenten sind seit 2000 kaum Veränderungen in den Konzentrationen und Frachten zu finden.
- Die „Critical Loads“ für Gesamtstickstoff sind in grossen Teilen des OSTLUFT-Gebietes für empfindliche Ökosysteme überschritten.
- Auch die „Critical Levels“ für Langzeitexpositionen mit Ammoniak sind in grossen Teilen des OSTLUFT-Gebietes überschritten.
- Einträge von Chlorid und Sulfat haben seit 1988 um zwei Drittel abgenommen.
- Cadmium, Blei und Zink sind heute meist weit unter den LRV-Grenzwerten.

- Die Erfassung von gasförmigen Stickstoffverbindungen und der Inhaltsstoffe im Niederschlag bietet eine gute Basis für die Beurteilung von standorttypischen Jahresbelastungen, saisonalen Variationen und längerfristigen Belastungstrends sowie für die Erfolgskontrolle von Massnahmen zur Emissionsminderung.

### Ausblick

Die Ammoniak- und Stickstoffdioxid-Messungen werden in den kommenden Jahren weitergeführt. Die Inhaltsstoffe im Regen und in Aerosolen werden voraussichtlich wieder in ca. 5 Jahren berücksichtigt.

## 2 Einleitung

Schadstoffimmissionen müssen laut Luftreinhalteverordnung (LRV 1985) überwacht werden. OSTLUFT sichert die gemeinsame Überwachung der Luftqualität für acht Ostschweizer Kantone und das Fürstentum Liechtenstein.

Der Schwerpunkt in der vorliegenden Untersuchung liegt beim **Stickstoff**. Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) aus Verbrennungsprozessen und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) 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). Neben dem negativen Einfluss auf Ökosysteme ist der Verlust von Stickstoff in der Landwirtschaft ein wichtiges Thema.

Für die Komponente  $\text{NO}_2$  gibt es in der LRV einen Grenzwert (Immissionsgrenzwerte in Anhang 7 LRV). Minderung der Emissionen wurden vor allem beim Verkehr mit dem Einführung des Katalysators erreicht. Im Gegensatz zu  $\text{NO}_2$  gibt es für Ammoniak in der Luft sowie Nitrat und Ammonium in Aerosolen und Niederschlägen keine Immissionsgrenzwerte. Aber die Immissionen von Stickstoff 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). Zurzeit werden verschiedene Massnahmen zur Minderung der Ammoniakverluste in der Landwirtschaft geprüft und durchgesetzt: Änderung der Stallsysteme und Tierhaltungsformen, optimierte Güllelagerung, Gülleaufbereitung und Gülleausbringung, Stickstoff-optimierte Fütterung und bedarfsgerechte Düngung (z.B. Cercl' Air 2002, Agridea & Landwirtschaftsamt Thurgau 2006, Kanton Luzern uwe 2007, Kanton Appenzell Ausserrhoden 2008).

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

- Stickstoffbelastungen in Gebieten mit unterschiedlichen Quelleneinflüssen erfassen
- Zeitliche Veränderungen der Stickstoffeinträge erfassen

- Basis schaffen für effektive Handlungsansätze zur Minderung der Ammoniakverluste in der Landwirtschaft (BUWAL 2002, Cercl'air 2002)
- Beitrag zur Erfolgskontrolle.

Aus diesem Grund wurden in den Jahren 2000 bis 2003 und 2008 der Verlauf der Konzentrationen und Frachten von Stickstoffverbindungen an ausgewählten Standorten in der Ostschweiz erfasst und der Beitrag der verschiedenen Stickstoffkomponenten zum gesamten Stickstoffeintrag ermittelt. Zusätzlich wurde Ammoniak an weiteren unterschiedlich belasteten Standorten in allen Jahren gemessen.

Weil die Stickstoffverbindungen über unterschiedlichen Pfade aus der Luft abgelagert werden, mussten verschiedene Probenahmeverfahren benutzt werden. Mit den eingesetzten Techniken (wet&dry, bulk, Denuder/Aerosolfilter, Passivsammler) war es möglich, die wichtigsten Stickstoffkomponenten in der nassen (Regen und Schnee) und trockenen Phase (Feinstaub und Aerosole) sowie in der Gasphase an einigen Standorten zu ermitteln.

Neben den Stickstoffkomponenten wurden an einigen Orten in den Niederschlägen auch andere **Kationen** (Natrium, Magnesium, Kalium, Calcium) und **Anionen** (Chlorid, Sulfat) bestimmt. Dies einerseits um eine Erfolgskontrolle bei Chlorid (Einbau von weitergehenden Rauchgasreinigungen in KVA's zur Verhinderung des Ausstosses von HCl und Schwermetallen) und Sulfat (Einführung von schwefelarmen Treibstoff, Sanierung von Industrien in der Schweiz und Europa) durchzuführen, andererseits um die Qualität der Analysen zu überprüfen.

Eine weitere in dieser Untersuchung berücksichtigte Stoffgruppe sind die **Schwermetalle** (Cadmium, Blei und Zink, z.T. auch Kupfer). Diese stammen hauptsächlich aus Industrie, Gewerbe und Verkehr. In den achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden technische Massnahmen wie Katalysator, Filtereinbau und Rauchgasreinigungen, vorgeschrieben. Nun soll eine Erfolgskontrolle durchgeführt werden.

In diesem Bericht wird die Entwicklung der Schadstoffeinträge aus dem Gebiet der OSTLUFT aufgezeigt. An etlichen Standorten wurde in den letzten Jahren gemessen, jedoch nicht durchgehend. Bei der Station Bachtel liegen Messwerte seit 1988 vor.

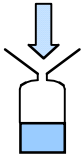
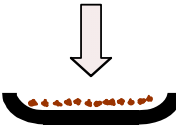

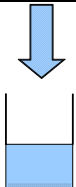
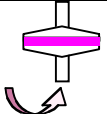
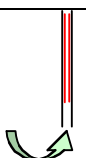
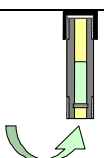
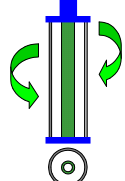
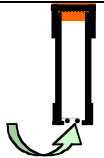
Karten, Bilder und Beschreibungen der Standorte, sowie die Resultate werden in den Stationsbeschreibungen (Kapitel 7.7) dargestellt.

Die Daten der Ammoniakmessungen aus dem OSTLUFT-Gebiet werden auch in die gesamtschweizerische Überwachung durch das BAFU einbezogen (Thöni & Seitler 2009). Gleichzeitig können die vom BAFU beauftragten Standorte für den vorliegenden Bericht beigezogen werden.



### 3 Methodisches

#### 3.1 Überblick über Probesammlung und Analytik

Art der Deposition	Komponenten	Sammelverfahren	Analytik
<b>Nassdeposition "wet"</b> z.B. Regen, Schnee	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ weitere <b>Anionen und Kationen</b>	 "wet & dry"- Sammler	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
<b>Trockendeposition "dry"</b> Staubniederschlag	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$	 "wet & dry"- Sammler	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
<b>Gravitations-Deposition</b> Regen + Staubniederschlag	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$ weitere <b>Anionen und Kationen</b>	 Bulk- Sammler	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
<b>Gravitations-Deposition</b> Regen + Staubniederschlag	<b>Staubnieder- schlag</b> Cd Pb Zn (Cu)	 Bergerhoff- Sammler	Gravimetrie ICP-MS
<b>Trockene Interzeption</b> Aerosole	$\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_3^-$	 Aerosolfilter	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
<b>Gasförmige Interzeption</b>  Gase	$\text{NH}_3$ , $\text{HNO}_3$	 Denuder	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
	$\text{NH}_3$	 Zürcher Passiv- sammler bis 2003	Ionenchromatografie
	$\text{NH}_3$	 Radiello® Passiv- sammler ab 2004	Ionenchromatografie Fliessinjektions- analyse
	$\text{NO}_2$	 Passiv- sammler	Photometrie

### 3.2 Messstandorte im Überblick

Tabelle 1 Charakterisierung der Standorte zur Erfassung der Stickstoff-Komponenten

Ländlich Sehr intensiv bewirtschaftet	<b>Ap.-Steinegg</b> 820 m ü M	<b>APS</b>	NH <sub>3</sub>	2003 – 2008	
			NO <sub>2</sub>	2003, 2005 – 2008	
			Bulk: Ionen	2003, 2008	
			Bergerhoff: Cd, Pb, Zn	2008	
		<b>Häggenschwil</b> 555 m ü M	<b>HÄG</b>	NH <sub>3</sub>	2003 – 2008
				NO <sub>2</sub>	2003 – 2008
				Bulk: Ionen	2003, 2008
				Bergerhoff: Cd, Pb, Zn	2008
Ländlich	<b>Balzers (Aviolis)</b> 470 m ü M	<b>BAV</b>	NH <sub>3</sub>	2008	
Intensiv bewirtschaftet	<b>Eschlikon</b> 575 m ü M	<b>ESCH 00</b>	NH <sub>3</sub>	2002 – Mitte 2008	
			<b>ESCH 01</b>	ab Mitte 2008	
	<b>Mauren (Kant. Messstation)</b> 439 m ü M	<b>MAU</b>	NH <sub>3</sub>	2000 – 2008	
	<b>Tänikon (NABEL-Messstation)</b> 540 m ü M	<b>TAE</b>	NH <sub>3</sub>	2000 – 2008	
			NO <sub>2</sub>	NABEL	
Bulk: Ionen			2000, 2008		
		N <sub>dep</sub> , detailliert: Ionen	2002, 2003		
		Bergerhoff: Cd, Pb, Zn	2008		
		<b>Eschen (Schwarzes Strässle)</b> 450 m ü M	<b>EST</b>	NH <sub>3</sub>	2008
Ländlich Extensiv bewirtschaftet	<b>Bachtel Hinterer Sennenberg</b> 930 m ü M	<b>BA</b>	NH <sub>3</sub>	2000 – 2008	
			NO <sub>2</sub>	2004 – 2008	
			Bulk	2001 – 2008	
			N <sub>dep</sub> , detailliert: Ionen	2001 – 2003	
			Bergerhoff: Cd, Pb, Zn	2008	
	<b>Hudelmoos</b> 520 m ü M	<b>HUD 3</b>	NH <sub>3</sub>	2001 – 2008	
<b>Schänis (WSL-Messstation)</b> 630 m ü M	<b>SCH</b>	NH <sub>3</sub>	2000, 2002 – 2008		
		NO <sub>2</sub>	2000, 2002 – 2008		
		Bulk: Ionen	WSL		
Ländlich, verkehrsbelastet	<b>Schaan (Lindenkreuzung)</b> 440 m ü M	<b>SLI</b>	NH <sub>3</sub>	2008	
Städtisch	<b>Zürich (Kaserne, NABEL-Messstation)</b> 410 m ü M	<b>ZUE</b>	NH <sub>3</sub>	2007 – 2008	
	<b>Stampfenbach (Zürich, OSTLUFT-Station)</b> 445 m ü M	<b>STA</b>	Bergerhoff: Cd, Pb, Zn	2004, 2008	
Städtisch, verkehrsbelastet	<b>Schwamendingen (Zürich, OSTLUFT-Station)</b> 430 m ü M	<b>SWA</b>	NH <sub>3</sub>	2007	
	<b>Wiedikon (Zürich, OSTLUFT-Station)</b> 430 m ü M	<b>WIE</b>	NH <sub>3</sub>	2008	
			NO <sub>2</sub>	2008	
		Bulk: Ionen		2008	

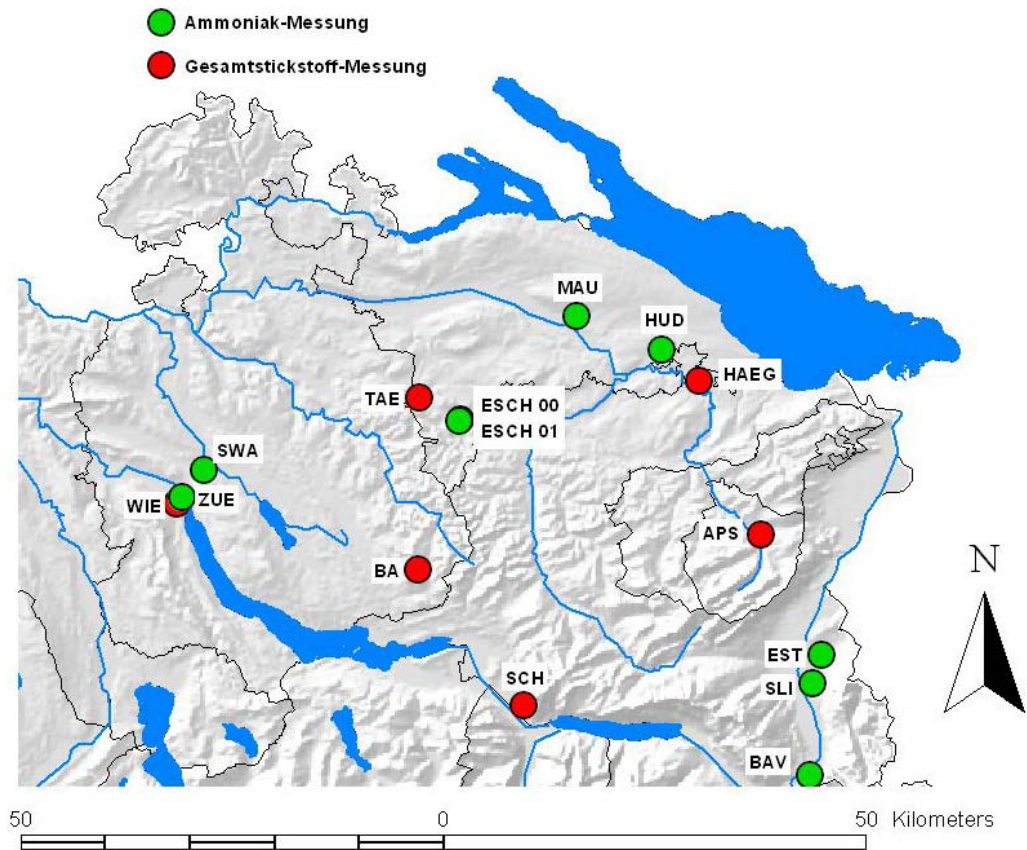


Abbildung 1 Die Standorte, an denen Gesamtstickstoffeinträge (rot) oder nur Ammoniak (grün) gemessen wurden. Es fehlt der Standort Stampfenbach STA, zwischen SWA und ZUE gelegen

In Kapitel 7.7 sind die Messstandorte ausführlich beschrieben.

## 4 Resultate

### 4.1 Ammoniak

#### 4.1.1 Vergleich mit den Critical Levels

Für Ammoniak gibt es keinen Immissionsgrenzwert im Anhang 7 der Luftreinhalteverordnung (LRV). Es ist weniger die direkte Belastung mit Ammoniak, die schädlich ist, als vielmehr die durch Ammoniak und Ammoniumsalze verursachte Stickstofffracht, wobei Ammonium sowohl staubförmig als auch im Niederschlag gelöst auftritt (Kapitel 4.5.1).

Im Rahmen des UNECE (United Nations Economic Commission for Europe) 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 für das Ökosystem von Bedeutung sind.
- $3 \mu\text{g m}^{-3} \text{ NH}_3$  für höhere Pflanzen (Unsicherheitsbereich  $2 - 4 \mu\text{g m}^{-3}$ )

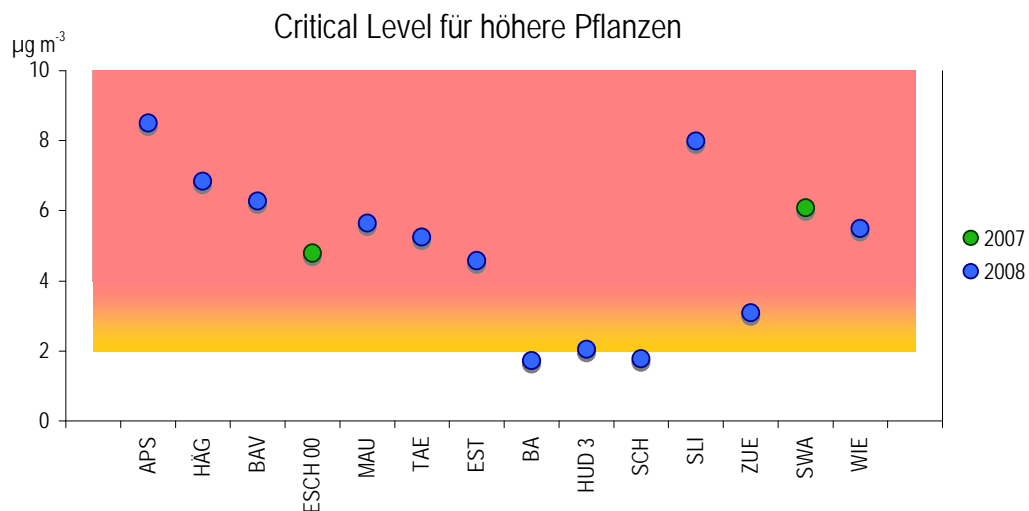


Abbildung 2 Ammoniakkonzentrationen in  $\mu\text{g m}^{-3}$  als Mittelwerte von 2008 (ESCH 00 und SWA von 2007) verglichen mit den Critical Levels für höhere Pflanzen

Die Ammoniakkonzentrationen haben die Critical Levels für höhere Pflanzen an allen Standorten mit intensiver und sehr intensiver Landwirtschaft und an städtischen Standorten überschritten (Abbildung 2)

4.1.2 Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte

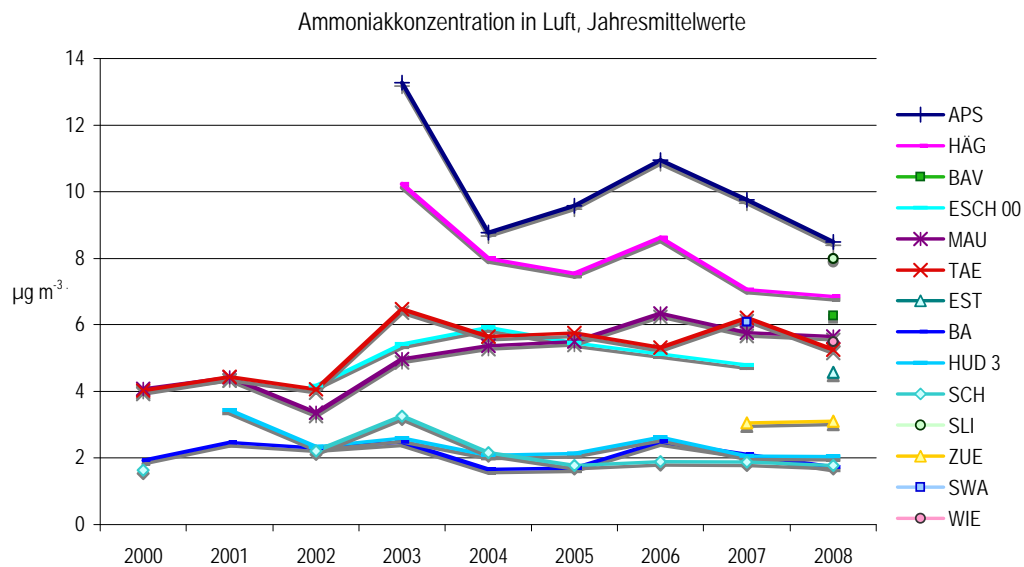


Abbildung 3 Verlauf der Ammoniak-Jahresmittelwerte in µg m<sup>-3</sup>

In Abbildung 3 sind die Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen dargestellt. Wird das Jahr 2003 aus der Betrachtung ausgeschlossen (Jahrhundertssommer) kann bei Appenzell-Steinegg, Eschlikon, Bachtel, Hudelmoos und Schänis keine grosse Änderungen in den Konzentrationen über die Jahre herausgelesen werden. Bei der Station Häggenschwil ist tendenziell ein Abnahme, bei Tänikon und Mauren tendenziell eine Zunahme zu verzeichnen.

## 4.1.3 Standortvergleich 2000, 2003, 2008, Variabilität

In Abbildung 4 sind die Konzentrationen in den Hauptuntersuchungsjahren mit der Schwankung der Monatswerte dargestellt. Im Allgemeinen sind die Schwankungen grösser, je stärker der landwirtschaftliche Einfluss ist, kleiner sind sie bei verkehrsnahen Standorten in Städten. Auffällig sind die hohen Mittelwerte und die starke Streuung der Werte im Jahr 2003.

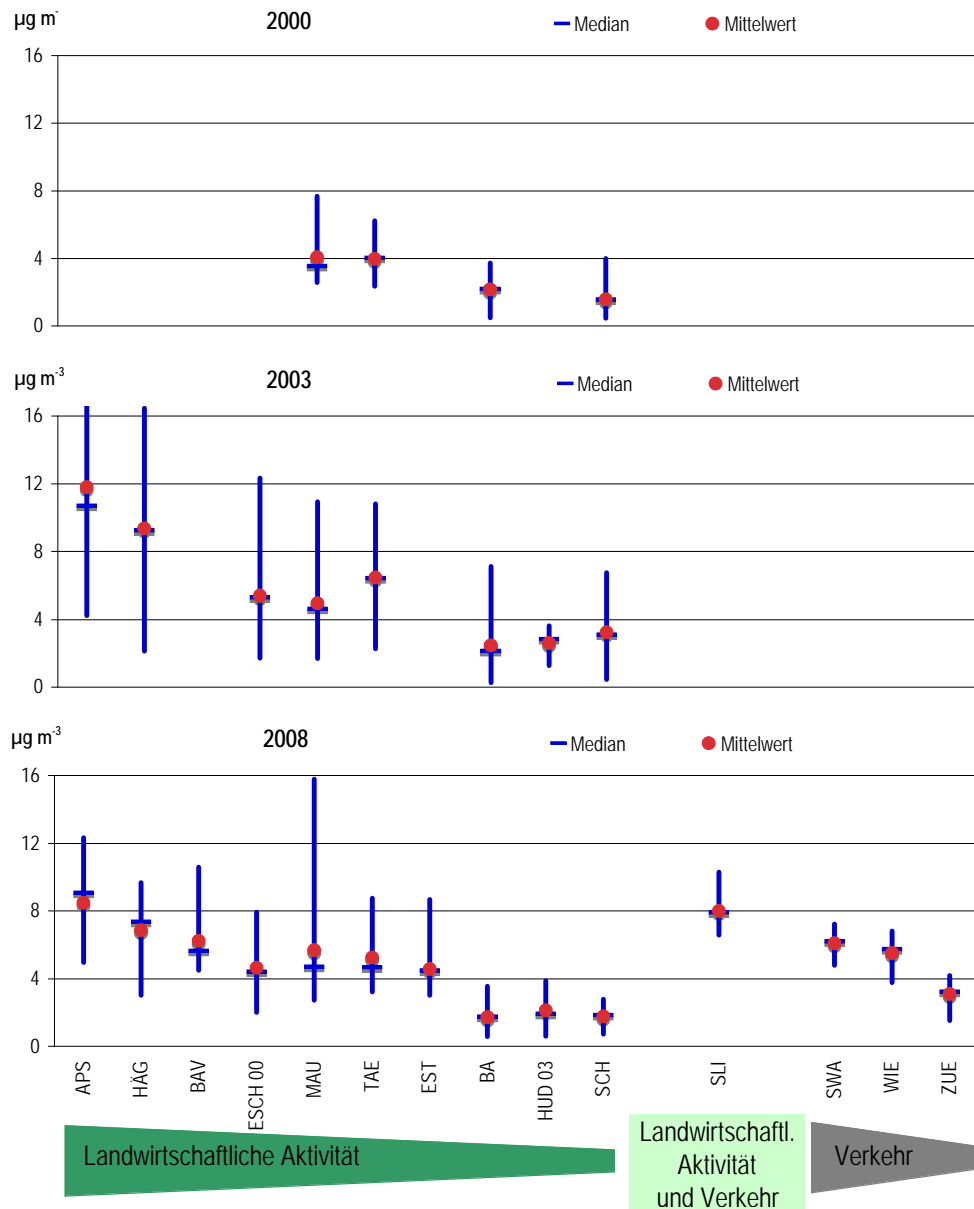


Abbildung 4 Ammoniakkonzentrationen in  $\mu\text{g m}^{-3}$  an den unterschiedlich bewirtschafteten und exponierten Standorten, Jahresmittelwerte und Schwankungsbereich (Mediane, Maximal- und Minimalwerte der Monatsmittelwerte), 2000, 2003, 2008 (ESCH 00 und SWA von 2007)

4.1.4 Jahreszeitliche Muster

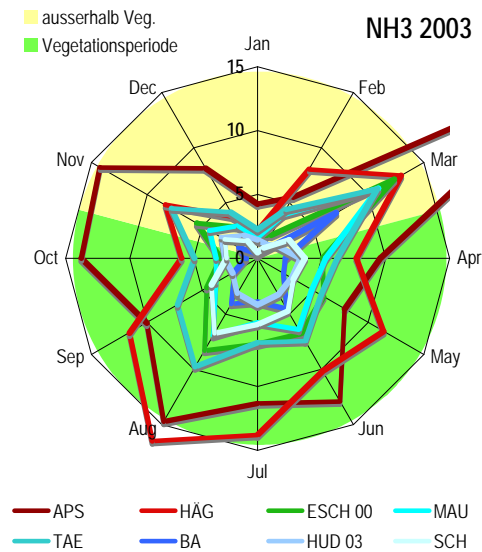


Abbildung 5 Monatsmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2003 in  $\mu\text{g m}^{-3}$  an ländlichen Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Aktivität, von sehr intensiv bis extensiv bewirtschaftet

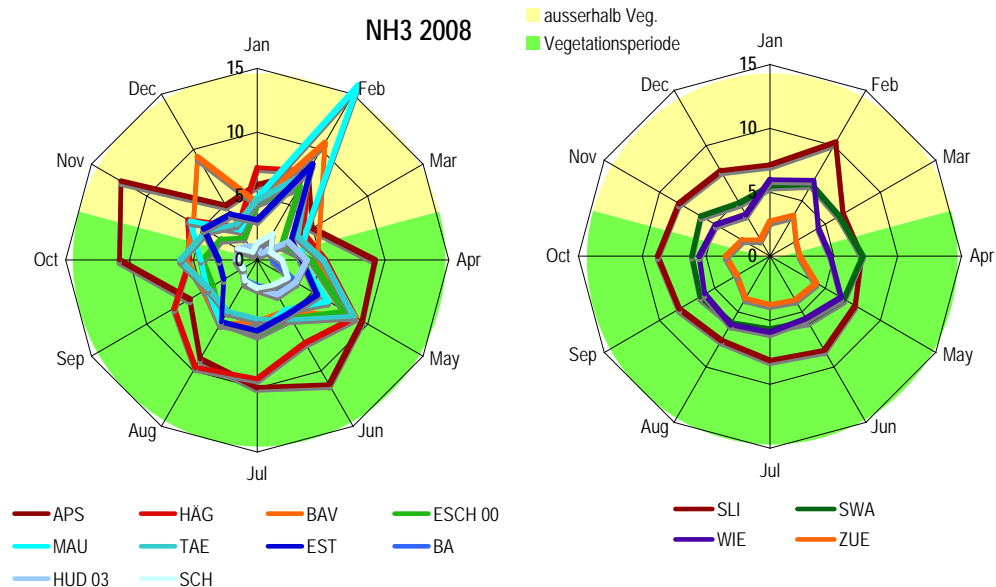


Abbildung 6 Monatsmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen im Jahr 2008 in  $\mu\text{g m}^{-3}$ .  
 Linke Grafik: an ländlichen Standorten mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Aktivität, von sehr intensiv bis extensiv bewirtschaftet. Rechte Grafik: an verkehrsbelasteten bis städtischen Standorten

Der Jahreszeitliche Verlauf der Ammoniakkonzentration ist in Abbildung 5 für 2003 und in Abbildung 6 für das Jahr 2008 dargestellt. Der Jahresverlauf wird in landwirtschaftlichen Gebieten stark durch die Gülleausbringung geprägt. Im Februar gab 2008 es bei fast bei allen Standorten einen Peak. Dieser kann darauf zurückgeführt werden, dass im milden Winter 2008 schon sehr früh überall gegüllt worden ist. In den meisten anderen Jahren wie z.B. auch 2003 (Abbildung 5) tritt dieser Peak im März und an höher gelegenen Standorten im April auf. Ein weiterer Peak ist 2008 im Mai zu sehen, wenn das nächste Mal Gülle ausgetragen wurde. Oft sind auch im November höhere Konzentrationen zu finden, wenn in der Landwirtschaft die Güllelager nochmals geleert

werden. Im Mittel sind jedoch die Werte während der Vegetationszeit höher als diejenigen im Winter. Anders sieht dies bei städtisch geprägten Standorten aus. Da ist der Jahreszeitenunterschied der Ammoniakkonzentrationen nur gering, wie auch die Ammoniakemissionen – Autokatalysatoren und Kanalisation – sich im Sommer und Winter kaum unterscheiden.

#### 4.1.5 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 (Abbildung 7 links). Besonders deutlich zu sehen im Jahr 2003, wo die Temperaturen während der Vegetationsperiode aussergewöhnlich hoch waren. Der Winter 2007/2008 hingegen war sehr mild, und im Mittelland konnte bereits im Februar gegüllet werden. Dies führte dazu, dass sich die Winterwerte kaum von denen der Vegetationsperiode 2008 unterschieden, bei Mauren (MAU) war der Wintermittelwert sogar deutlich erhöht. Hingegen ist bei Ap.-Steinegg (APS) der Winterwert ähnlich wie in anderen Jahren. Diese Station liegt auf 820 m Höhe über Meer, wo erst später als im Mittelland gegüllet werden kann.

Standorte in Gebieten mit intensiver Tierwirtschaft weisen meist auch während der Winterruhe hohe Ammoniakimmissionen auf (Abbildung 7 rechts).

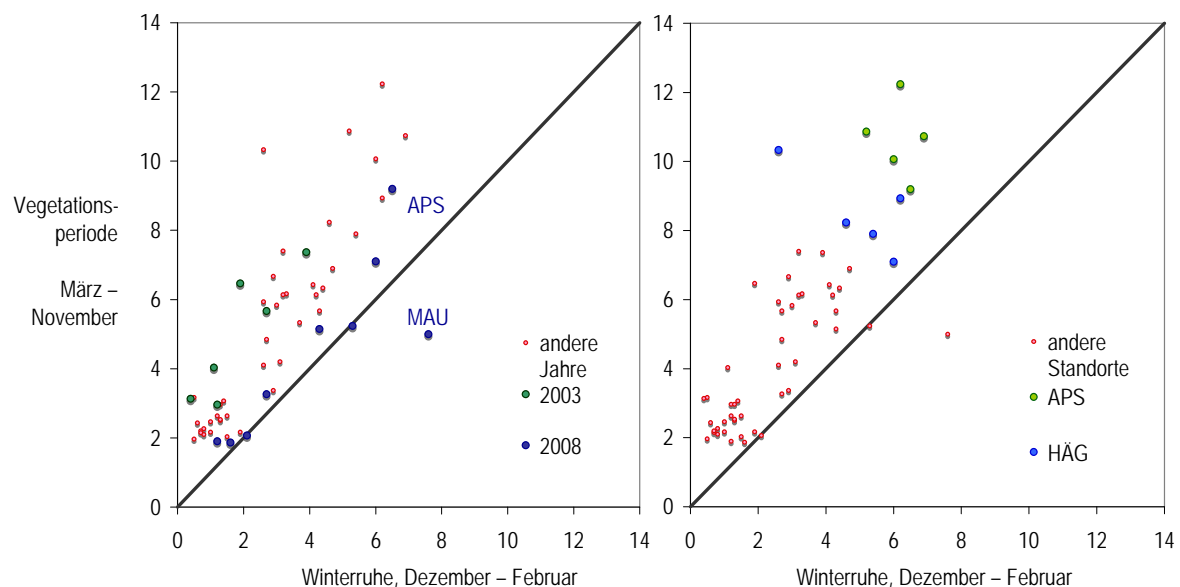


Abbildung 7 Ammoniakkonzentration jeweils der Vegetationsperiode (März bis November) gegenüber derjenigen der Winterruhe (Dezember des Vorjahres bis Februar) in  $\mu\text{g m}^{-3}$ . Datengrundlage sind alle im OSTLUFT-Gebiet gemessenen Standorte in den Jahren 2000 - 2008.

Hervorgehoben sind links alle in den Jahren 2003 und 2008 gemessenen Standorte, rechts die Standorte mit den höchsten Ammoniakimmissionen.



#### 4.1.6 Wirkung von emissionsärmerer Gülleausbringtechnik

Um die Station Bachtel herum wirtschaftet nur eine Bauernfamilie. So sind Viehzahlen und Gülleausbringdaten gut dokumentiert und zugänglich. Menge und Häufigkeit der Gülleausbringung und Anzahl Vieheinheiten blieb in den letzten neun Jahren ungefähr gleich. Das Verfahren zur Gülleausbringung wurde jedoch gewechselt. Vor Mai 2003 wurde der Hofdünger mit dem Breitverteiler ausgebracht, anschliessend meist mit Schleppschlauch. Als dieses Ausbringsystem 2006 defekt war, wurde längere Zeit wieder mit dem Druckfass gegüllt. Breitverteiler wurde auch eingesetzt, wenn nur eine Person zur Verfügung stand. In Abbildung 8 sind die Monatswerte, der Jahresmittelwert und die Art der Gülleausbringung dargestellt.

In Abbildung 9 werden die Ammoniakkonzentrationen (Sommermittelwerte Juni bis August) der Station Bachtel mit dem ähnlich gelegenen und bewirtschafteten Root (Michelskreuz), einem Standort im Kanton Luzern, verglichen. In den Jahren mit Gülleausbringung durch Breitverteiler auf dem Bachtel waren die Sommermittelwerte ähnlich hoch wie in Root. In den Jahren, in denen auf dem Bachtel mit Schleppschlauch gegüllt wurde, waren diese hingegen 30 bis 60% tiefer. Die kleineren Konzentrationen bei Benützung des Schleppschlauchs sind ein Hinweis, dass dieses Gülleausbringverfahren die Emissionen von Ammoniak mindern kann.

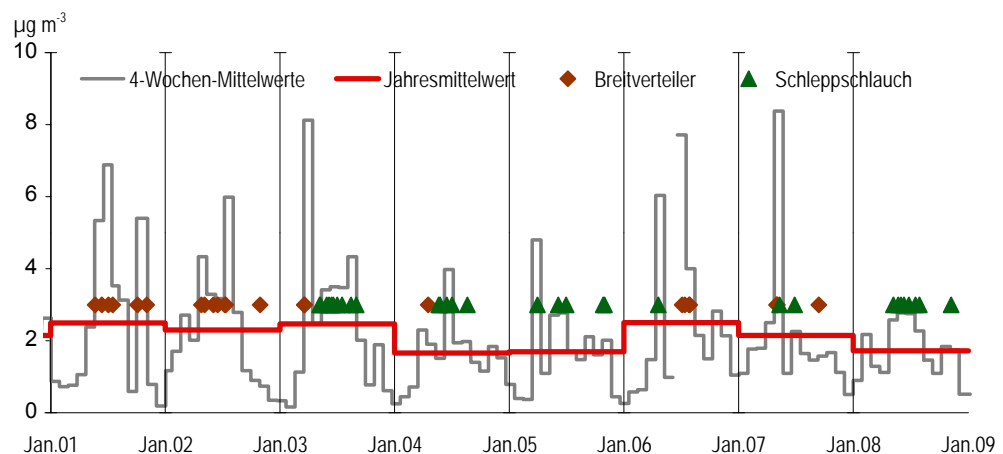


Abbildung 8 Ammoniakkonzentrationen in  $\mu\text{g m}^{-3}$  gemessen bei der Station Bachtel.  
Grüne Dreiecke: Gülleausbringung mit Schleppschlauch  
Braune Rhomben: Gülleausbringung mit Breitverteiler

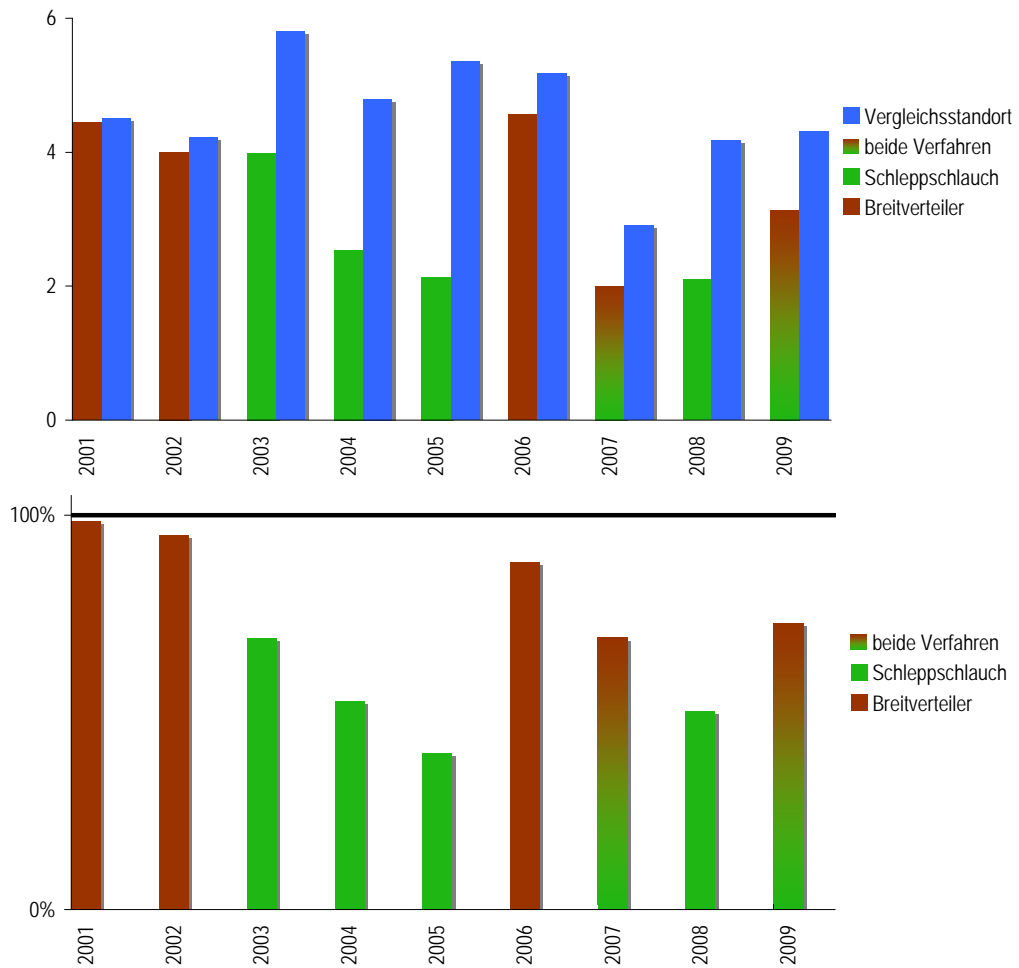


Abbildung 9 Vergleich der Ammoniak-Sommermittelwerte (Juni – August) der Stationen Bachtel und Root (Michelskreuz, Vergleichsstandort Kt. LU). Gülleausbringung auf dem Bachtel: 2001, 2002, 2006 mit Breitverteiler, 2003 bis 2005 und 2008 mit Schleppschlauch, 2007 beide Verfahren  
oben: Werte in  $\mu\text{g m}^{-3}$   
In der unteren Darstellung ist die Vergleichsstation auf 100% gesetzt.

## 4.2 Stickstoffdioxid

### 4.2.1 Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte

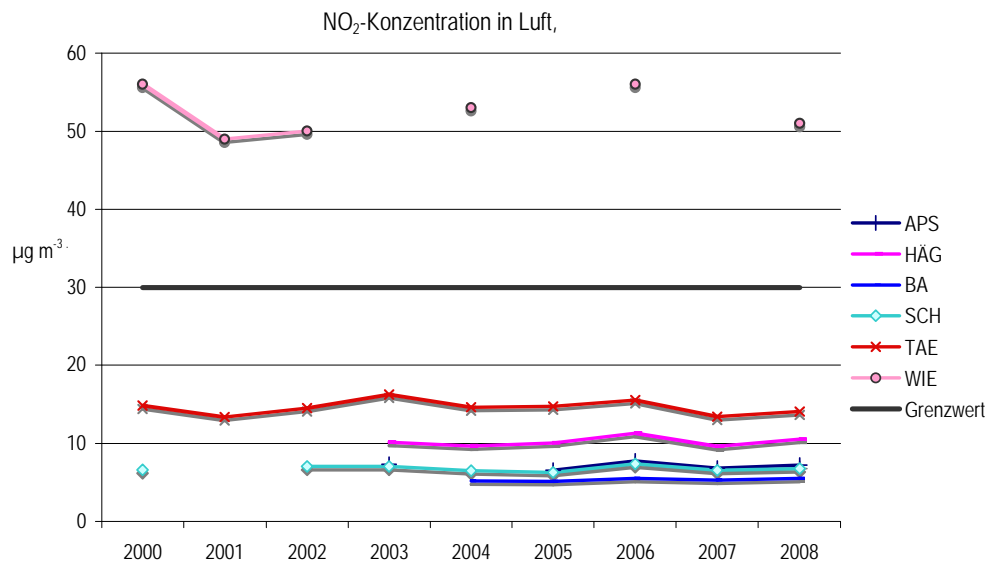


Abbildung 10 Verlauf der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte in µg m<sup>-3</sup>

TAE: Daten aus kontinuierlichen Messungen des NABEL (BAFU/Empa)

WIE: 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](http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/blick_zurueck/01694/index.html?lang=de), 18.8.2008

In Abbildung 10 sind die Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen dargestellt. Die gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an den vier ländlichen Standorten waren alle deutlich unter dem LRV-Grenzwert von 30 µg m<sup>-3</sup>. An der Station Wiedikon (WIE) in der Stadt Zürich an einer Durchgangsstrasse ist der Grenzwert deutlich überschritten (Werte Wiedikon aus kontinuierlichen Messungen gemittelt). Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigen keinen Zusammenhang mit der Intensität der Landwirtschaftung.

### 4.2.2 Standortvergleich 2000, 2003, 2008, Variabilität

Abbildung 11 zeigt, dass die Schwankungen der Monatsmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen viel geringer sind als die der Ammoniakkonzentrationen. Die grössten Schwankungen wurden in allen drei Jahren bei Tänikon gefunden.

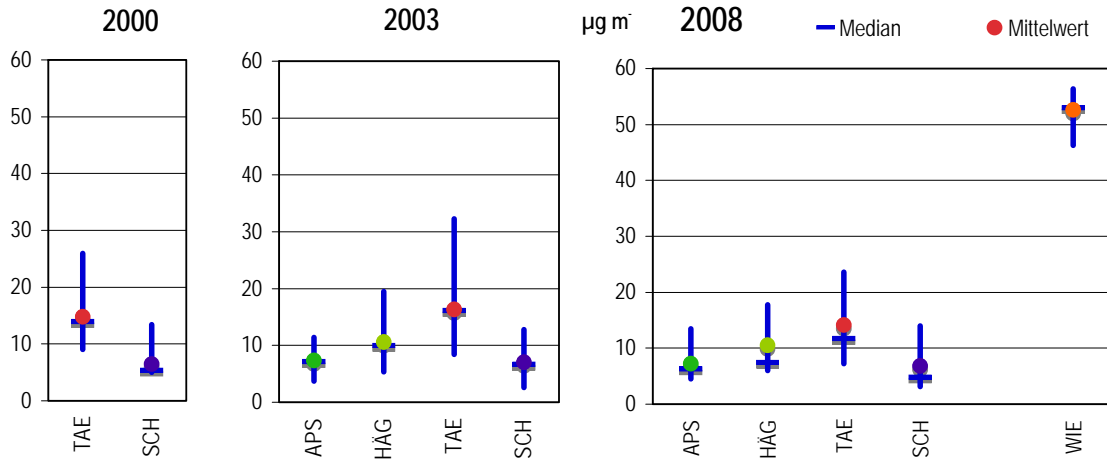


Abbildung 11 NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an den unterschiedlich bewirtschafteten und exponierten Standorten, Jahresmittelwerte und Schwankungsbereich (Mediane, Maximal- und Minimalwerte der Monatsmittelwerte) in µg m<sup>-3</sup>

#### 4.2.3 Jahreszeitliche Muster

Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind im Winter in ländlichen Gebieten deutlich höher als im Sommer. In der Stadt an einer Durchgangsstrasse (Zürich-Wiedikon) ist der Unterschied Winter – Sommer gering (Abbildung 12).

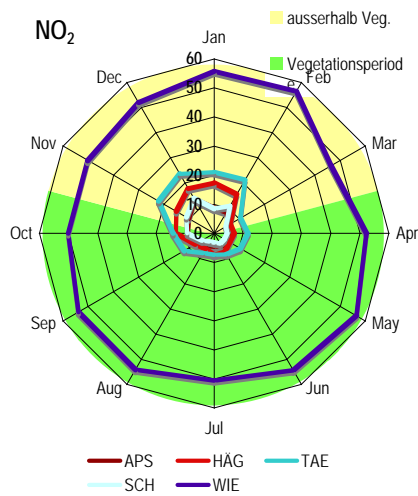


Abbildung 12 Monatsmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Jahr 2008 in µg m<sup>-3</sup>.

### 4.3 Reduzierter und oxidiertes Stickstoff im Niederschlag (Bulk)

#### 4.3.1 Langjähriger Verlauf der Jahreswerte

Die Regenmenge (Abbildung 13) war in Schänis immer am höchsten, gefolgt vom Bachtel. Die Mittellandstandorte Häggenschwil, Tänikon und Wiedikon wiesen ähnliche Niederschlagsmengen auf. Die Menge war 2000 und 2002 relativ hoch, 2003 in Schänis relativ tief. Die Stickstofffrachten folgten zum Teil der Regenmenge (Abbildung 14). Was bedeutet, dass die Konzentrationen an allen Stationen ähnlich sind. Die Ammoniumfrachten in Bachtel und Schänis waren ähnlich hoch, die Nitratfrachten vom Bachtel lagen jedoch wie die Regenmenge deutlich darunter. Da die Regenmengen zwischen 2004 und 2008 ähnlich hoch waren, kann postuliert werden, dass die Konzentrationen im Regen bei der Station Schänis abgenommen haben. Es gibt keine gesicherte Veränderung der N-Frachten, wenn auch 2007 und 2008 oft am wenigsten gemessen wurde. Auch 2003 zeigte eher niedrigere Frachten, aber vorher und nachher waren der Werte wieder höher.

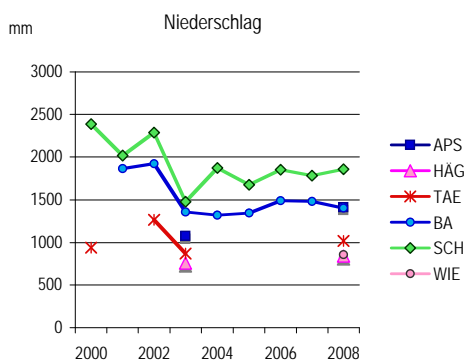


Abbildung 13 Niederschlagsmenge an den Messstationen, bei Bachtel und Schänis der Verlauf über die Jahre. (Daten von Schänis wurden von der WSL zur Verfügung gestellt.) Einheit: mm

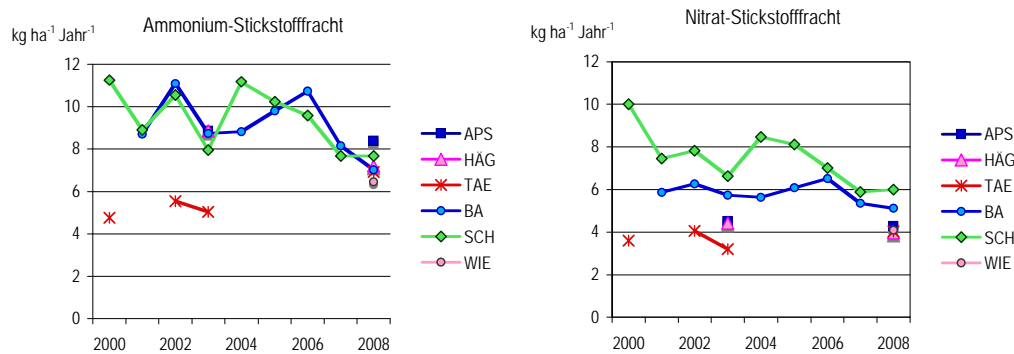


Abbildung 14 Jahres-Stickstofffracht aus Ammonium und Nitrat im Niederschlag, Verlauf bei Bachtel und Schänis (Daten von Schänis wurden von der WSL zur Verfügung gestellt.) Einheit kg ha⁻¹

### 4.3.2 Standortvergleich, Variabilität

Die Unterschiede bei den Frachten an Stickstoff, die mit dem Niederschlag eingetragen wurden, sind deutlich geringer als diejenigen der gasförmigen Komponenten (Abbildung 15). Die Variabilität ist bei Ammonium grösser als beim Nitrat.

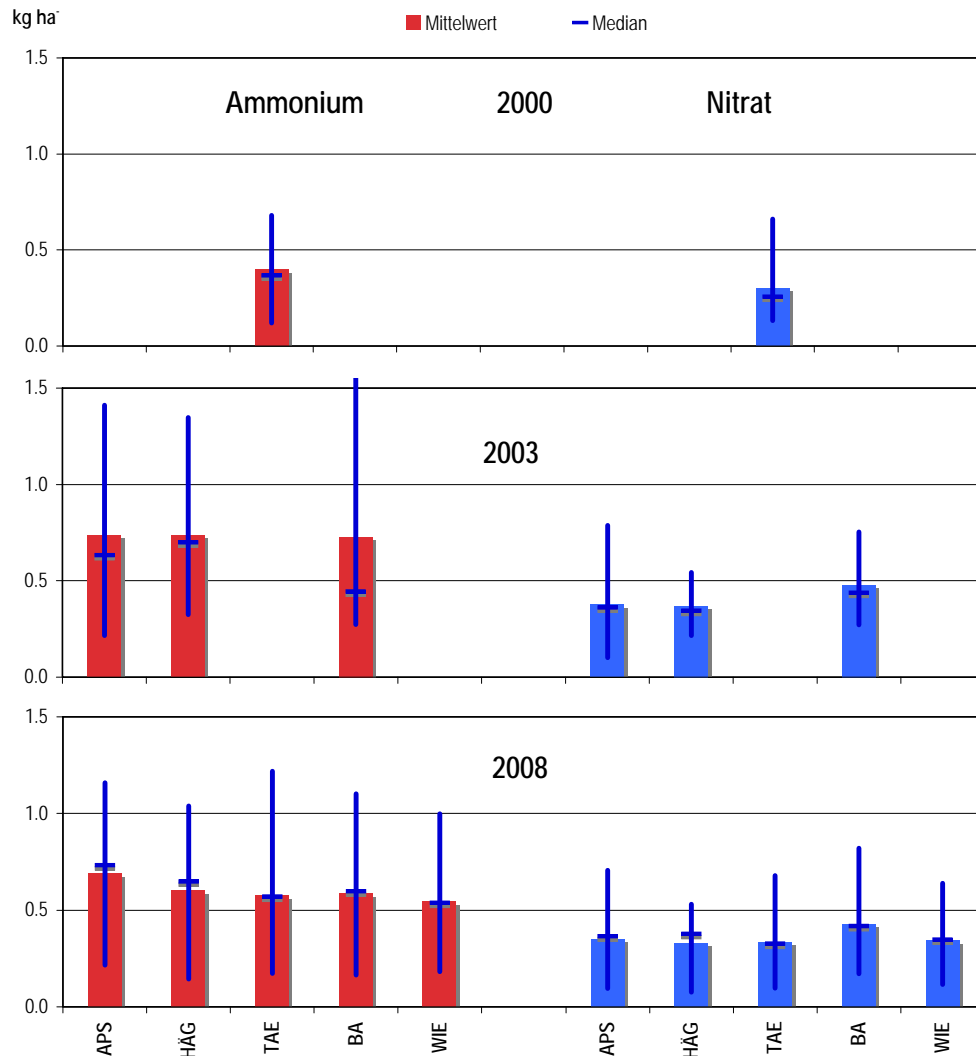


Abbildung 15 Stickstofffracht aus Ammonium (links) und Nitrat (rechts dargestellt) in Bulkproben an unterschiedlich bewirtschafteten und exponierten Standorten, Monatsfrachten und Schwankungsbereich (Mediane, Maximal- und Minimalwerte der Monatsmittelwerte) in kg ha<sup>-1</sup>

### 4.3.3 Jahreszeitliche Muster

Der Stickstoff aus Ammonium (Abbildung 16) und Nitrat (Abbildung 17) aus dem Niederschlag wird hauptsächlich im Sommer deponiert. Der Grund liegt darin, dass die Ionenkonzentrationen im Regen im Winter tendenziell niedriger sind, zusätzlich ist die Niederschlagsmenge im Sommer oft höher (Abbildung 18). Im Jahr 2003 (linke Darstellungen) waren die Frachten vor allem im April bis Juli höher als 2008 (rechts dargestellt).

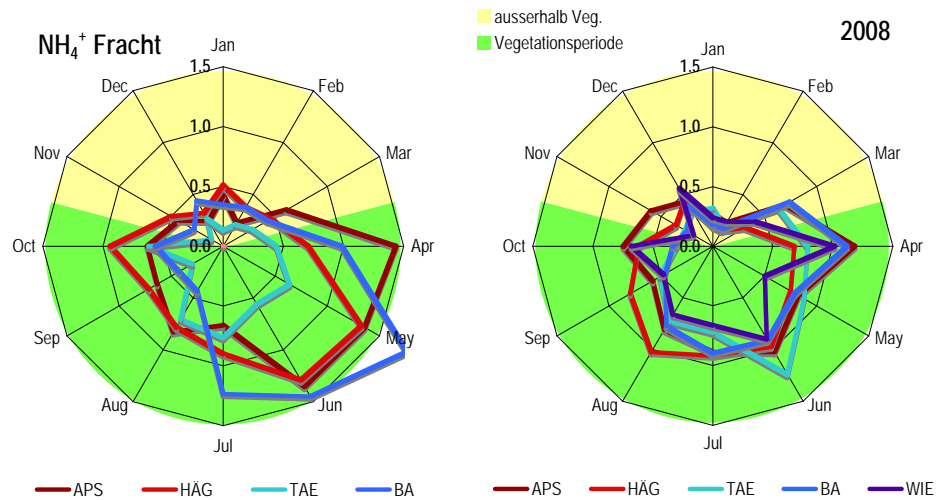


Abbildung 16 Monatsmittelwerte der Ammonium-Stickstoff-Frachten aus dem Niederschlag in  $\text{kg ha}^{-1}$ .  
 Linke Grafik: 2003  
 Rechte Grafik: 2008

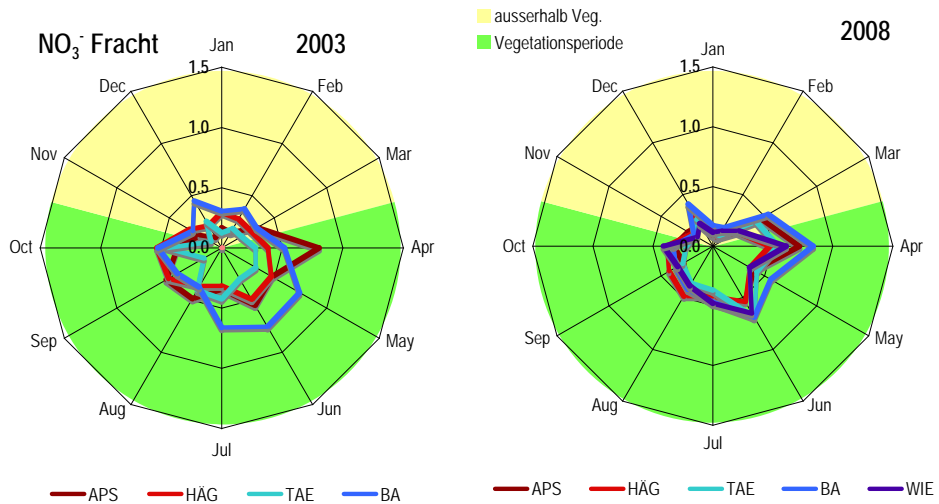


Abbildung 17 Monatsmittelwerte der Nitrat-Stickstoff-Frachten aus dem Niederschlag in  $\text{kg ha}^{-1}$ .  
 Linke Grafik: 2003  
 Rechte Grafik: 2008

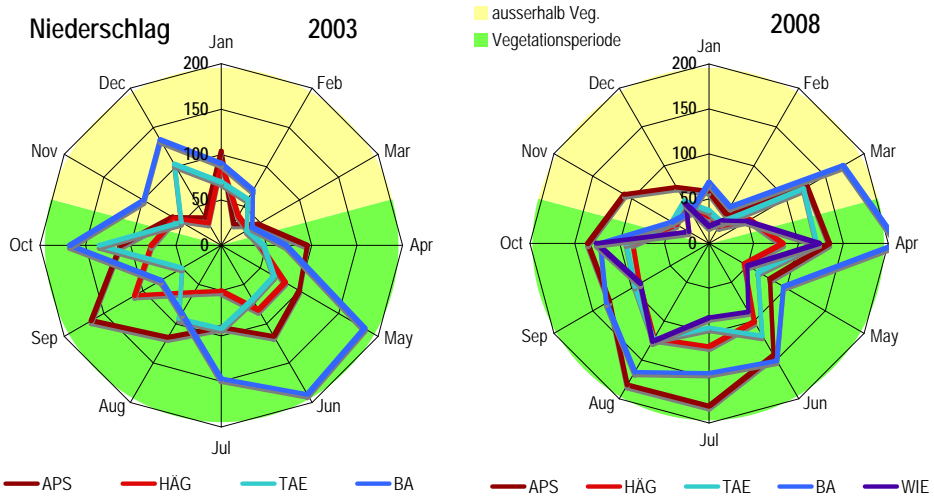


Abbildung 18 Monatliche Niederschlagsmenge in mm.  
 Linke Grafik: 2003

Rechte Grafik: 2008

#### 4.4 Aerosolmessungen (Ammonium, Nitrat) und gasförmige Salpetersäure

Die Salpetersäurekonzentration wurde mit Denudern, die Ammonium- und Nitratkonzentration im Aerosol mit nachgeschalteten Filtern erfasst.

##### 4.4.1 Langjähriger Verlauf der Jahresmittelwerte (Station Bachtel)

Salpetersäure trägt nur gering zur Gesamtstickstoffbelastung bei, deshalb wurde 2003 auf die Erfassung verzichtet. Die  $\text{HNO}_3$ -Konzentration hat zwischen 1993 und 2002 leicht abgenommen, 2003 bis 2007 wurde diese Komponente nicht gemessen, 2008 war die Konzentration das 2-2.5 fache von früheren Werten. Dies könnte jedoch an der Änderung des Sammelverfahrens (von Langdenuder mit NaCl-Beschichtung zu Minidenuder mit KOH-Beschichtung nach Vorschrift Nitroeuropa) liegen. Untersuchungen mit Vergleichen der Denuderbeschichtungen sollen Klarheit schaffen.

Bei der Ammoniumkonzentration im Aerosol gab es 1995-97 überdurchschnittlich hohe Werte, 2000 und 2008 unterdurchschnittlich. Auch beim Nitrat war ein ähnlicher Verlauf zu finden (Abbildung 19).

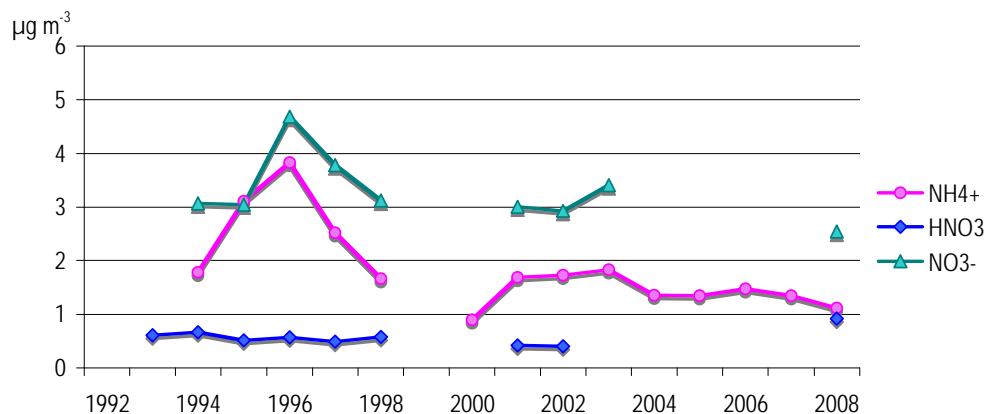


Abbildung 19 Verlauf der Ammonium- und Nitratkonzentration im Aerosol sowie der Salpetersäurekonzentration auf dem Bachtel, Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

##### 4.4.2 Standortvergleich Bachtel – Tänikon 2008

Ausser bei  $\text{HNO}_3$  sind die Konzentrationen bei der Station Bachtel niedriger als in Tänikon (Abbildung 20).



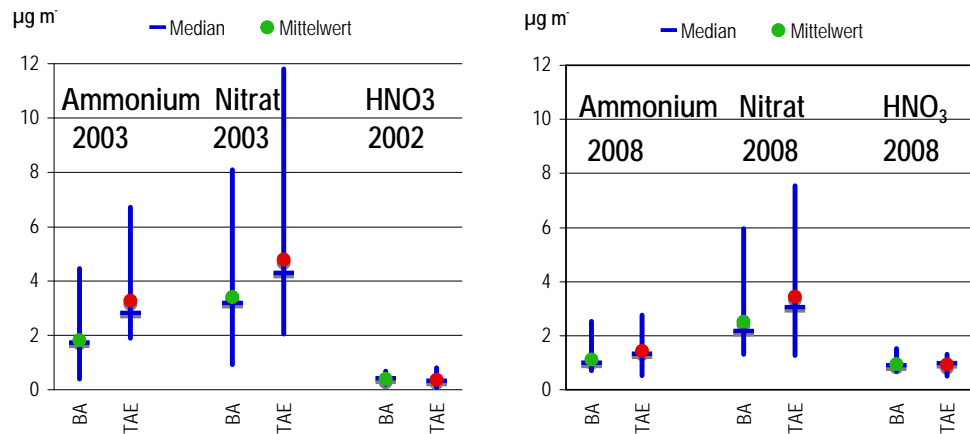


Abbildung 20 Vergleich von Ammonium und Nitrat in Aerosolen und gasförmiger Salpetersäure an den Stationen Bachtel und Tänikon, 2008, Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

### 4.4.3 Jahreszeitliche Muster

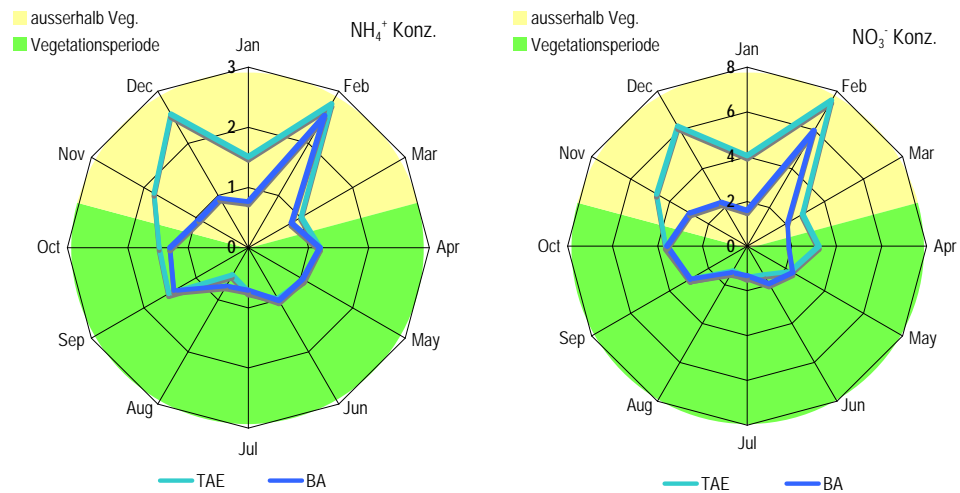


Abbildung 21 Ammonium- (links) und Nitratkonzentrationen (rechts dargestellt) in Luft der Stationen Bachtel und Tänikon im Jahr 2008, Monatsmittelwerte in  $\mu\text{g m}^{-3}$

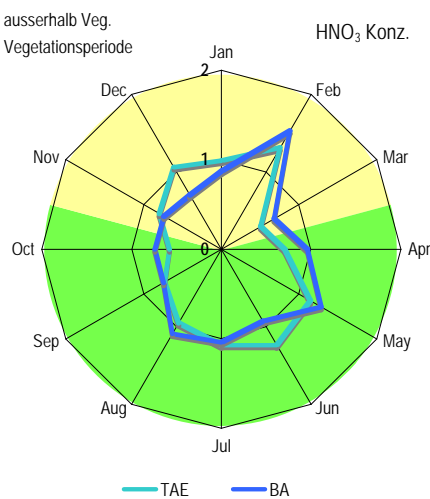


Abbildung 22 Salpetersäure-Konzentrationen (rechts dargestellt) in Luft der Stationen Bachtel und Tänikon im Jahr 2008, Monatsmittelwerte in  $\mu\text{g m}^{-3}$

Bei den an Aerosolteilchen gebundenen Stickstoff-Komponenten Ammonium und Nitrat finden sich eher im Winter bis Frühling die höheren Werte (Abbildung 21), der Stickstoff in der nassen Deposition wird hingegen vor allem im Sommer eingetragen (Abbildung 16 und Abbildung 17). Die Salpetersäurekonzentration ist im Sommer leicht höher, da durch die vermehrte Strahlung das  $\text{NO}_2$  stärker aufoxidiert wird als im Winter (Abbildung 22).

## 4.5 Gesamtstickstoffeinträge

### 4.5.1 Vergleich mit den Critical loads

Die gesamten Stickstoffeinträge summieren sich aus den nassen und trockenen Ablagerungen und den Beiträgen, die für ausgewählte Rezeptortypen<sup>1</sup> aus der jeweiligen Aerosol- und Gasphasenkonzentration abgeleitet wurden<sup>2</sup>. Die rezeptorspezifischen Belastungen beziehen sich ausschliesslich auf Messungen im Freiland<sup>3</sup>.

Die Bewertung der gesamten Stickstoffbelastung erfolgte durch den Vergleich mit anerkannten Belastbarkeitsschwellen (Critical loads<sup>4</sup>) für einzelne Vegetationssysteme, sog. Ökotypen wie Hochmoore, blumenreiche Wiesen und Waldökosysteme (Tabelle 2).

Tabelle 2 Empirische Critical loads für Stickstoff gemäss UNECE (EKL 2005)

Typ des Rezeptors/Ökosystems	Critical loads für Stickstoff $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$
Gemässigte und boreale Wälder	10-20
Alpine Zwergstrauch-Vegetation	5-15
artenreiche (Halb-) Trockenrasen	15-25
Trockene Naturwiesen auf sauren und neutralen Böden	10-20
Heuwiesen in tiefen und mittleren Lagen	20-30
Bergheuwiesen	10-20
Flachmoore (mesotroph)	15-35
Hochmoore	5-10
Seichte, oligotrophe See- und Teichufer (Unterwasserrasen)	5-10

Die Stickstoffeinträge in Hochmoore waren an allen sechs Messpunkten höher, als es für diese Biotope langfristig erträglich ist (Abbildung 23). Durch die Stickstoffeinträge aus der Luft werden nährstoffarme, blumenreiche Wiesen überdüngt. Besonders

<sup>1</sup> Unter dem Rezeptortyp "Feld" werden die Vegetationssysteme Hochmoore und blumenreiche Wiesen (Bergheuwiesen) zusammengefasst, unter "Wald" sind Waldökosysteme zu verstehen.

<sup>2</sup> Die Depositionsfrachten wurden mit Hilfe der mittleren Depositionsgeschwindigkeiten für ausgewählte Rezeptortypen und den gemessenen Gas- bzw. Aerosolkonzentrationen berechnet. Beim Verzicht auf die separate Erfassung von Aerosolanteilen und Salpetersäure (Messreihen 2003) wurden die Stickstofffrachten aus den Gasphasenmessungen ( $\text{NH}_3$ - und  $\text{NO}_2$ -Passivsammler) und der kombinierten Erfassung von nassen und trockenen Depositionen (Bulk-Methode) ermittelt. Die nicht erfassten Stickstoffanteile aus Aerosolen und Salpetersäure wurden via Korrekturfaktor mitberücksichtigt (Kapitel 5.6, Schmitt et al. 2005).

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

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

Waldökosysteme erhalten aber viel zuviel Stickstoff aus der Luft, weil sie die gasförmigen und aerosolgebundenen Stickstoffkomponenten grossflächig auskämmen können (Abbildung 24).

Der mittlere jährliche Gesamtstickstoffeintrag in der Schweiz beträgt  $19 \text{ kg ha}^{-1}$ . Der mittlere Eintrag im Ostluftgebiet beziffert sich auf  $23 \text{ kg ha}^{-1}$ , ist also um ca. einen Viertel höher (Ostluft 2000, 2002).

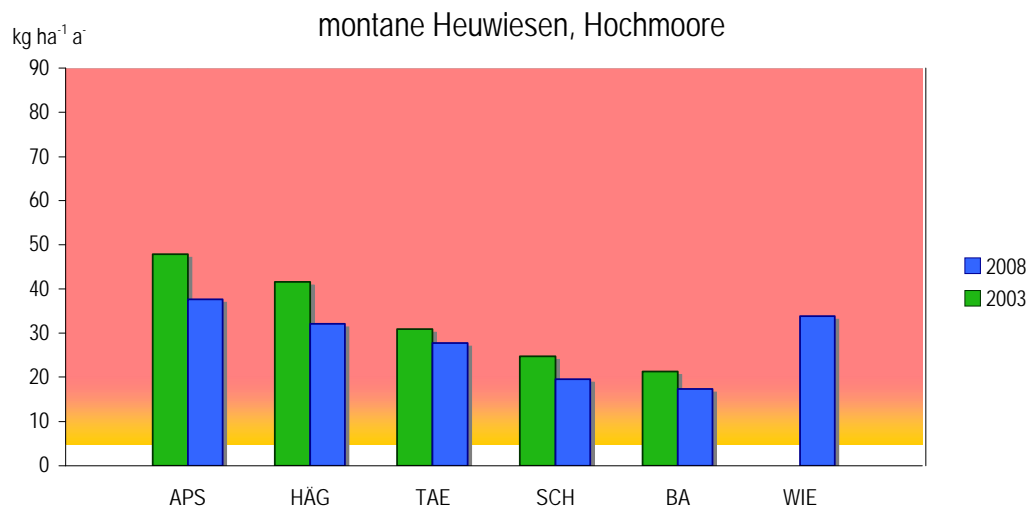


Abbildung 23 Vergleich der Gesamtstickstoffeinträge an sechs Standorten (vgl. Tabelle 2) mit den Belastbarkeitsschwellen „Critical loads“ für die Biotope montane Heuwiesen und Hochmoore. Die Messungen stammen aus den Jahren 2003 und 2008. Jahresfrachten in  $\text{kg ha}^{-1}$

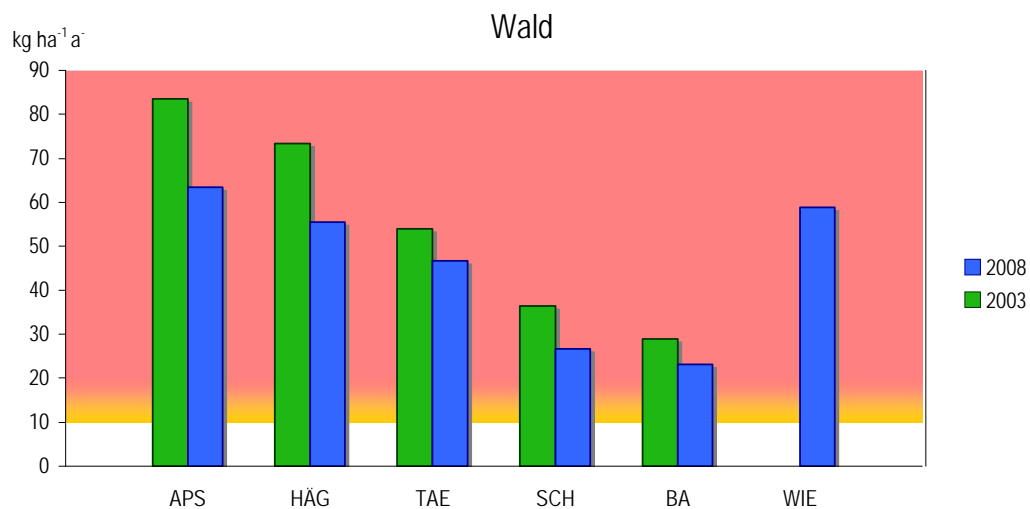


Abbildung 24 Vergleich der Gesamtstickstoffeinträge an sechs Standorten (vgl. Tabelle 2) mit den Belastbarkeitsschwellen „Critical loads“ für das Biotop Wald. Die Messungen stammen aus den Jahren 2003 und 2008. Jahresfrachten in  $\text{kg ha}^{-1}$

Im Jahr 2003 wurden höhere Gesamtstickstoffeinträge gemessen als bei der zweiten Erhebung im Jahr 2008. Dies kann einerseits die Folge des extrem heissen, langen und trockenen Sommers 2003 sein, der zu schweizweit erhöhten Ammoniakwerten führte, andererseits auf die höheren Frachten im Regen.

#### 4.5.2 Herkunft der Stickstoffverbindungen

Die reduzierten Stickstoffverbindungen ( $N_{\text{red}}$  – Ammoniak und Ammonium) stammen hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Quellen (biogene Prozesse, Zersetzung von Hofdünger und Biomasse). Die oxidierten Stickstoffverbindungen ( $N_{\text{oxi}}$  – 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) den Hauptteil der gesamten Stickstoffbelastung dar. Je ausgeprägter die landwirtschaftliche Bewirtschaftung im Umfeld, umso bedeutender wird ihr Beitrag an der Gesamtbelastung. Im Ökosystem "Wald" erreicht der Anteil der reduzierten Verbindungen als Folge der grossen Auskämmwirkung Werte bis zu 91% der gesamten Stickstoffbelastung. Die Fracht von oxidiertem Stickstoff ist an allen Standorten vergleichbar (Abbildung 25).

Im Jahr 2003 war der Anteil an Stickstoff, der hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammt, höher als im Jahr 2008. Dies vermutlich wiederum als Folge des extrem heissen, langen und trockenen Sommers 2003. Die absoluten Werte des oxidierten Teils veränderten sich kaum.

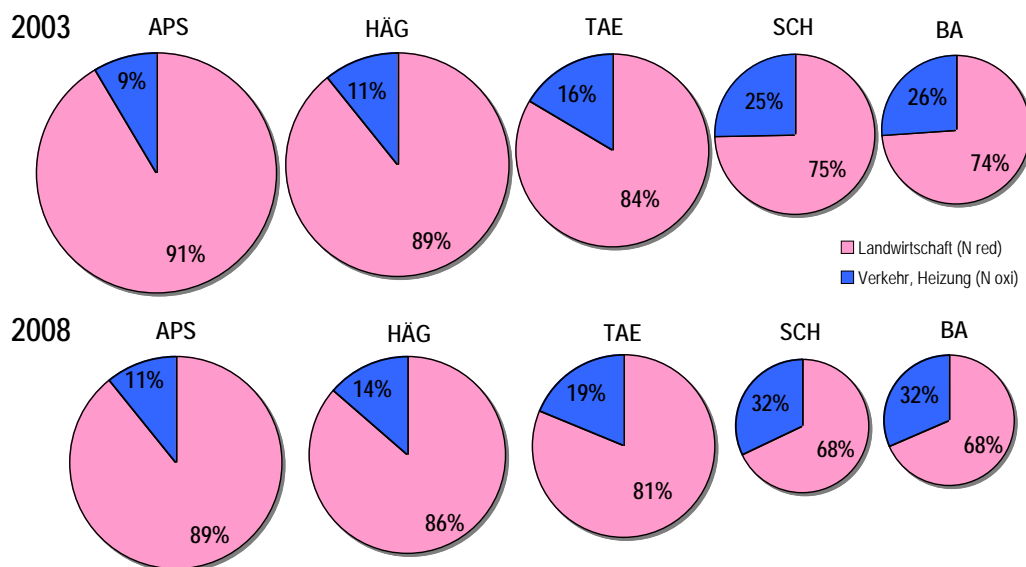


Abbildung 25 Gesamtstickstoffbelastung für das Ökosystem Wald an ländlichen Standorten mit (von links beginnend) abnehmender landwirtschaftlicher Aktivität, von sehr intensiv bis extensiv bewirtschaftet, Quellenbezogener Anteil der Jahresfracht: oben 2003, unten 2008. Massebezogene Darstellung, Fläche ist proportional zum Stickstoffeintrag.

### 4.5.3 Eintrag aus nahen und fernen Quellen

Die Gesamtstickstoffbelastung und auch die quellenfernen Bestandteile Ammonium und Nitrat eines Standortes mit intensiver Tierwirtschaft (APS) war ähnlich hoch wie die eines sehr verkehrsbelasteten, städtischen Standortes (WIE). Die Verteilung der quellennahen Bestandteile unterschied sich hingegen beträchtlich. Der landwirtschaftliche Standort war besonders durch Ammoniak, der verkehrsbelastete stärker durch Stickstoffdioxid belastet. (Abbildung 26).

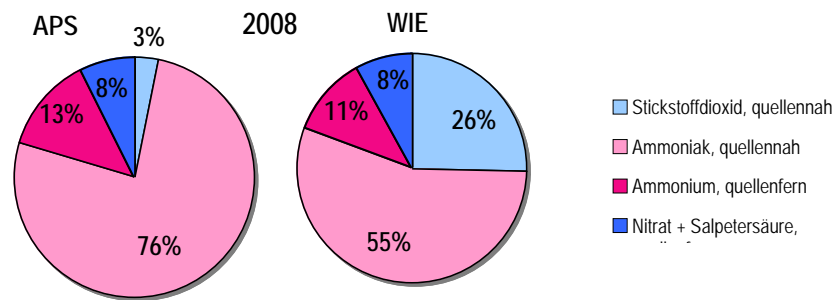


Abbildung 26 Vergleich der Stickstoffbelastung für das Ökosystem Wald an einen Standort mit intensiver Tierwirtschaft (APS) und einem sehr verkehrsbelasteten städtischen Standort (WIE), Quellenbezogener Anteil der Jahresfracht, 2008  
Massebezogene Darstellung, Fläche ist proportional zum Stickstoffeintrag.

### 4.5.4 Langjährige Entwicklung

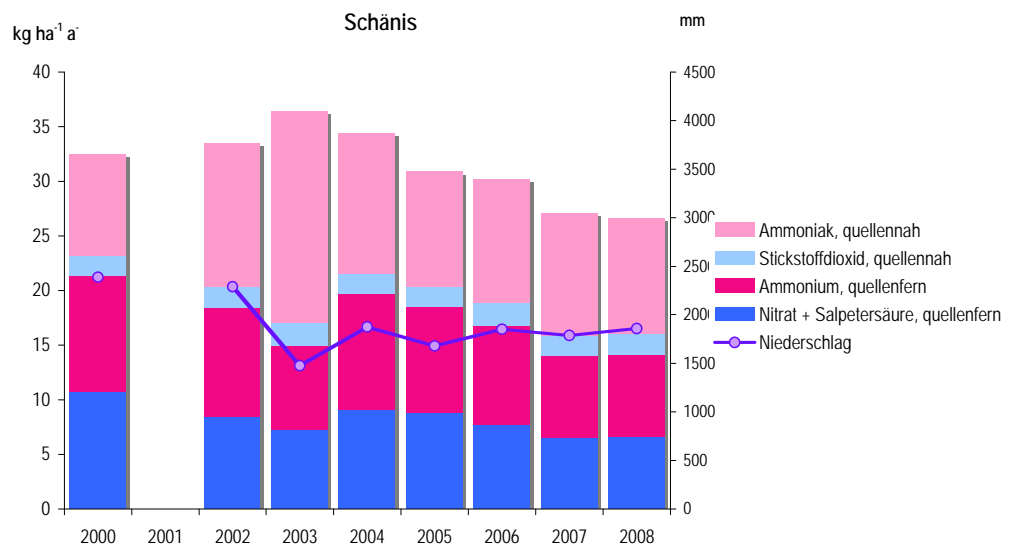


Abbildung 27 Stickstoffbelastung für das Ökosystem Wald am Standort Schänis (Ammonium- und Nitrat-Werte im Niederschlag stammen aus dem LWF-Projekt der WSL), Jahresfrachten in  $\text{kg ha}^{-1}$

An zwei Stellen im OSTLUFT-Gebiet konnten die Stickstoffeinträge auch in den Jahren zwischen den Hauptuntersuchungen ermittelt werden. Bei der Station Schänis (Abbildung 27) stammen die Resultate der Bulk-Messungen von der WSL (LWF-Projekt), bei der Station Bachtel (Abbildung 28) führte die FUB die Messungen der Niederschlagsproben in den Zwischenjahren auf eigene Kosten durch. In Schänis nahmen die N-Einträge seit 2003 tendenziell ab, vor allem durch die Abnahme bei den quellenfernen Anteilen. Dabei scheint die Regenmenge, die in einem Jahr fällt,

keinen grossen Einfluss auf die Fracht zu haben. Bei der Station Bachtel hingegen folgen die quellenfernen Einträge bis zu einem gewissen Grad der Regenmenge. In Schänis sind die quellennahen Komponenten der Deposition (Ammoniak, Stickoxid) seit 2004 ähnlich, bei der Station Bachtel hingegen schwankt der Ammoniakanteil stärker, abhängig auch von der angewandten Gülle-Ausbringtechnik (siehe Kapitel 4.1.6, Abbildung 9).

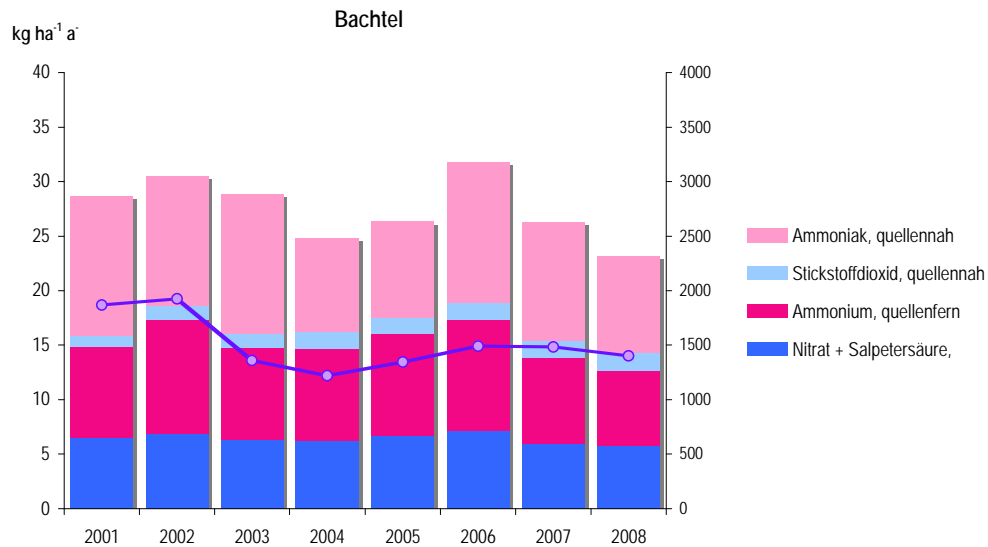


Abbildung 28 Stickstoffbelastung für das Ökosystem Wald am Standort Bachtel, Jahresfrachten in kg ha<sup>-1</sup>

#### 4.5.5 Jahreszeitliche Muster

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 Einträge der im Winter höheren Stickstoffdioxid-Konzentrationen sowie höhere Ammonium- und Nitrat-Gehalten in Aerosolen tragen in der Menge wenig zu den Gesamtstickstoffeinträgen bei<sup>5</sup> (Abbildung 29).

<sup>5</sup> Die Depositionsgeschwindigkeit für NH<sub>3</sub> und NO<sub>2</sub> wurden während der Vegetationsperiode fünf Mal höher eingesetzt als während der übrigen Zeit (nach Fischer-Riedmann 1995)

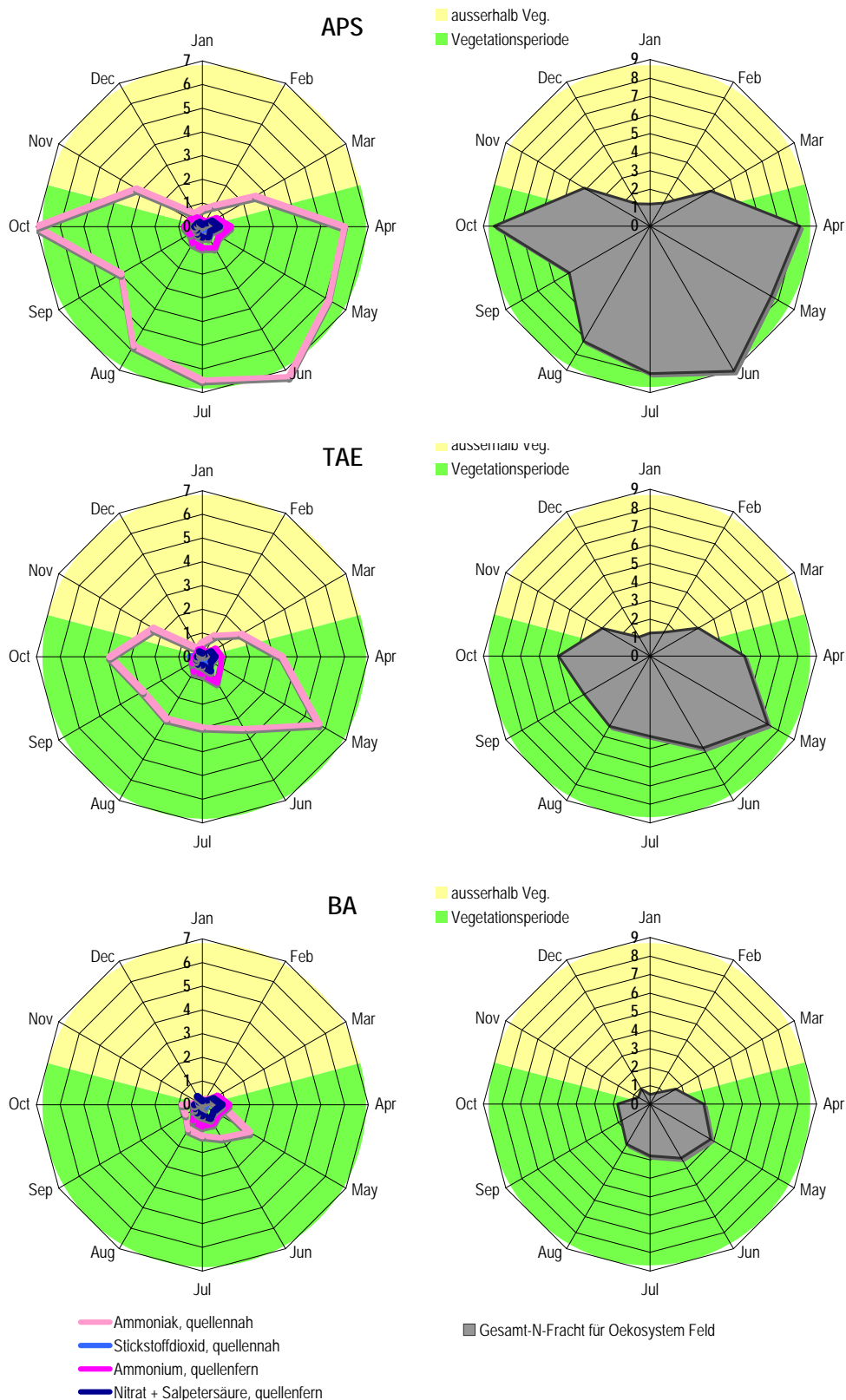


Abbildung 29 Jahresverlauf der Fracht der Stickstoffkomponenten (links) und der Gesamtstickstoffbelastung (rechts) für das Oekosystem Wald an ländlichen Standorten mit (von oben beginnend) abnehmender landwirtschaftlicher Aktivität, von sehr intensiv bis extensiv bewirtschaftet. Monatliche Frachten von 2008, Einheit: kg ha<sup>-1</sup>

Der Eintrag in das Oekosystem Wald bei der Station Wiedikon in der Stadt Zürich ist nicht direkt relevant, da erst in 2 km Abstand Wald vorhanden ist. Die Abbildung 30 dient dazu, die Situation für Wälder darzustellen, welche sehr nahe bei Stadt und Verkehr gelegen sind.

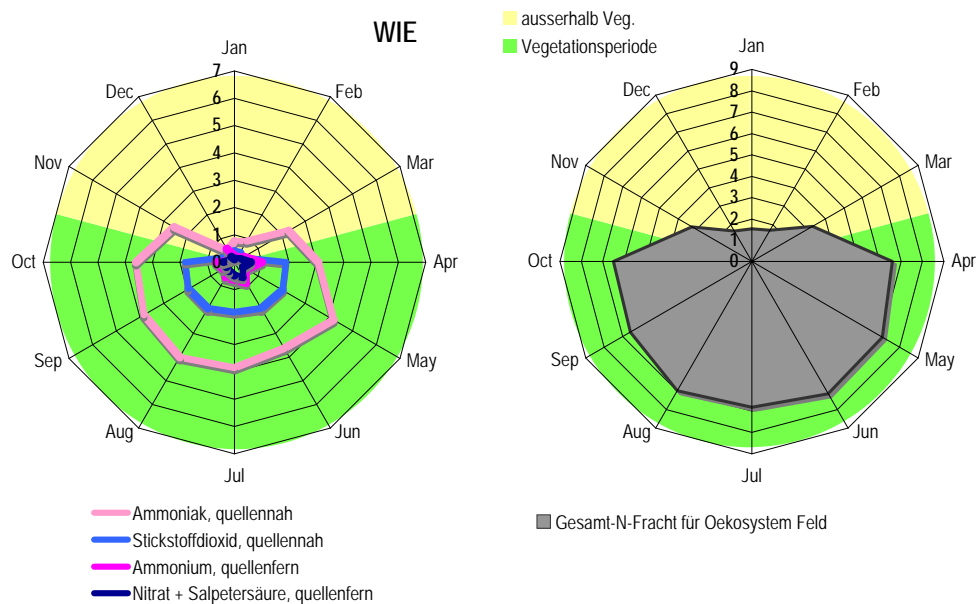


Abbildung 30 Jahresverlauf der Fracht der Stickstoffkomponenten (links) und der Gesamtstickstoffbelastung (rechts) für das Oekosystem Wald an einem städtischen, verkehrsreichen Standort.  
Monatliche Frachten von 2008, Einheit:  $\text{kg ha}^{-1} \text{ Monat}^{-1}$

## 4.6 Anionen und Kationen im Niederschlag

In den Regensammelproben wurden neben Ammonium und Nitrat z. T. auch die Kationen  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  und die Anionen  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  bestimmt.

### 4.6.1 Chlorid, Nitrat und Sulfat, Verlauf über die Jahre

An der Station Bachtel wurden die Anionen im Niederschlag von 1988 bis 1998 im wet und von 2001 bis 2008 im Bulk gemessen. In Abbildung 31 ist zu sehen, dass sich beim Nitrat kaum eine Änderung der Fracht ergab, die Fracht variiert ungefähr mit der Regenmenge, hingegen hat die Schwefel-Fracht aus Sulfat mehr oder weniger kontinuierlich von ungefähr 10 auf  $3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$  abgenommen, wohl als Folge des Einsatzes von schwefelarmen Treib- und Heizstoff und der Sanierung der Industrieanlagen in Europa. Bei Chlorid war eine Abnahme von knapp 6 auf  $2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$  zwischen 1988 und 1993, anschliessend blieb die Chlorid-Fracht gleich hoch. Dies kann durch die Sanierung der Kehrrechtverbrennungsanlagen Anfangs 90er Jahre des letzten Jahrhunderts erklärt werden (Thöni, L. et.al. 2008).



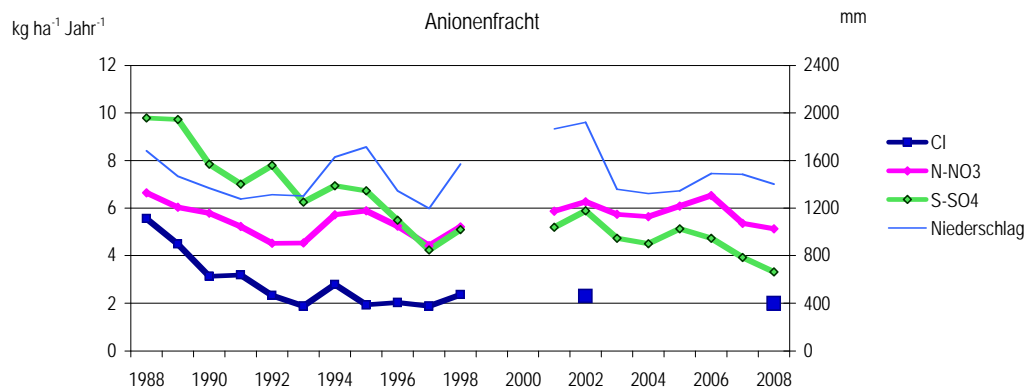


Abbildung 31 Verlauf der Anionen im Niederschlag bei der Station Bachtel, Jahresfrachten in  $\text{kg ha}^{-1}$

#### 4.6.2 Chlorid im Vergleich mit Natrium

Die Natriumchlorid-Konzentrationen in Wiedikon sind im Winter stark erhöht. Im Sommer sind die Konzentrationen gering. Dies lässt den Schluss zu, dass Natrium und Chlorid vom Streusalz stammen (Abbildung 32). Die Werte an der Station Tänikon, welche etwa 50 m von einer Nebenstrasse entfernt ist, sind im Winter deutlich höher, aber die absolute Fracht ist um ein Vielfaches niedriger als in Wiedikon. Selbst an der Station Bachtel, welche sich weit entfernt von Strassen befindet, sind die Werte im Winter höher als im Sommer, was auf Ferntransport hinweist.

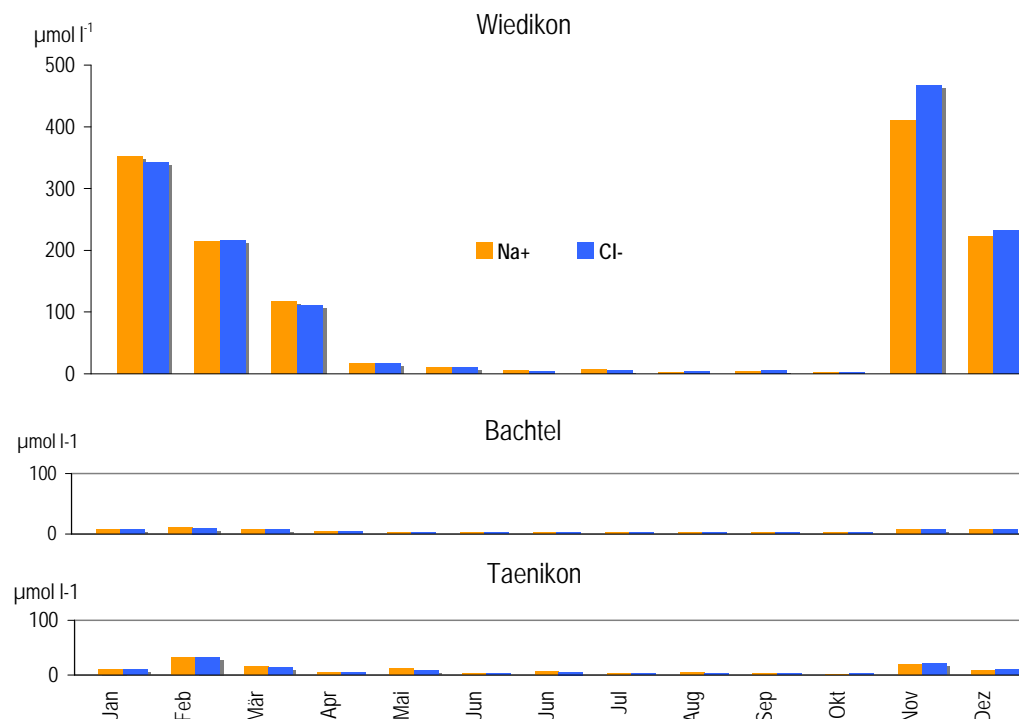


Abbildung 32 Ionenverteilung der Bulkproben in Wiedikon, Bachtel und Tänikon Periode 2008, Natrium und Chlorid sind einander gegenübergestellt.

Die molaren Konzentrationen von Natrium und Chlorid haben sich im Jahr 2008 gut entsprochen (Abbildung 33).

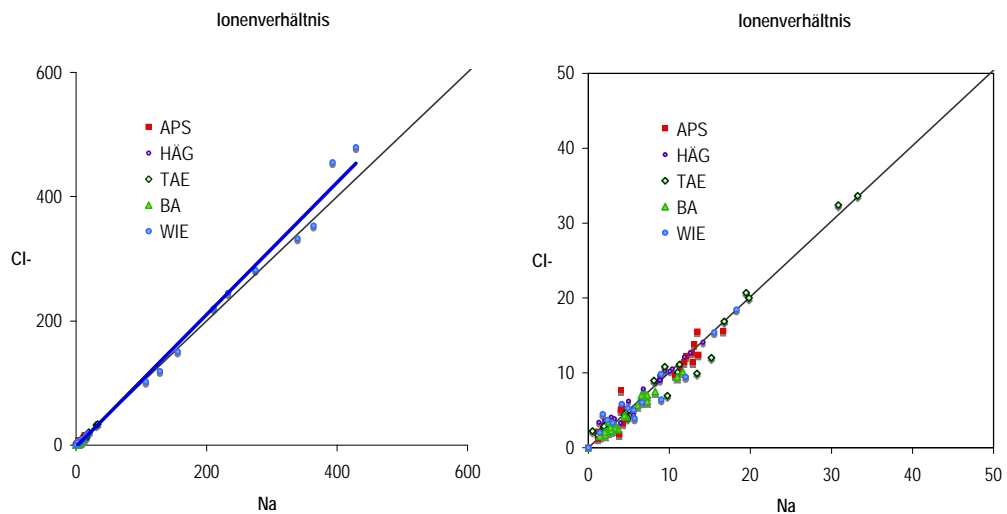


Abbildung 33 Ionenverhältnis von Natrium und Chlorid in Bulk-Einzelproben, dargestellt mit zwei unterschiedlichen Skalen, Messungen 2008. Äquivalentkonzentration. Einheit:  $\mu\text{mol l}^{-1}$

Das Ionenverhältnis Chlorid zu Natrium war nicht immer ausgeglichen. Bis 1991 war ein Überhang an Chlorid zu verzeichnen (Abbildung 34). In diesem Jahr wurde bei der KEZO (Kehrichtverbrennungsanlage Zürcher Oberland), die etwa 6 km westlich vom Standort Bachtel gelegen ist, eine weitergehende Rauchgasreinigung in Betrieb genommen, welche den HCl Ausstoss stark verminderte (Thöni, L. et.al. 2008).

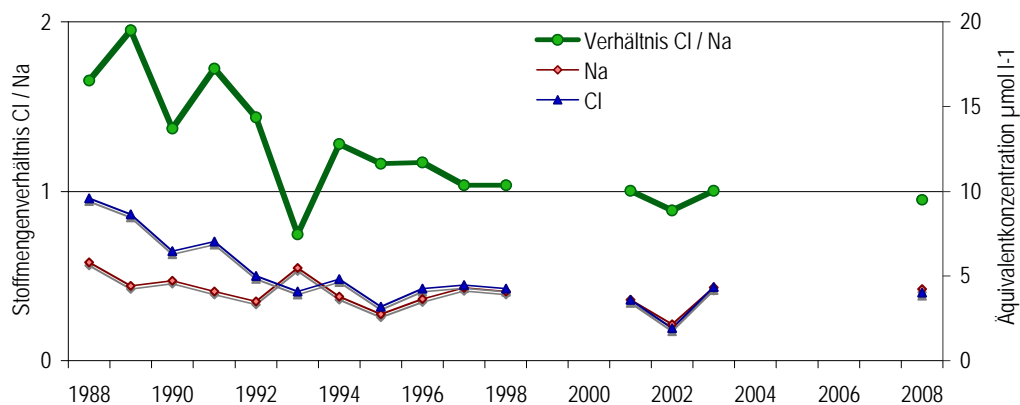


Abbildung 34 Ionenverhältnis von Natrium und Chlorid bei der Station Bachtel im Verlaufe der Zeit, und Stoffmengenkonzentration in  $\mu\text{mol l}^{-1}$  von Natrium und Chlorid im Niederschlag, von 1988 bis 1998 und 2001 bis 2003 im wet und 2008 im Bulk gemessen.

#### 4.6.3 Ammonium vs Nitrat und Sulfat

Die Summe der molaren Konzentration von Nitrat und Sulfat werden mit Ammonium verglichen. Es zeigen sich standorttypische Muster; bei der Station Wiedikon überwiegt der Nitrat-Sulfat-Anteil, dies weist auf ein anderes Gegenion z.B. Calcium oder Protonen hin. (Abbildung 35).

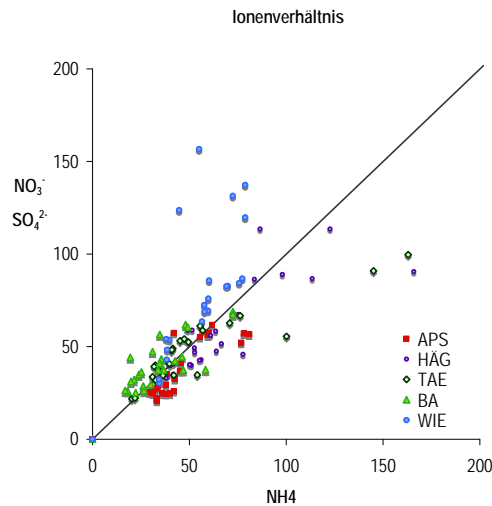


Abbildung 35 Ionenverhältnis von Ammonium gegenüber der Summe von Nitrat und Sulfat von Bulk-Einzelproben Äquivalentkonzentration. Einheit:  $\mu\text{mol l}^{-1}$

#### 4.6.4 Kationen

Stoffmengenäquivalentfracht im Jahresverlauf von Kalium, Magnesium und Calcium im Niederschlag bei der Station Bachel (Abbildung 36). Der hohe Calciumwert im 2008 ist nicht direkt mit der übrigen, im wet gemessenen Zeitreihe vergleichbar, weil im Bulk auch die Trockendeposition mit erfasst wird.

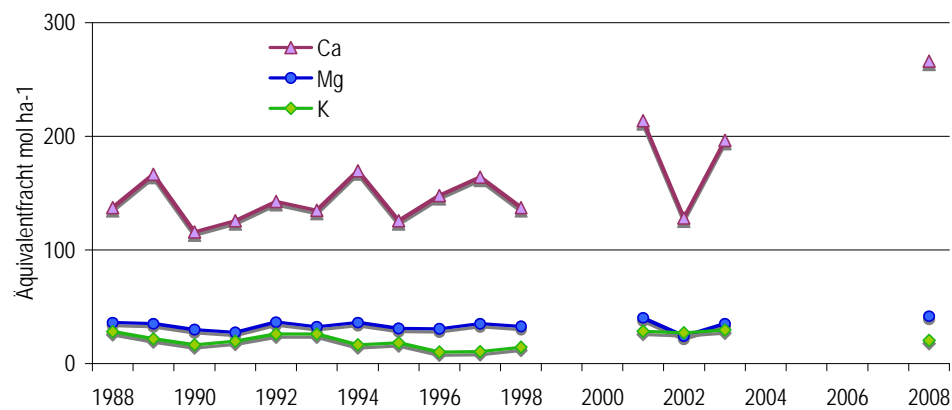


Abbildung 36 Stoffmengenäquivalentfracht von Kalium, Magnesium und Calcium im Niederschlag bei der Station Bachel, von 1988 bis 1998 und 2001 bis 2003 im wet und 2008 im Bulk gemessen. Einheit:  $\text{mol ha}^{-1}$

## 4.7 Schwermetalle (Bergerhoff)

### 4.7.1 Frachten 2008

Die Niederschlagsstaubmenge war in Zürich-Wiedikon (WIE) an der stark befahrenen Durchgangsstrasse hoch, der LRV-Grenzwert wurde jedoch nicht überschritten. Der andere städtische Standort an der Stampfenbachstrasse in Zürich war deutlich niedriger. Meistens noch niedriger waren die Frachten der ländlichen Stationen. Im Sommer zeigten sich auf dem Land höhere Werte, bei den städtischen Standorten sind die jahreszeitlichen Unterschiede kleiner. (Abbildung 37)

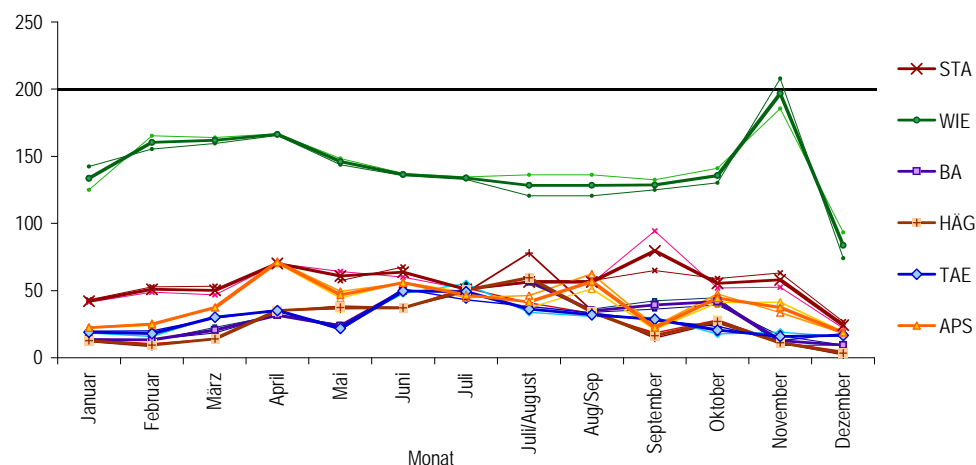


Abbildung 37 Staub-Frachten im Jahr 2008 an verschiedenen Standorten. Einheit:  $\text{mg m}^{-3} \text{d}^{-1}$   
LRV-Grenzwert  $200 \text{ mg m}^{-3} \text{d}^{-1}$

In Abbildung 38 sind die Quartalswerte der Schwermetalle Cadmium, Blei, Kupfer und Zink dargestellt.

Bei der Station Wiedikon zeigte sich eine doppelt so hohe Cadmiumfracht wie an der Stampfenbachstrasse. An den ländlichen Orten wurden im Sommer z.T. ähnliche Cd-Frachten gemessen wie beim Standort Stampfenbach, im Winter waren die Werte jedoch unter der analytischen Nachweisgrenze. An keinem Ort wurde der LRV-Grenzwert für Cd überschritten, auch in Wiedikon wurde nur etwa 1/10 des Grenzwertes erreicht.

Auch bei Blei wurde der LRV-Grenzwert nicht überschritten, auffallend ist jedoch der hohe Sommerwert in Wiedikon. Bei der Station Stampfenbachstrasse wurde nur etwa 1/10 des Grenzwertes erreicht und die Messwerte an den ländlichen Standorten waren sehr niedrig.

Bei Kupfer fallen wiederum die übers ganze Jahr hohen Werte in Wiedikon auf. Es ist kein Grenzwert festgelegt. Die Cu-Frachten an der Station Stampfenbach erreichten nur 1/6 der Werte von Wiedikon. An den ländlichen Standorten wurde nur im ersten Halbjahr gemessen, diese Werte waren sehr klein.

Die Zinkfrachten in Wiedikon überschritten den Grenzwert. Vermutlich ist dies auf Einfluss von verzinkten Masten, Dachrinnen und ähnliches in der Nähe zurückzuführen und weniger auf von weit her gebrachtem Zink.

Dies wird auch aus Abbildung 39 ersichtlich, wo die Konzentrationen im Staub dargestellt sind. Bei Cd und Pb (mit einer Ausnahme) unterschieden sich die Anteile an den verschiedenen Standorten wenig, was auf Ferntransport hindeutet. Bei Cu und Zn hingegen weist der deutlich höhere Anteil im Staub in Wiedikon auf lokale Quellen hin.

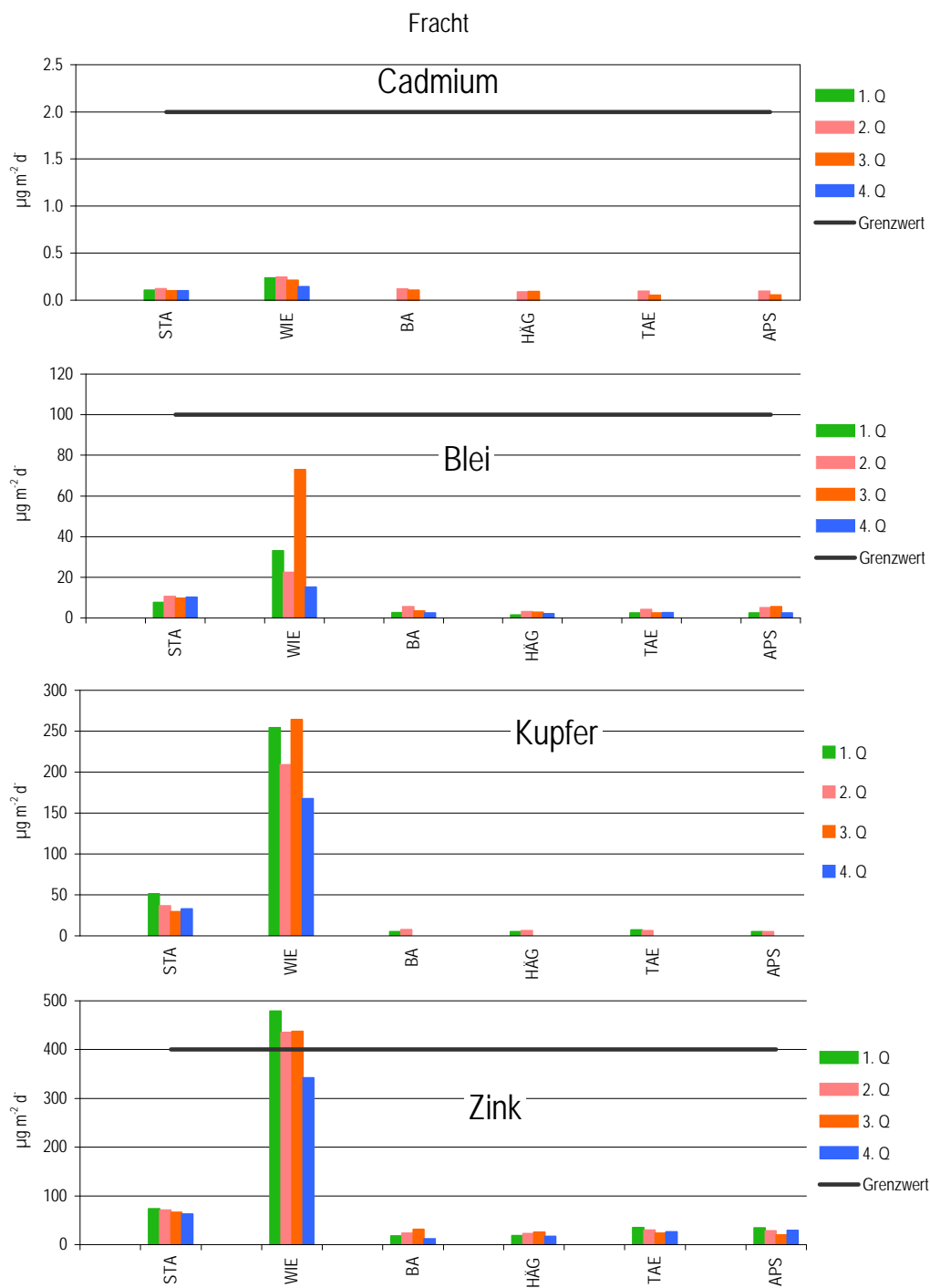


Abbildung 38 Quartalswerte von Cadmium, Blei, Kupfer und Zink, gemessen mit Bergerhoff. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3} \text{d}^{-1}$   
 Cd der Stationen BA, HÄG, TAE und APS waren im 1. und 4. Quartal unter der Nachweisgrenze,  
 Cu der Stationen BA, HÄG, TAE und APS im 3. und 4. Quartal nicht gemessen

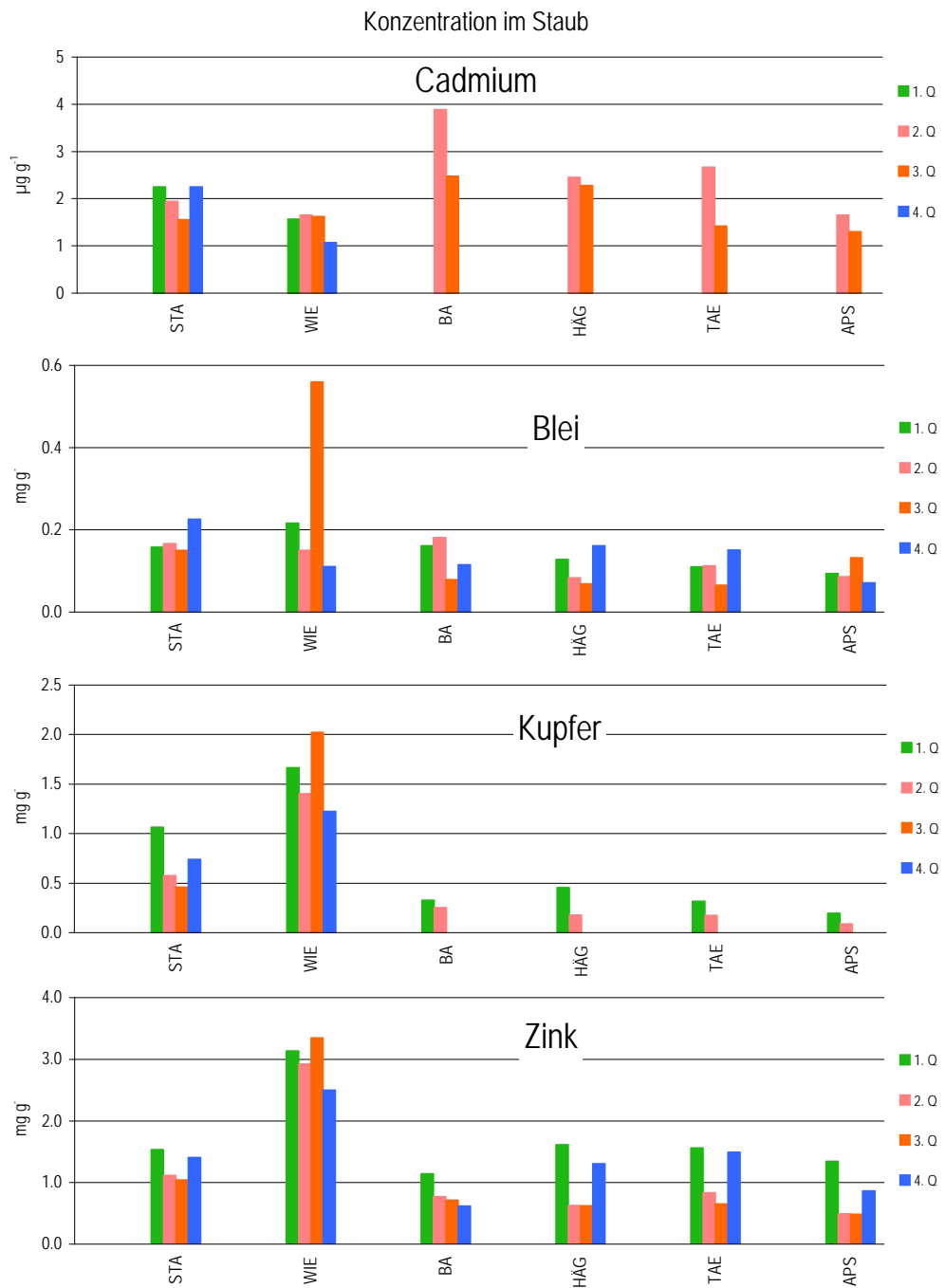


Abbildung 39 Anteil Metall im Staub, Quartalswerte an verschiedenen Standorten,  $\mu\text{g}$  resp.  $\text{mg}$  Metall pro  $\text{g}$  Staub

### 4.7.2 Schwermetallfrachten im Verlauf der Zeit

In Abbildung 40 sind die Frachten von Cd, Pb und Zn dargestellt, bei der Station Stampfenbach liegen Daten seit 1984 vor. Bei allen drei Metallen war eine sehr grosse Abnahme in den 80er Jahren des letzten Jahrhunderts zu verzeichnen. Dies entspricht den Emissionsabnahmen in diesem Zeitraum (BUWAL 1995). Aber auch in den 90er Jahren war bei Cd und Pb, weniger deutlich bei Zn, immer noch eine Abnahme zu verzeichnen (Thöni, L. et.al. 2008).

Die Werte von Stampfenbach und Wiedikon bis 2000 wurden von UGZ gemessen.

Die Werte vom Bachtel von 1988 bis 1998 stammen aus der wet & dry-Sammlung, alle anderen aus Bergerhoff-Sammlungen.

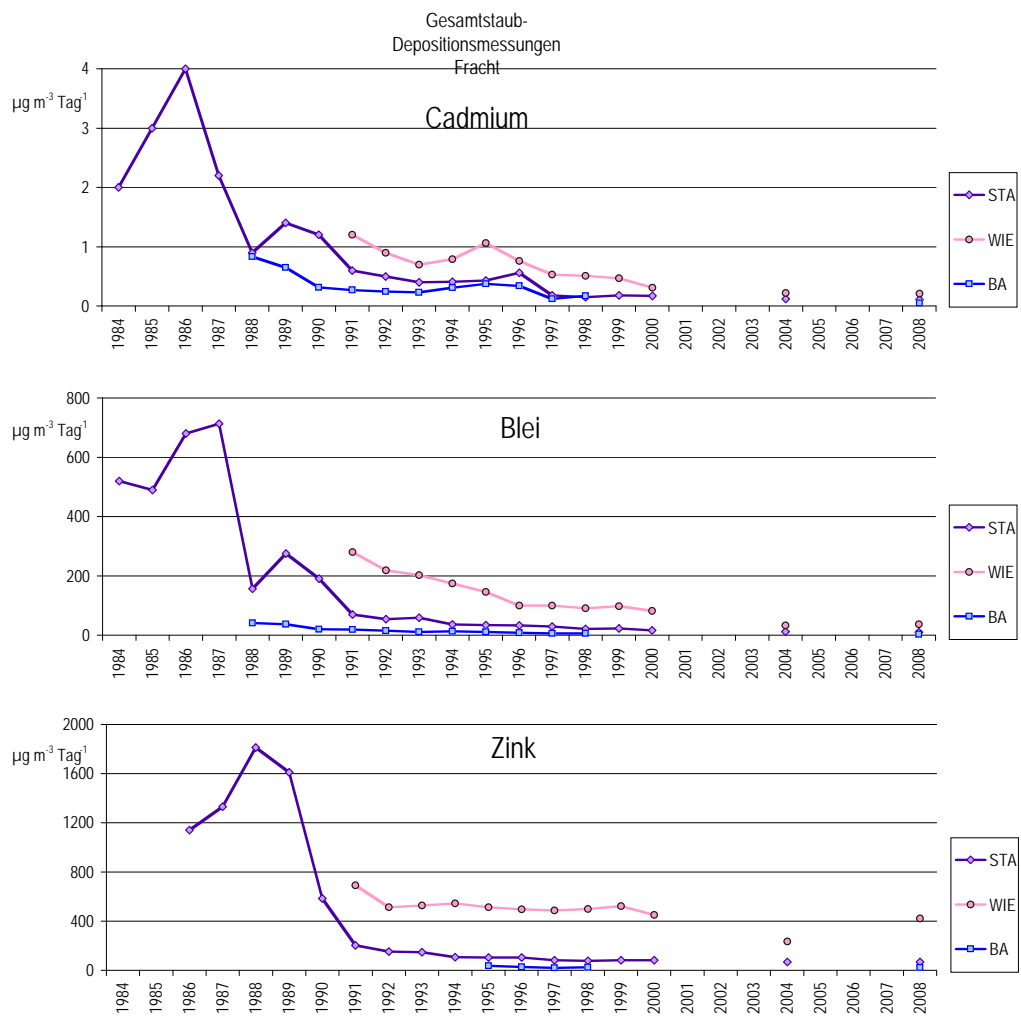


Abbildung 40 Frachten von Cadmium, Blei und Zink im Verlauf der Zeit an den Stationen Stampfenbach, Wiedikon und Bachtel. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3} \text{d}^{-1}$

In Abbildung 41 wird die Konzentration von Cadmium, Blei und Zink im Staub dargestellt. Am Anfang der Messungen, in den 80er Jahren waren die Metallkonzentrationen im Staub um ein Vielfaches höher als 2008. Cadmium zeigt die gleiche Konzentration in Stampfenbach wie in Wiedikon. Auch die Konzentration bei der Bachtelstation (nur 2008 gemessen) zeigt kaum einen Unterschied. Dies weist auf Ferntransport des Cadmiums hin. Hingegen war der Staub vor allem in der ersten Hälfte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts in Wiedikon deutlich stärker mit Blei belastet. Die Zinkkonzentration im Staub von Wiedikon war praktisch über den ganzen Vergleich ungefähr doppelt so hoch wie im Stampfenbach und im 2008 um das 3.5fache höher als auf dem Bachtel.

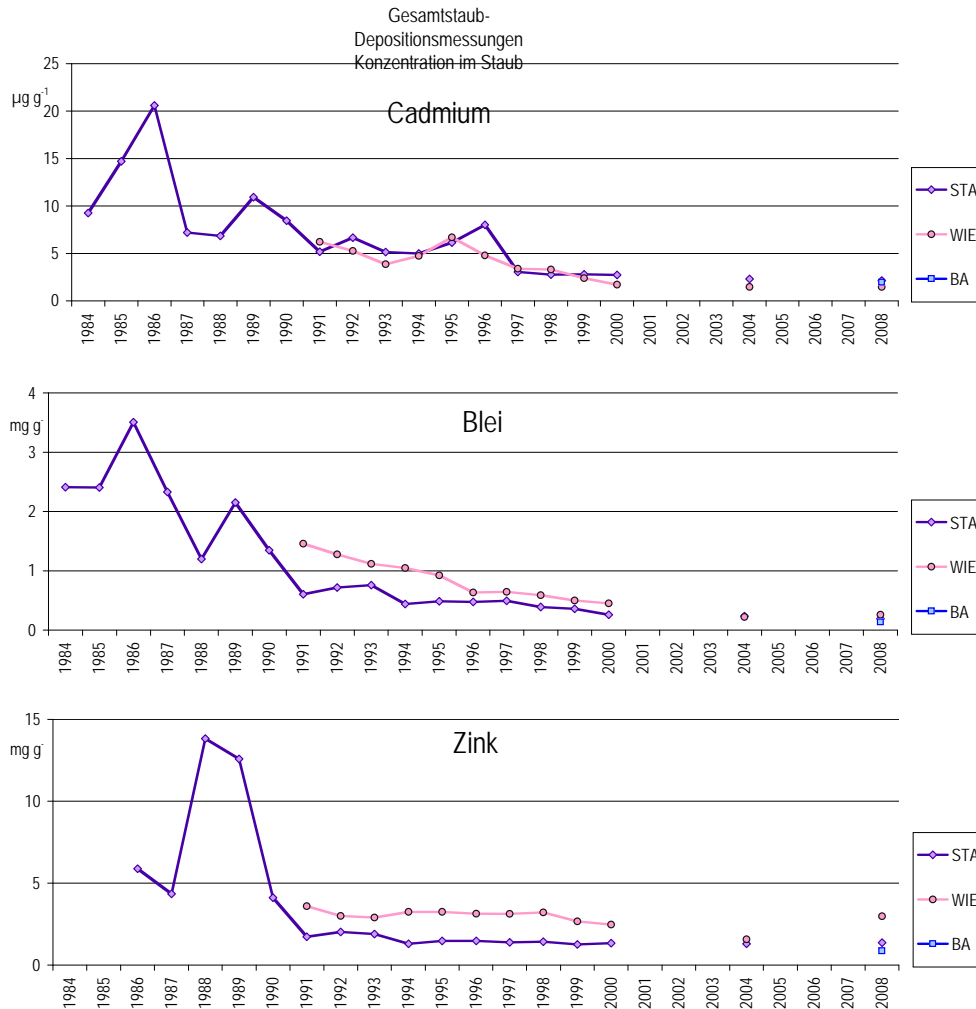


Abbildung 41 Konzentration im Staub von Cadmium, Blei und Zink im Verlauf der Zeit an den Stationen Stampfenbach und Wiedikon, Bachtel nur 2008, µg resp. mg Metall pro g Staub



## 5 Fachteil

### 5.1 Empfehlung für Messstandorte

#### 5.1.1 Ammoniak

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. Die getroffenen Massnahmen sollten regelmässig dokumentiert werden.

#### 5.1.2 Bulk und Bergerhoff

Bei der Exposition von Niederschlagssammlern ist im Besonderen darauf zu achten, dass keine Blätter eingetragen werden, d.h. dass genügend Abstand zu Bäumen und Sträuchern eingehalten wird. Beim Bergerhoff wird ein Vogelschutzkorb empfohlen, beim Bulk zusätzlich ein Schutz gegen das Eindringen von Insekten.



## 5.3 Sammelmethode

### 5.3.1 Nass- und Trockendeposition "wet & dry", Ionen

Die Niederschlagsproben wurden mit einem "wet & dry"-Sammler (nach Georgii, modifiziert) gewonnen. Der Sammler hat ein tonnenförmiges Gehäuse aus Polyethylen. Durch einen Regensensor gesteuert, werden zwei Gefäße wechselseitig zugedeckt bzw. freigegeben. Während einem Niederschlagsereignis steht ein Polyethylen-Trichter offen, der das Niederschlagswasser in eine 5-Liter Polyethylen-Flasche leitet. Das Gerät wird beheizt, so dass Schnee im Trichter schmilzt und ebenfalls erfasst wird. Während der niederschlagsfreien Zeit wird ein Rezeptor, ein umgekehrter Frisbee, für die trockene Deposition, d.h. für den sedimentierenden Staub, freigegeben. Dieser Wurfteiler hat wegen seiner aerodynamischen Form ideale Eigenschaften als Staubrezeptor. Wie in Windkanalversuchen gezeigt wurde, entstehen unterhalb der Randlinie kaum Turbulenzen, so dass sedimentierter Staub kaum mehr ausgeweht wird (Hall & Upton 1988). (Abbildung 42)

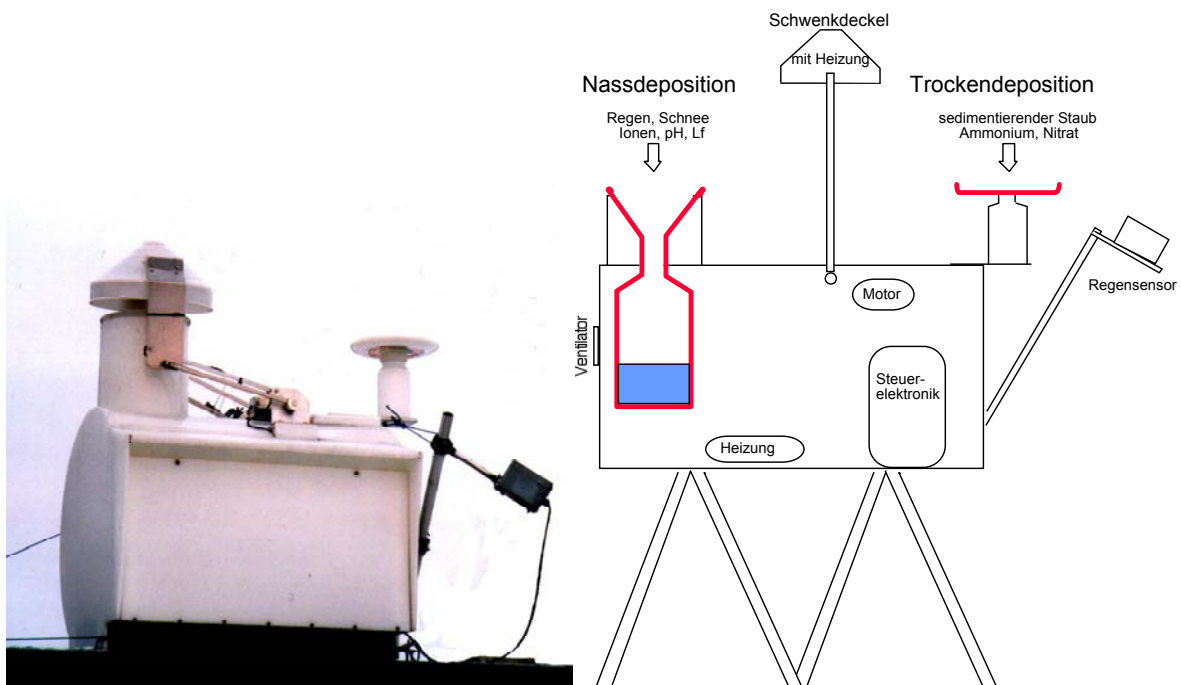


Abbildung 42 Methode zur Erfassung von Nassdeposition und Trockendeposition (wet & dry, Gravitationsdeposition), Foto des Georgii-Gerätes und schematische Skizze

### Berechnung

In der "wet"-Deposition wird die Konzentration direkt gemessen. Daraus wird die Fracht über die Niederschlagsmenge und den Trichterdurchmesser berechnet.

$$f_{\text{Ion, ND}} = \frac{\rho_{\text{Ion, NS}} \cdot V_{\text{ND}}}{A}$$

$f_{\text{Ion, ND}}$  = Fracht des Ions in der Nassdeposition

$\rho_{\text{Ion, ND}}$  = Massenkonzentration des Ions in der Nassdeposition

$V_{ND}$  = Volumen der Nassdeposition  
 $A$  = Fläche der Diffusionsöffnung

Die "dry"-Deposition wird quantitativ in eine Polyethylenflasche überführt und mit Reinstwasser auf 100ml aufgefüllt. Die Frachtberechnung erfolgt analog der Nassdeposition.

### 5.3.2 Bulk – Niederschlags-Depositionssammlung, Ionen

Der Bulksammler ist im Gegensatz zum "wet only" immer offen und sammelt sowohl nassen wie trockenen Niederschlag. Er basiert auf dem Löbner-Liesegang-Gerät (VDI 2119, Blatt 3). Der FUB-Bulksammler besteht aus zwei, über den Kopf zusammengeschraubten, 5-Liter-Polyethylen-Flaschen; bei der einen der zwei Flaschen wurde der Boden abgetrennt, so dass sie nun als Trichter wirken kann (Auffangfläche 196 cm<sup>2</sup>). Die Verengung verhindert die Verdunstung weitgehend. Die Flasche-Trichter-Einheit steckt in einem weissen Rohr, das als Haltevorrichtung und als Lichtschutz dient. (Abbildung 43)

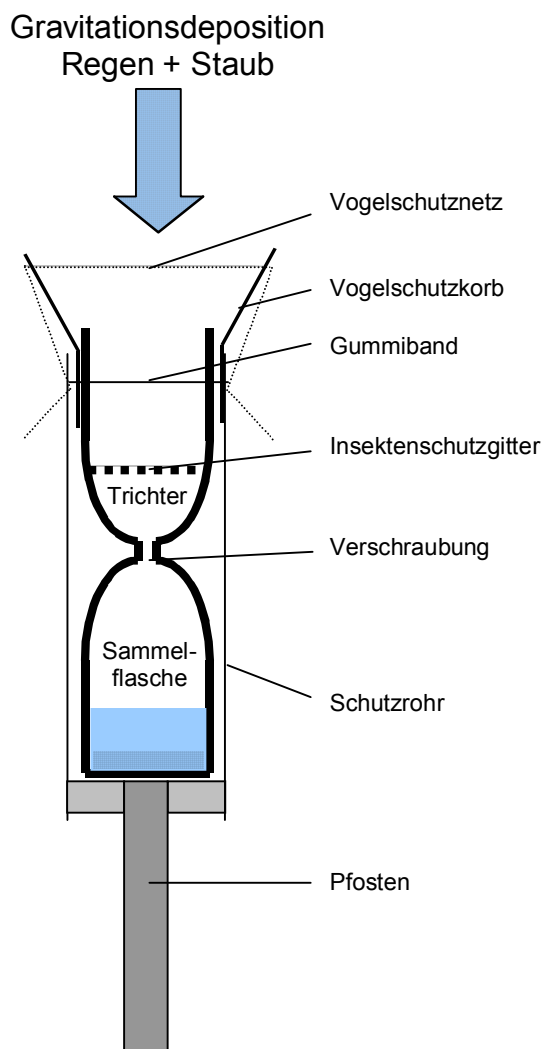


Abbildung 43 Methode zur Erfassung von Gesamtdeposition mit einem Bulkgerät (Gravitationsdeposition), schematische Skizze und Foto

Die Öffnung des Bulksammlers wird gewöhnlich 1.5 – 1.8 m über dem Boden angebracht und mit einem Vogelschutzkorb ausgerüstet. Zum Schutz vor Insekten und Pflanzenteilen wird im Trichter ein Netz aus rostfreiem Quadratmaschengewebe (Maschenweite: 3 mm, Drahtdurchmesser: 1 mm) angebracht. Da zum Teil Vogelkot im Trichter gefunden wurde, wurde ab 2003 zusätzlich ein grobmaschiges Netz über den Vogelschutzkorb befestigt, damit Vögel nicht allfällige Insekten im Trichter holen und dabei koten.

Flaschen, Trichter, Stahlgitter und Netz wurden nach jedem Wechsel gereinigt.

Die Bulkproben wurden vierwöchentlich oder monatlich gewechselt.

Die Stickstoffeinträge von Schänis wurden von der WSL im Rahmen der Langfristigen Waldökosystem-Forschung erhoben. Für Depositionsmessungen setzt die WSL im Sommer Regensammler (Bulksammler) ein, die aus einem tiefen Auffangtrichter aus Polyethylen mit einer Auffangfläche von  $100 \text{ cm}^2$  ( $\pm 0.5 \text{ cm}^2$ ) bestehen, der mit einer Probeflasche aus Polyethylen-Flasche mit einem Inhalt von 2 Litern verbunden. Die Auffangfläche wird mit einem Plexiglasverstärkungsring mit abgeschrägter Kante konstant gehalten. Eine kleine Scheibe aus Polyethylen am Grund des Trichters erlaubt, grobe Teilchen vorzufiltern. Ein zweiter Filter aus Polyesterweben ist am verengten Ende des Trichters platziert. Die Regensammler werden in ein PVC-Rohr gesteckt.

In Schänis wurden ab Winter 1998/99 anstelle der Regensammler Schneeeimer installiert, bestehend aus zwei übereinander gestülpten Plastikbeuteln in einem Polyethylen-Eimer (=Schnee-Eimer) von 300 mm ( $\pm 1$  mm) Durchmesser, welcher in einem PVC-Rohr steckt. Das Zentrum der Auffangfläche befand sich im Bestand 1.0 m und im Freiland 1.5 m ( $\pm 0.1$  m) über dem Boden.

## Berechnung

In der Gravitationsdeposition wird die Konzentration direkt gemessen. Die Frachtberechnung erfolgt analog der Nassdeposition.

### 5.3.3 Midefix (Denuder und Aerosolfilter)

Ammoniak wurde in der Schweiz bereits ab Mitte 1992 mit Denudern, Ammonium ab Anfang 1994 mit Aerosolfiltern an einzelnen Standorten gemessen. Denuder sind aktiv sammelnde, diskontinuierliche Verfahren (Ferm 1979, Alean-Kirkpatrick 1993, Fischer-Riedmann 1995, OSTLUFT 2004). Mit Unterstützung des Centre for Ecology and Hydrology in Edinburgh (CEH, Sutton et al. 2001) wurden die Denuder von der FUB zum Midefix – **Minidenuder-Filter**-Einheit weiterentwickelt, die wenn nötig auch ohne Netzstromanschluss betrieben werden können und einfacher zu handhaben und zu transportieren sind.

Ammoniak wird in einem laminar durchströmten, säurebeschichteten, 25 cm langen Minidenuder (Glasrohr) absorbiert. Partikelgebundenes Ammonium – mit einer um drei bis fünf Zehnerpotenzen (je nach Partikelgrösse) geringeren Diffusionsgeschwindigkeit – passiert den Denuder und wird am nachgeschalteten säurebeschichteten Filter abgelagert. Um laminare Strömung im Minidenudern zu gewährleisten, wird eine Einlaufstrecke (unbeschichtetes Glasrohr) von 5 cm vorgeschaltet. Um zu prüfen, ob Ammoniak vollständig vom Denuder erfasst wurde, wird ein 10 cm langer Kontrolldenuder zwischen Minidenuder und Filter geschaltet. Die Denuder-Filter-Einheit wird über eine Schnellkupplung mit der Gasuhr verbunden, welcher der Rotameter und die Pumpe nachgeschaltet sind. (Abbildung 44)

Einlaufstrecke, Minidenuder, Kontrolldenuder und Minifilter werden als Einheit verschickt, bei der Einlaufstrecke wird der Kunststoffverschluss entfernt und in den Probeneinlass gesteckt, die Filterseite kann über eine Schnellkupplung direkt mit der Gasuhr verbunden werden (Abbildung 45).

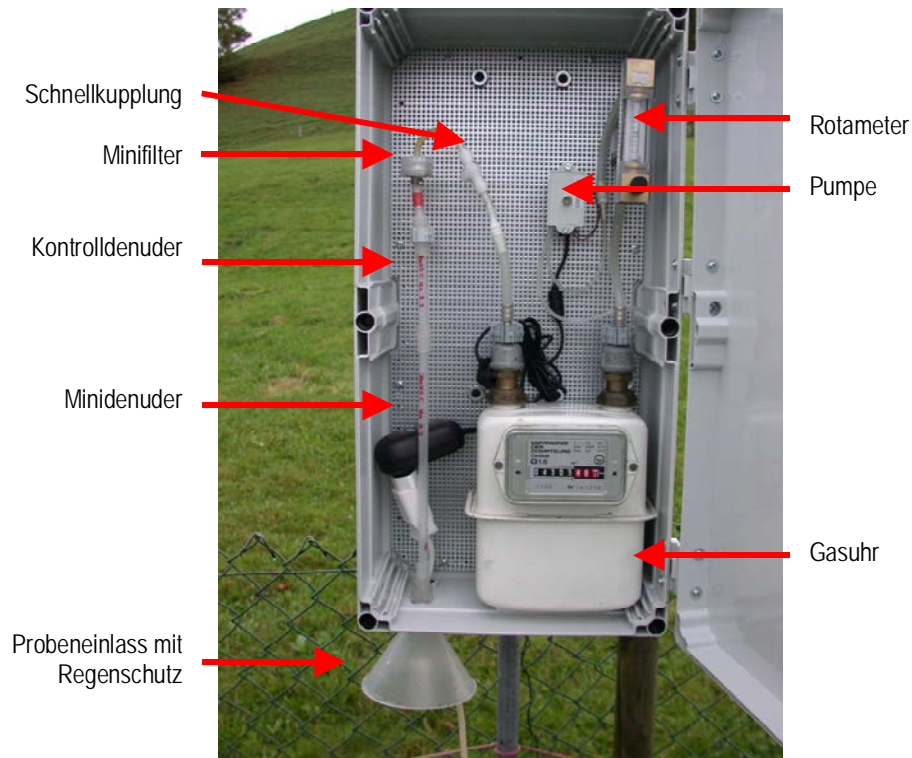


Abbildung 44 Bild eines offenen Denuderkastens mit Probeneinlass, Minidenuder, Kontrolldenuder, Minifilter, Gasuhr, Rotameter und Pumpe

Mit der gleichen Messanordnung, aber basisch beschichtet, kann auch Salpetersäure und Nitrat getrennt gesammelt werden.



Abbildung 45 Foto einer Messanordnung bestehend aus Einlaufstrecke E, Minidenuder MD, Kontrolldenuder KD, Minifilter MF und Schnellkupplung SK - Midefix

Denuder und Filter werden mit einem definierten Volumen Reinstwasser desorbiert. Die Filtereluate werden mikrofiltriert. Die Eluate werden ohne weitere Aufbereitung analysiert.

### Berechnung der Ammoniak und Salpetersäuredenuder

$$\rho_{\text{Gas,Luft}} = \frac{m_{\text{Ion}} \cdot M_{\text{Gas}}}{M_{\text{Ion}} \cdot V_{\text{Luft}}}$$

- $\rho_{\text{Gas,Luft}}$  = Konzentration von Ammoniak oder Salpetersäure in Luft  
 $m_{\text{Ion}}$  = Masse  $\text{NH}_4^+$  oder  $\text{NO}_3^-$ , das vom Denuder desorbiert wurde  
 $M_{\text{Gas}}$  = Molare Masse von  $\text{NH}_3$  oder  $\text{HNO}_3$   
 $M_{\text{Ion}}$  = Molare Masse von  $\text{NH}_4^+$  oder  $\text{NO}_3^-$   
 $V_{\text{Luft}}$  = Durchgesetztes Luftvolumen

### Berechnung der Ammonium und Nitratfilter

$$\rho_{\text{Ion,Luft}} = \frac{m_{\text{Ion}}}{V_{\text{Luft}}}$$

- $\rho_{\text{Ion,Luft}}$  = Konzentration von Ammonium oder Nitrat in Luft  
 $m_{\text{Ion}}$  = Masse  $\text{NH}_4^+$  oder  $\text{NO}_3^-$ , das vom Filter desorbiert wurde  
 $V_{\text{Luft}}$  = Durchgesetztes Luftvolumen

#### 5.3.4 Passivsammler für Ammoniakmessung

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

#### Zürcher Passivsammler

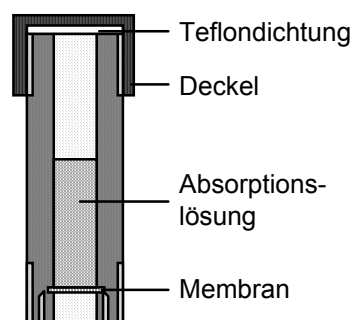


Abbildung 46 links Zürcher-Passivsammler, schematisch dargestellt, Höhe 64 mm, Durchmesser aussen 20 mm, Durchmesser innen 9 mm

rechts Zürcher-Passivsammler in aufgeschnittener Schutzbüchse

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. Nefel (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 Felddauglichkeit für Immissionsmessungen weiterentwickelt. (Thöni et al. 2004)

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  $\mu\text{m}$ ) von der Umgebungsluft getrennt ist; als Frostschutz wird 20% Ethylenglykol beigegeben. Der Diffusionsweg beträgt 7 mm. In Abbildung 46 wird der Passivsammler schematisch sowie als Bild (aufgeschnittenen Aufhängevorrichtung) dargestellt.

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

$M_{\text{NH}_3}$  = Molare Masse von  $\text{NH}_3$

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

$R$  = 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



## 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 47). Eine genaue Beschreibung kann bei der Fondazione Salvatore Maugeri (fsmptd@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.

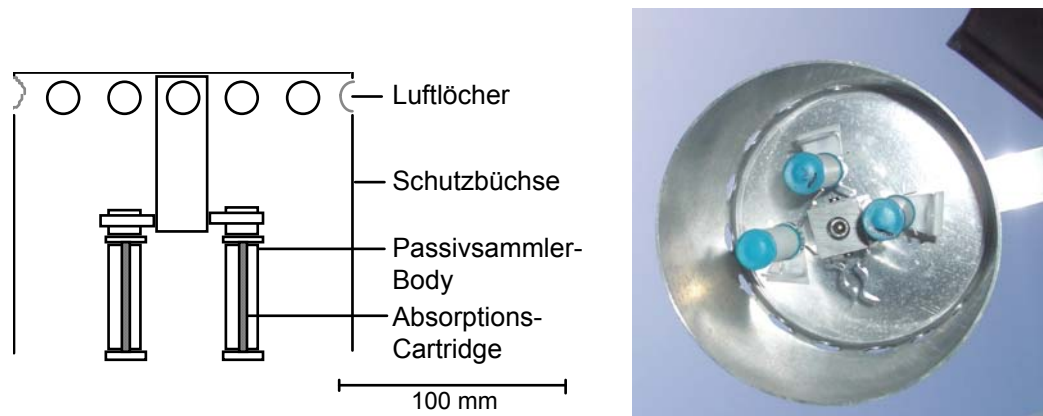


Abbildung 47 links Schema des Radiello Passivsammlers, Gesamtlänge 65 mm mit Schutzbüchse, die gleichzeitig als Aufhängevorrichtung dient.  
rechts Radiello Passivsammler mit Schutzbüchse von unten

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.

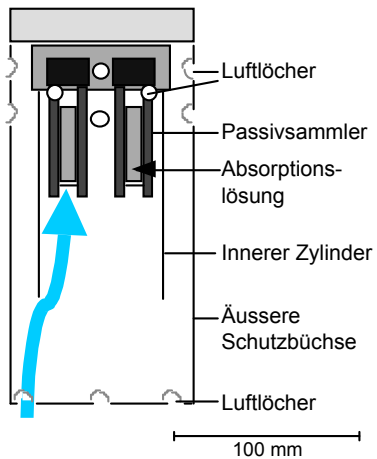
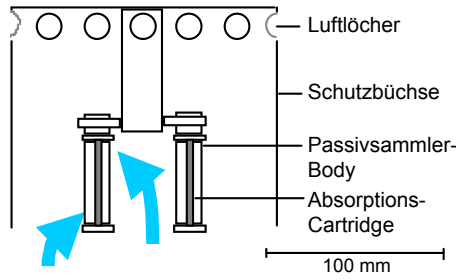
## Berechnung

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

- $\rho_{\text{NH}_3, \text{Luft}}$  = Konzentration von Ammoniak in Luft  
 $m_{\text{NH}_4^+}$  = Masse Ammonium, das von der Cartridge desorbiert wurde  
 $M_{\text{NH}_3}$  = Molare Masse von  $\text{NH}_3$   
 $M_{\text{NH}_4^+}$  = Molare Masse von  $\text{NH}_4^+$   
 $Q$  = Sammelrate bei 293 K und 1013 hPa  
 $t$  = Zeit der Exposition

## Beide Sammler im Vergleich

Tabelle 4 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 <sup>2</sup>	2300 mm <sup>2</sup>
Empirisch ermittelte Diffusionsstrecke	10.2 mm	18 mm
Sammelrate Q	8.7 cm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>	235 cm <sup>3</sup> min <sup>-1</sup>
Linearer Sammelbereich	6'000 - 5'000'000 µg m <sup>-3</sup> min NH <sub>3</sub>	2'000 - 7'000'000 µg m <sup>-3</sup> min NH <sub>3</sub>
theor. max. Sammeldauer bei 100 µg m <sup>-3</sup> NH <sub>3</sub>	30 Tage	50 Tage
Messprinzip	selektive Bestimmung von NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> in der flüssigen Phase (Ionenchromatografie)	selektive Bestimmung von NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> im Absorptionsextrakt (Ionenchromatografie, Fließinjektionsanalyse)

## 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 Minidensurern ca. 10% tiefere Werte messen (Abbildung 48).

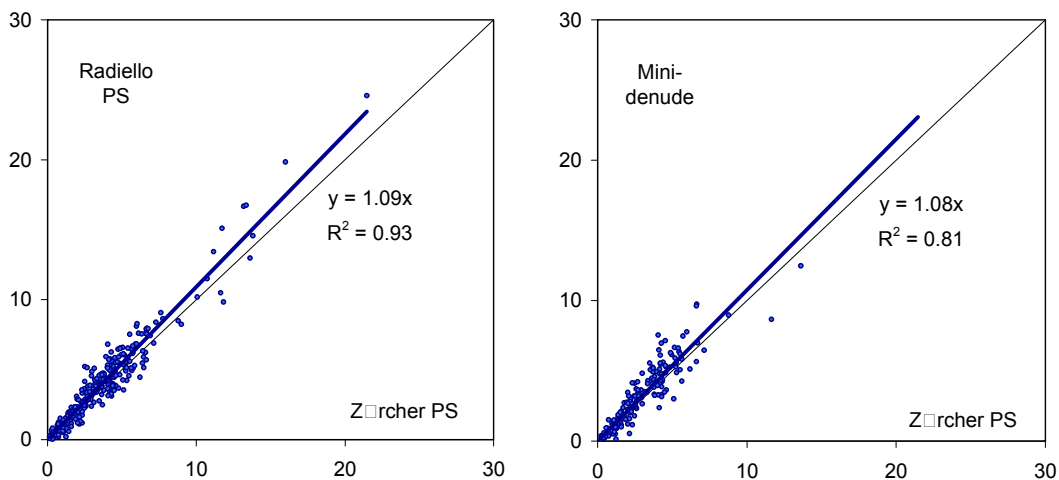


Abbildung 48 Vergleich der Zürcher-Passivsammler mit Radiello Passivsammlern (links) und Minidenudern (rechts), Werte in  $\mu\text{g m}^{-3}$

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

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

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

Abbildung 49 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.

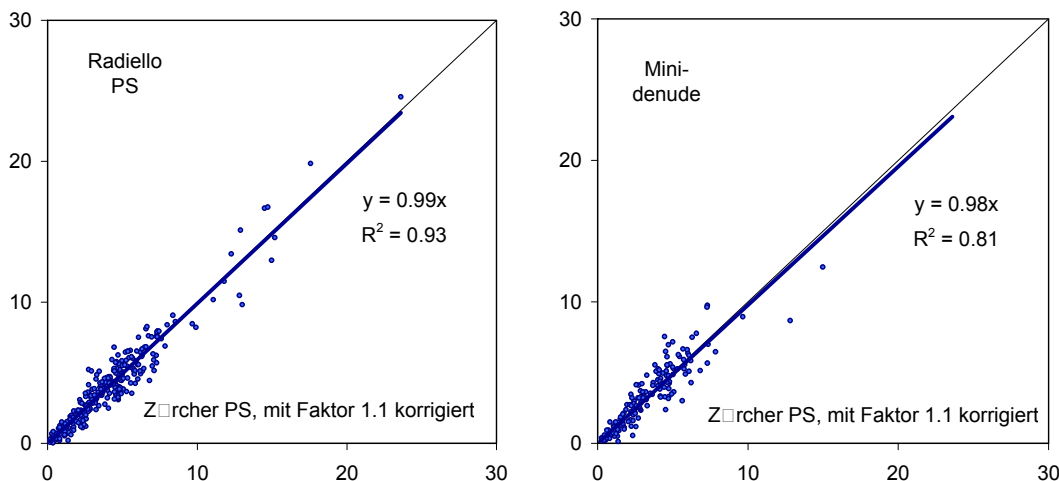


Abbildung 49 Vergleich der Zürcher-Passivsammler mit Radiello Passivsammlern (links) und Minidenudern (rechts) nach Anwendung des Korrekturfaktors für die Zürcher Werte, Werte in  $\mu\text{g m}^{-3}$

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

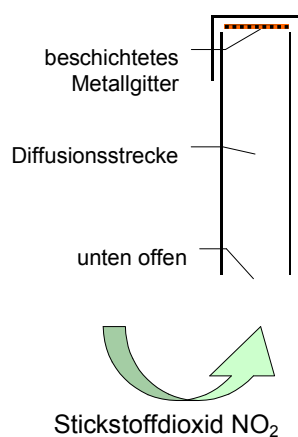
Die Radiello Passivsammler erwiesen sich als das qualitativ bessere System mit deutlich höherer Sammelrate (siehe Tabelle 4), weniger Ausfällen, tieferer Standardabweichung und Bestimmungsgrenze als die Zürcher Passivsammler (Tabelle 5).

Tabelle 5 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 <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.5 - 8 mg l <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Sammelbereich 2 Wochen exponiert	0.3 - 250 µg m <sup>-3</sup> NH <sub>3</sub>	0.1 - 1'000 µg m <sup>-3</sup> NH <sub>3</sub>
Ausreisser	1.8%	1.8%
Ausfälle	2.3%	0.8%
Standardabweichung der Dreifachbestimmung	±8%	±5.5%
Bestimmungsgrenze (2 Wochen, Feldblind)	0.67 µg m <sup>-3</sup>	0.32 µg m <sup>-3</sup>
Vertrauensbereich (95%) der Jahresmittel, Median	0.08 µg m <sup>-3</sup>	0.06 µg m <sup>-3</sup>
Richtigkeit	Methodenvergleich (Denuder)	Methodenvergleich (Denuder)

### 5.3.5 Passivsammler für NO<sub>2</sub>-Messung

Passivsammler nach Palmes bis 2001



UGZ-Passivsammler nach Palmes ab 2002

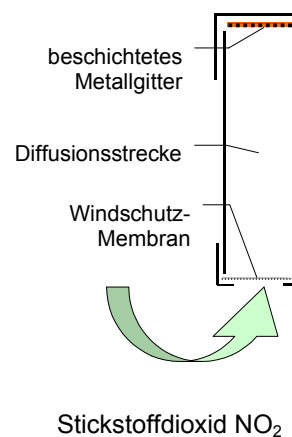


Abbildung 50 Methode zur Erfassung von NO<sub>2</sub> mit Passivsammlern mit und ohne Windschutz, Schematische Skizzen

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) (Abbildung 50).

Die beiden Sammlertypen geben sehr gut übereinstimmende  $\text{NO}_2$ -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.

### Berechnung

$$\rho_{\text{NO}_2, \text{Luft}} = \frac{m_{\text{NO}_2, \text{PS}} \cdot l_{\text{PS}}}{A_{\text{PS}} \cdot D_{\text{NO}_2} \cdot t}$$

- $\rho_{\text{NO}_2, \text{Luft}}$  = Konzentration von Stickstoffdioxid in Luft  
 $m_{\text{NO}_2, \text{PS}}$  = Masse  $\text{NO}_2$ , das vom Passivsammler desorbiert wurde  
 $l_{\text{PS}}$  = Länge der Diffusionsstrecke  
 $A_{\text{PS}}$  = Fläche der Diffusionsöffnung  
 $D_{\text{NO}_2}$  = Diffusionskoeffizient von  $\text{NO}_2$   
 $t$  = Zeit der Exposition

### 5.3.6 Staubsammler nach Bergerhoff, Metalle



Die Staubsammlung wird nach der VDI-Richtlinie 2119, Blatt 2, resp. nach VDI 4320, Blatt 2, welche 2009/2010 in Bearbeitung ist und die VDI 2119 ersetzen wird, durchgeführt. Die Metalle werden nach der VDI-Richtlinie 2267, Blatt 15 gemessen. Für den Aufschluss wird die Variante C genommen.

Abbildung 51 Bergerhoff am Standort Ap.-Steinegg

### Berechnung

$$F_x = \frac{m_x}{A_{\text{BH}} \cdot t}$$

X	=	Staub oder Schwermetall
F <sub>X</sub>	=	Geamtstaubfracht oder Schwermetallfracht
m <sub>X</sub>	=	Masse Staub oder SM pro Topf
A <sub>BH</sub>	=	Fläche der Gefässöffnung
t	=	Zeit der Exposition

## 5.4 Probevorbereitung und Spurenanalytik

Bei allen Handlungen muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass die Proben nicht kontaminiert werden.

Wiederverwendbare Probegefässe und -geräte werden gründlich mechanisch gereinigt. Gefässe zur Bestimmung der Ionen und NO<sub>2</sub> werden mit Reinstwasser behandelt. Werden Schwermetalle bestimmt, werden die Gefässe mit Säure vorbehandelt. Denuder werden für die Ammoniaksammlung mit KOH 0.5 M, für die Salpetersäuresammlung mit Phosphorsäure 0.5 M behandelt. Alle Geräte werden dann mehrmals mit Reinstwasser gespült. Die Filter für Ammonium- und Nitratbestimmung werden vorgängig mit Reinstwasser gewaschen.

Die Bulkproben werden ohne weitere Vorbehandlung analysiert. Bei sichtbarem Schwebstoffgehalt werden sie mikrofiltriert. Die Filter für Ammonium- und Nitratbestimmung werden nach der Ultraschallbad-Eluation mikrofiltriert. Die Eluate der Denuder und Passivsammler werden direkt analysiert.

### Messtechnik

- pH-Messung mit Metrohm pH Meter 654 und Orion ROSS pH Elektrode für ionenarme Lösungen
- Leitfähigkeitsmessung mit Metrohm Conductometer 660 und Metrohm Pi-pettenmesszelle
- NO<sub>2</sub>-Bestimmung mit Photometer PerkinElmer Lambda 25
- Ammonium mit Fliessinjektionsanalysator Foss FIAstar 5000 Analyser, bestehend aus automatischem Probegeber, Injektionsventil, peristaltischer Pumpe, Mischstrecke, Gasdiffusionsmembrane, Durchflussküvetten und Detektion durch UV/VIS-Photometrie (SN EN ISO 11732)
- Kationen und Anionen mit isokratischer Elution, mit Ionenchromatografie System ICS-1000 von Dionex, bestehend aus Probegeber, Injektionsventil, Pumpe, Vor- und Trennsäule, Suppression und Leitfähigkeitsdetektion (Kationen: SN EN ISO 14911)
- Schwermetalle mit ICP-MS bei Niutec in Winterthur

## 5.5 Qualitätssicherung

Die Qualität der Messungen wurde mit der Bestimmung von Blindwerten und Referenzmaterial, sowie der Ermittlung der Leitfähigkeits- und Ionenbilanz kontrolliert. In der Regel wurden Doppel- und Dreifachproben genommen. Ausserdem wurden verschiedene Methoden miteinander verglichen. (Tabelle 6)

Tabelle 6 Übersicht über die Qualitätssicherungsmassnahmen

	Anzahl exp. Proben pro Standort + Periode	Blindwerte	Nachweisgrenzen	zertifiziertes Referenzmaterial	Vergleich mit anderen Verfahren	Vergleich mit anderen Labors	andere
NH3 PS	3	x	x		Minidenuder	x	
NO2 PS	3	x	x		kont. Verfahren	x	
Minidenuder NH <sub>3</sub>	1 (TAE) 2 (BA)	x	x		NH3 PS	x	Kontrolldenuder
Minifilter NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1 (TAE) 2 (BA)	x	x			x	
Minidenuder HNO <sub>3</sub>	1	x	x			x	
Minifilter NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1	x	x			x	
Bulk	2	x	x	x	wet & dry		Leitfähigkeits- und Ionenbilanz Trichter Analyse
Bergerhoff	2	x	x	x			Wiederfindung

### 5.5.1 Mehrfachproben

Von den NO<sub>2</sub>- und NH<sub>3</sub>-Passivsammlern wurden, wie auch von EMEP und Cercl'Air empfohlen (Cercl'Air 2004), jeweils drei an jedem Standort parallel aufgehängt. Dies erlaubt es, Ausreisser zu identifizieren.

Es wurden jeweils zwei Bulk- und Bergerhoff-Sammler nebeneinander exponiert. Die Proben wurden getrennt analysiert und erst dann gemittelt. Proben, die trotz Vogel- und Insektenschutzmassnahmen verschmutzt waren wurden ausgeschlossen.

Tabelle 7 Relative Standardabweichungen

	Bulk: je 2 parallel exponiert									
	LF	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (FIA)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (IC)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
relative Standardabweichung	6	11	4	9	10	10	12	22	9	7
Anzahl Doppelproben	62	62	62	62	62	62	62	62	62	62
	Passivsammler: je 3 parallel exponiert				Bergerhoff: je 2 parallel exponiert					
	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	Staub	Cd	Pb	Zn	Cu			
relative Standardabweichung	3	1	4	12	20	6	3			
Anzahl Doppelproben	239	77	24	16	24	24	16			
	Minidenuder und Minifilter: Einzelprobe, Mehrfachanalyse									
	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>						
relative Standardabweichung	3	3	3	2						
Anzahl Proben	45	42	45	42						

Pro Standort und Periode wurde ein Minidenuder und Minifilter für die oxidierten, und einer für die reduzierten Komponenten exponiert. Die Eluate wurden zweimal analysiert.

Die relativen Standardabweichungen der Mehrfachbestimmungen und – bei Einzelproben Mehrfachanalysen – sind in Tabelle 7 aufgelistet.

### 5.5.2 Transport-Blindwerte

Blindproben wurden parallel zu den Proben im Feld transportiert, mitbehandelt und analysiert. In Tabelle 8 sind die Blindwerte mit den jeweiligen Messwerten verglichen. Die Blindwerte wurden von den Analysewerten abgezogen (Ausnahme pH, Leitfähigkeit und NO<sub>2</sub>). Sie sind im Vergleich zu den Proben meist niedrig.

Tabelle 8 Blindwerte im Vergleich zu den Proben

		Gravitationsdeposition im Bulk										
		pH	LF	Cl <sup>-</sup> µg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µg l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> µg l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (FIA) µg l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (IC) µg l <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> µg l <sup>-1</sup>	K <sup>+</sup> µg l <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> µg l <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup> µg l <sup>-1</sup>
Blinds	Mittelwert	5.3	3	28	62	51	10	2	2	1	5	8
	SD	0.1	0	9	8	18	8	3	3	1	3	14
	Anzahl	6	7	4	3	3	4	8	8	8	8	8
	% vom Minimalwert		52	41	9	14	3	1	13	4	24	7
	% vom Median		24	9	3	6	1	0	1	1	7	1
Proben	Mittelwert	7.1	40	1'219	1'959	1'399	1'013	973	766	132	97	1'512
	Minimalwert	4.8	6	70	722	362	312	296	15	23	21	117
	Median	7.3	12	299	1'866	872	902	865	140	77	70	665
	Maximalwert	8.5	1'752	19'283	4'450	8'836	3'673	3'185	10'128	1'082	486	14'953
	Anzahl	152	162	258	263	262	183	247	239	244	244	245
		Passivsammler		Minidenuder		Minifilter		Bergerhoff				
		NH <sub>3</sub> µg l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> abs	NH <sub>3</sub> µg l <sup>-1</sup>	HNO <sub>3</sub> µg l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> µg l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> µg l <sup>-1</sup>	Staub mg Topf <sup>-1</sup>	Cd µg l <sup>-1</sup>	Pb µg l <sup>-1</sup>	Zn µg l <sup>-1</sup>	Cu µg l <sup>-1</sup>
Blinds	Mittelwert	78	0.004	64	115	95	337	0.0	<0.5	<5	<10	<5
	SD	44	0.002	59	110	17	133	0.7	0	0	0	0
	Anzahl	69	40	49	34	22	13	3	3	3	3	3
	% vom Minimalwert	74	7	9	42	18	30					
	% vom Median	3	2	2	9	7	11					
Proben	Mittelwert	3'935	0.278	4'121	1'365	1'723	4'451	13.5	1.0	77	773	534
	Minimalwert	105	0.056	706	276	524	1'130	0.6	<0.5	10	84	30
	Median	3'044	0.197	3'752	1'223	1'314	3'019	9.3	0.8	30	230	145
	Maximalwert	13'348	0.616	14'084	3'757	7'650	21'339	53.9	1.9	728	3'820	2'270
	Anzahl	716	234	105	91	110	87	145	34	48	48	32

### 5.5.3 Nachweis- und Bestimmungsgrenzen

Die Nachweis- und Bestimmungsgrenze der Messverfahren wurde gemäss Empfehlung der SN EN 13528-2 (2002) bestimmt.

Nachweisgrenze: 3 x Standardabweichung der Blindwerte

Bestimmungsgrenze: 10 x Standardabweichung der Blindwerte

Dazu wurden Transportblindproben analysiert und die Standardabweichung der Einzelwerte berechnet.

Um die Nachweisgrenzen der Gase und Aerosole mit den gemessenen Konzentrationen in der Luft vergleichen zu können, wurden sie je mit einer mittleren Expositionszeit von 14 + 30 Tagen berechnet. Um die Nachweisgrenzen der Ionen mit den Depositionsfrachten in den Proben vergleichen zu können, wurden sie je mit tiefen, mittleren und hohen monatlichen Niederschlagshöhen berechnet. Schwermetalle



konnten in Bergerhoffblindproben nicht nachgewiesen werden, es sind analytische Bestimmungsgrenzen angegeben. (Tabelle 9)

Tabelle 9 Nachweisgrenzen

	Bulk		Bulk		Bulk		Bulk		Bulk		Bulk	
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (FIA)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (IC)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>			
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>
10 mm tiefer Monatswert	0.003	0.002	0.005	0.003	0.001	0.001	0.000	0.001	0.004			
75 mm mittlerer Monatswert	0.021	0.017	0.041	0.019	0.006	0.006	0.002	0.006	0.031			
250 mm hoher Monatswert	0.070	0.057	0.135	0.063	0.020	0.021	0.007	0.020	0.102			
	PS	PS	MD	MD	MF	MF	Bergerhoff					
	NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	HNO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Staub	Cd	Pb	Zn	Cu	
	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	µg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	µg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	µg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	µg m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	
14 Tage Exposition	0.27	0.6	0.2	0.3	0.05	0.4						
30 Tage Exposition	0.12	0.3	0.1	0.1	0.02	0.2						
3*30 Tage Exposition							2.7	0.06	0.63	1.3	0.63	
							Schwermetalle: Analytische Bestimmungsgrenze					

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.

#### 5.5.4 Vergleich mit zertifiziertem Referenzmaterial

Ein Standardreferenzmaterial aus simuliertem Regenwasser wurde analysiert. Die Übereinstimmung der gemessenen mit den zertifizierten Werten war gut (Tabelle 10).

Tabelle 10 Messung von Standardreferenzmaterial, simuliertes Regenwasser CRM 408 von CEC bcr (1993). Die Sollwerte mit Standardabweichung sind zertifiziert.

		an der Zertifizierung beteiligte Labors						Zert. Wert		FUB	FUB	anderes
		Anzahl	Min-Wert		Max-Wert		c	CI	2003	2008	CH Labor	
			c	SD	c	SD			c	c	c	
		µg kg <sup>-1</sup>		µg kg <sup>-1</sup>		µg kg <sup>-1</sup>	±	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>	µg kg <sup>-1</sup>		
Hydronium	H <sup>+</sup>					16.6				17.0		
Natrium	Na <sup>+</sup>	17	0.93	0.01	1.00	0.02	0.01	0.97	0.96	0.97	1.2	
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>					(0.38)		0.36	0.37	0.37	0.37	
Kalium	K <sup>+</sup>					(0.090)		0.093	0.092	0.093	<0.10	
Magnesium	Mg <sup>2+</sup>	19	0.134	0.005	0.160	0.013	0.003	0.149	0.139	0.142	0.140	
Calcium	Ca <sup>2+</sup>	18	0.287	0.022	0.323	0.009	0.004	0.308	0.340	0.296	0.290	
Chlorid	Cl <sup>-</sup>	20	2.31	0.06	2.49	0.06	0.02	2.39	2.66	2.40	2.4	
Nitrat	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	18	1.16	0.03	1.30	0.05	0.02	1.25	1.06	1.17	1.1	
Sulfat	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	18	0.92	0.02	1.10	0.03	0.03	1.01	0.94	0.90	1.1	

Ein zertifizierter Staub wurde mehrmals in Bergerhoff-Töpfe eingewogen, mit Wasser versetzt und wie eine Bergerhoff-Probe aufbereitet und analysiert (Tabelle 11).

Tabelle 11 Wiederfindung von zertifizierten Stäuben (Standard Reference Material 1648: Urban Particulate Matter [NIST]) im Bergerhofftopf.

Periode	gemess. Einwaage	Auswaage	Staub Wiederf.	Cd	Cd	Pb	Pb	Zn	Zn	Cu	Cu	Bemerkungen	
				$\mu\text{g g}^{-1}$	Wiederf.	$\mu\text{g g}^{-1}$	Wiederf.	$\mu\text{g g}^{-1}$	Wiederf.	$\mu\text{g g}^{-1}$	Wiederf.		
	mg Topf <sup>1</sup>	mg Topf <sup>1</sup>	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
<b>Zertifizierter Wert (NIST 1648)</b>				<b>75</b>		<b>6550</b>		<b>4760</b>		<b>609</b>			
Jan - März	2003	51.7	47.9	93	69	92	6419	98	4452	94		—	
Apr-Jun	2003	12.3	12.4	100								keine Schwermetallanalyse	
Apr-Jun	2003	10.8	11.7	109	68	91	6233	95	4670	98		—	
Juli-Sept	2003	19.4	18.9	97	73	97	6353	97	4763	100		—	
Okt-Dez	2003	14.2	13.3	93	69	93	6271	96	4768	100		—	
Mittlere Wiederfindung 2003				99		93		96		98			
Juni	2008	9.1	8.0	88	67	89	6044	92	4703	99	637	105	—
April	2008	11.3	12.2	108	73	98	6602	101	4929	104	584	96	leicht bräunlich
August	2008	9.0	9.4	104	68	90	6011	92	4611	97	856	140	
Oktober	2008	15.8	15.1	96	70	93	5924	90	4437	93	601	99	
Dezember	2008	12.2	9.6	79	70	93	5951	91	4598	97	590	97	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -Aufschluss
Mittlere Wiederfindung 2008				99		93		94		98		110	
											ohne August	99	

### 5.5.5 Vergleich mit anderen Messverfahren

Abbildung 52 zeigt die Ammoniak-Vergleichswerte zwischen den Radiello Passivsammlern und den Minidenundern, welche an den sieben Standorten Bachtel, Härkingen, Oensingen, Rigi, Payerne, Karlsruhe und Braunschweig erhoben wurden.

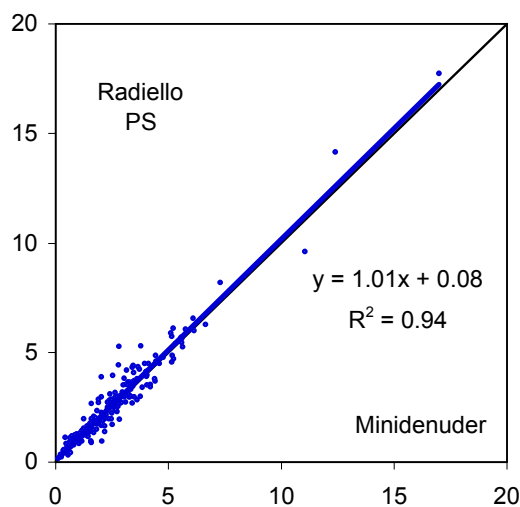


Abbildung 52 Vergleich der Radiello- mit Minidenundermessungen, Werte von 2008, Ammoniak in Luft:  $\mu\text{g m}^{-3}$

NO<sub>2</sub>-Passivsammler wurden mit kontinuierlichen Messungen verglichen. Abbildung 53 zeigt die Vergleichswerte, welche an den sieben Standorten in der Schweiz erhoben wurden.

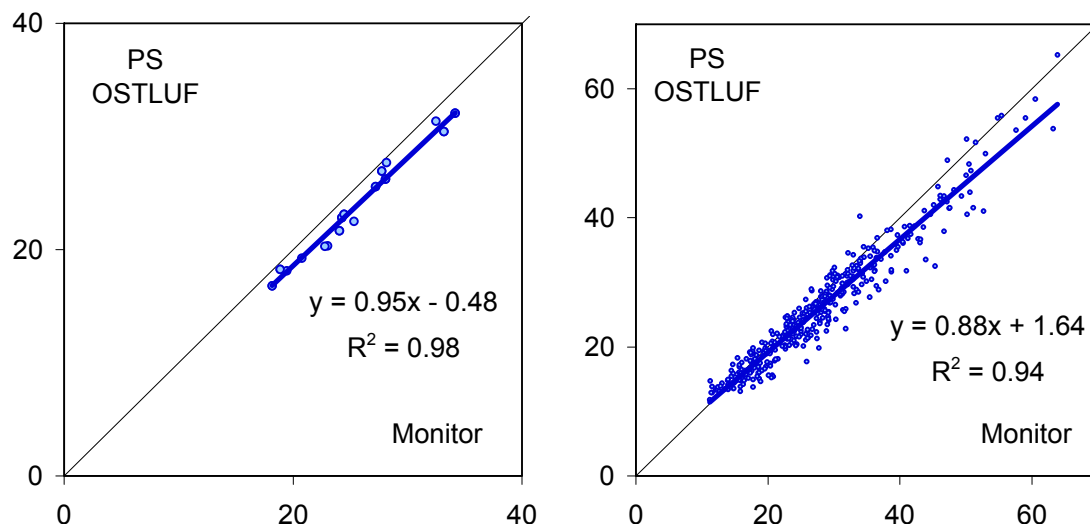


Abbildung 53 Vergleich von NO<sub>2</sub>-Passivsammlern mit kontinuierlichen Messungen, Werte von 2002 - 2004, NO<sub>2</sub> in Luft. Einheit: µg m<sup>-3</sup>  
 links Jahresmittelwerte rechts Einzelwerte

In Abbildung 54 werden die aufsummierten Frachten aus Nass- und Trockendeposition (wet & dry) mit den Frachten, die mit dem Bulk bestimmt wurden, verglichen. Die Übereinstimmung ist im Allgemeinen gut, wobei im Bulk im Mittel leicht mehr Nitrat und Ammonium gefunden wurde.

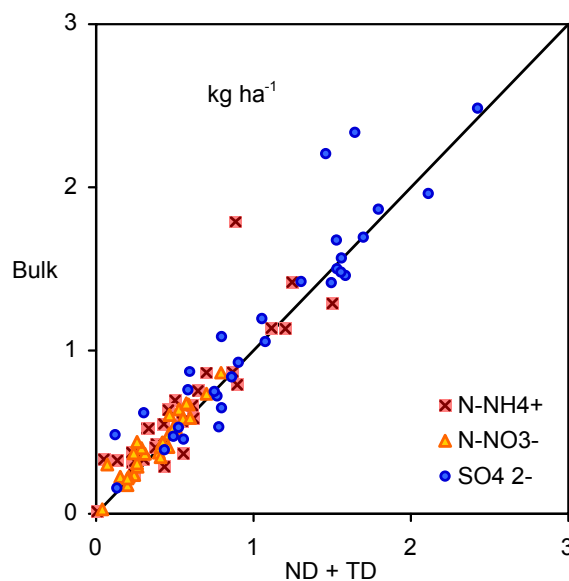


Abbildung 54 N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>- und Sulfatfrachten in der aufsummierten Nass- und Trockendeposition verglichen mit Bulk (Vierwochenproben), Werte von 2003, kg ha<sup>-1</sup>

### 5.5.6 Vergleich mit anderen Labors

Die FUB führt laufend Vergleichsmessungen mit anderen Labors durch. Zum Beispiel wurden zur Erarbeitung von experimentellen Daten für die Erstellung der VDI-Richtlinien VDI 3869 „Messung von Ammoniak in der Außenluft“ von April 2005 bis Dezember 2008 auf dem Messfeld der damaligen Forschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) in Braunschweig, Deutschland Parallelmessungen mit unterschiedlichen Aktiv- und Passiv-Sammlern vorgenommen, die Aufschluss über die Eignung und die

Verfahrenskenngrößen geben. Untersucht wurden verschiedene Denuder- und Denuder-Filter-Sammler (NUPS, DELTA, Midifix von FUB, KAPS) sowie radialsymmetrische (Radiello von FUB gemessen) und zylindrische (IVL) Passiv-Sammler. (Dämmgen et al. 2010)

Ein Laborvergleich von Ionenmessungen in Niederschlagsproben ist in Kapitel 5.5.4 dokumentiert.

### 5.5.7 Ionen- und Leitfähigkeitsbilanz

Der Vergleich der Kationensumme mit der Anionensumme sowie der Vergleich der Leitfähigkeit, errechnet aus den analytisch bestimmten Ionen, mit der gemessenen Leitfähigkeit, je in Nassdeposition ermittelt, gibt Aufschluss über die allgemeine analytische Qualität.

Die errechnete Leitfähigkeit stimmte gut mit der gemessenen überein (Abbildung 55).

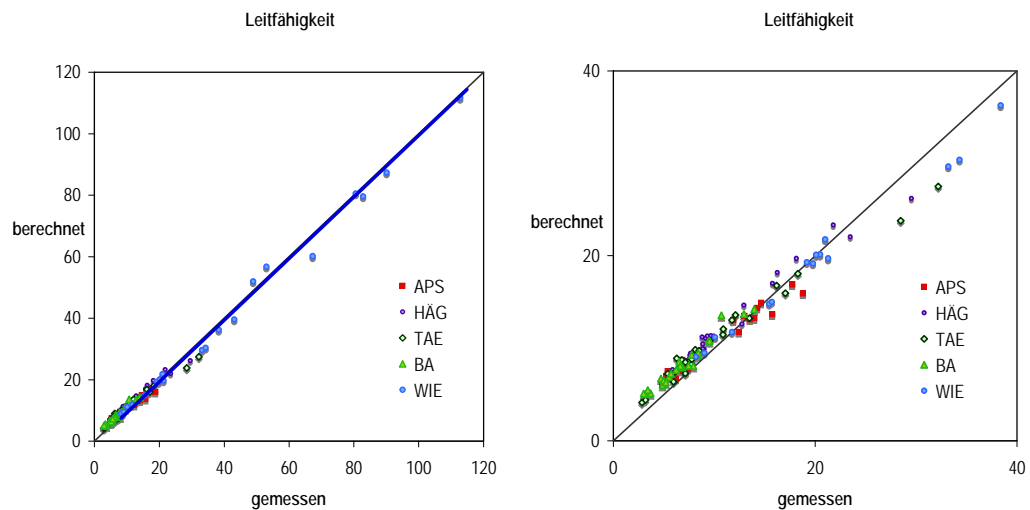


Abbildung 55 Leitfähigkeitsbilanz der Bulk-Depositionen an fünf Standorten, Darstellung mit zwei verschiedenen Skalen, Werte von 2008

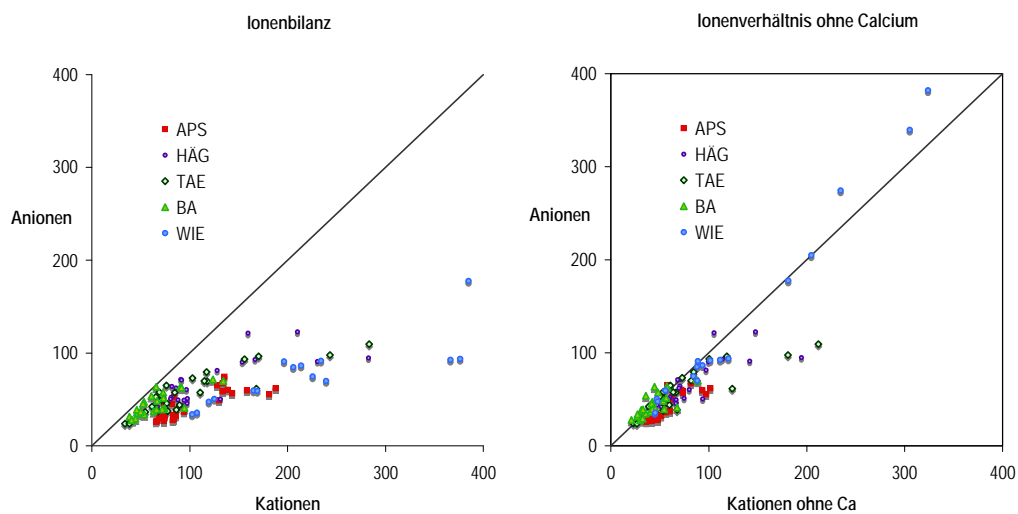


Abbildung 56 Ionenbilanz, links mit den Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat gegen die Kationen Oxonium, Natrium, Ammonium, Kalium, Calcium und Magnesium aufgetragen, rechts ohne Calcium, Werte von 2008

Es ist zu beachten, dass die analysierten Anionen und Kationen nur eine Auswahl der hauptsächlichen Bestandteile des Regens darstellen. Bei der Ionenbilanz der gemessenen Bestandteile überwogen, wie schon in den früheren Jahren, die Kationen (Abbildung 56, links). Grosse Abweichungen waren vor allem bei Proben mit hohen Calciumwerten zu finden, die meistens auch pH-Werte von >5 aufwiesen (siehe auch EMPA 2007). In Fisseha et al. 2006 wurden in Zürich Mono-, Di- und Tricarbonensäuren in Gas- und Aerosolproben gefunden.

Die Ionenbilanz stimmt gut, wenn den Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat nur die Kationen Oxonium, Natrium, Ammonium Kalium und Magnesium gegenübergestellt werden (Abbildung 56 rechts).

### 5.5.8 Kontrolldenuder

Bei den Denudermessungen 2008 in Bachtel und Tänikon wurde den Minidenudern je ein Kontrolldenuder in Serie nachgeschaltet. Bei Ammoniakmessungen schlugen durchschnittlich weniger als 1% auf den Kontrolldenuder durch, bei Salpetersäuremessungen sind es durchschnittlich 4%. Alle Kontrolldenuder-Messwerte liegen im Bereich der Nachweisgrenze. (Tabelle 12)

Tabelle 12 Vergleich von Minidenuder- und Kontrolldenuderwerten

Proben		Ammoniak			Salpetersäure		
		Minidenuder	Kontrolldenuder	% im KD	Minidenuder	Kontrolldenuder	% im KD
		$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$		$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	
	Mittelwert	3.2	0.0	0.3%	0.9	0.0	6%
	Minimalwert	0.3	0.0	-1.6%	0.2	0.0	-3%
	Median	3.1	0.0	0.2%	0.8	0.0	4%
	Maximalwert	9.1	0.0	6.3%	1.7	0.2	45%
	Anzahl	45	45	45	42	42	42

Negative Werte im Kontrolldenuder entstehen, wenn der Kontrolldenuderwert tiefer als der Blindwert des Kontrolldenuders ist.

### 5.5.9 Bulk Trichter Analyse

Tabelle 13 Anteil von der Masse der Ionen, die im Trichter gefunden wurden, verglichen mit der Masse der Ionen im dazugehörigen Bulk.

	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>Standort Bachtel</b>								
Mittelwert	4%	4%	4%	7%	6%	5%	4%	4%
Minimalwert	0%	1%	0%	1%	1%	2%	0%	1%
Median	3%	2%	2%	4%	3%	5%	2%	2%
Maximalwert	10%	22%	16%	20%	17%	9%	18%	14%
Anzahl Proben	12	12	12	12	12	12	12	12
<b>Standort Wiedikon</b>								
Mittelwert	8%	3%	10%	11%	11%	8%	9%	11%
Minimalwert	2%	1%	1%	2%	2%	3%	2%	3%
Median	6%	2%	6%	8%	6%	9%	7%	6%
Maximalwert	29%	7%	29%	39%	35%	13%	26%	46%
Anzahl Proben	14	14	14	14	14	14	14	14

Bei ausgewählten Standorten wurden die Trichter mit Reinstwasser ausgespült und die Ionen darin gemessen. Am Standort Bachtel wurden durchschnittlich 4 – 7%, bei

Wiedikon 3 – 11% Masseanteil an Ionen, die im Bulk gefunden wurden, im dazugehörigen Trichter gefunden. (Tabelle 13)

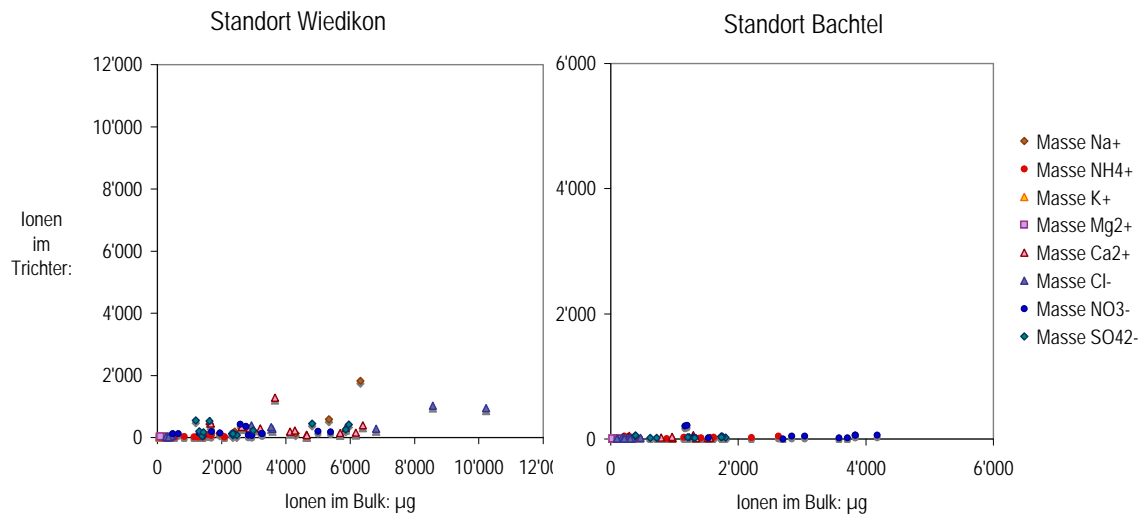


Abbildung 57 Ionen im Trichter, verglichen mit den Ionen im dazugehörigen Bulk. Werte von 2008.

Einzelne hohe Chlorid-, Natrium- und Calcium-Werte im Trichtereluat wurden v.a. im Winter in Wiedikon während der Streusalzausbringung gefunden. Ammonium- und Nitrat wurde nur wenig im Trichter gefunden. Die Trichtereluate wurden nicht zu den Bulkproben gegeben oder gerechnet.

## 5.6 Berechnung der Gesamtstickstoffeinträge

In Abbildung 58 sind Stickstoffkomponenten, und ihre Depositionsmechanismen dargestellt.

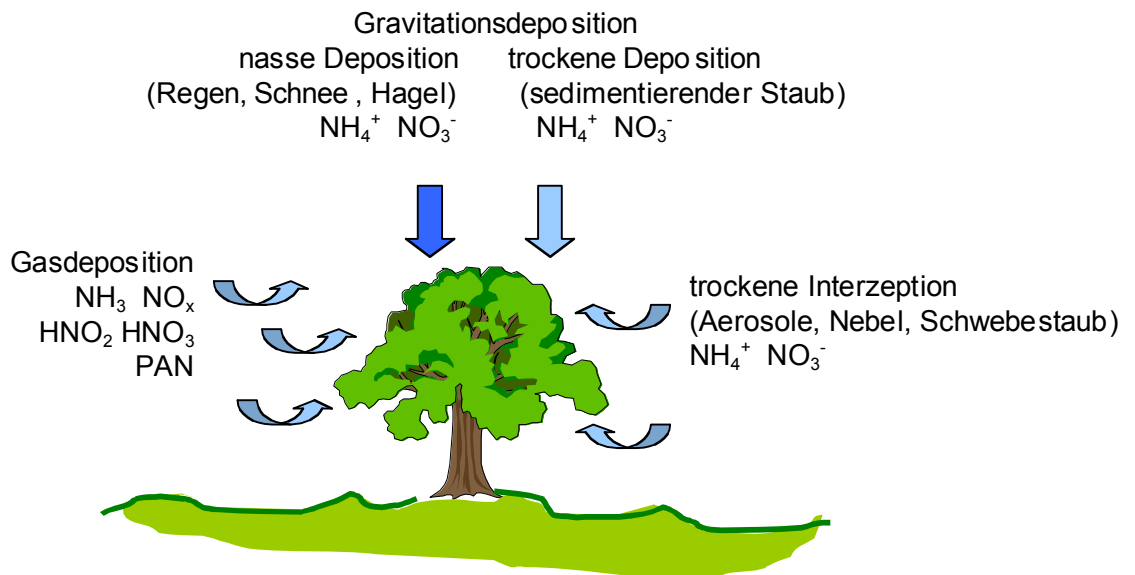


Abbildung 58 Stickstoffeinträge aus der Atmosphäre: Depositionsmechanismen

### 5.6.1 Von Konzentration zu Fracht – "inferential technique"

In den Jahren 2000 - 2003 wurden an den Stationen Wallisellen, Bachtel und Tänikon folgende sieben Komponenten mit aktiven Sammelmethode erfasst:  $\text{NH}_4^+$  und  $\text{NO}_3^-$  je in der nassen Gravitationsdeposition sowie in Aerosolen und die Gase  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{HNO}_3$ . Die trockene Gravitationsdeposition und die Gase  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{HNO}_2$  und PAN wurden nicht erfasst.

Zur Abschätzung des Eintrags von Stickstoffkomponenten konnte die gemessene Konzentration der nassen Deposition direkt in Fracht umgerechnet werden. Die Konzentrationen von gasförmigen und Aerosol-Stickstoffkomponenten in der Luft wurden je mit repräsentativen Depositionsgeschwindigkeiten gekoppelt (FOEFL 1996, angepasst an die Winterlänge der Standorte gemäss Fischer-Riedmann 1995). In früheren Arbeiten (vor 2001) wurden mittlere Depositionsgeschwindigkeiten nach Hurni (et al. 1993) verwendet, für diesen Bericht wurden die früheren Werte umgerechnet. Diese Annäherung an die Eintragsmenge wird als "inferential technique" bezeichnet (Sutton et al. 1994). In dieser Arbeit wurden die mittleren Jahres-Depositionsgeschwindigkeiten für "Feld" und "Wald" verwendet (Tabelle 14). "Feld" steht stellvertretend für halbnatürliche Grasgebiete (z.B. Streumagerwiesen, aber auch Hochmoore). Sowohl für die Einschätzung des Eintrages ins "Feld" wie in den "Wald" wurden nur Daten aus Messungen im Freiland verwendet.

Die Frachten der sieben erfassten Komponenten wurden summiert.

Tabelle 14 *Verwendete Depositionsgeschwindigkeiten*

Standort	Depositionsgeschwindigkeiten für "Feld" $\text{mm s}^{-1}$						
	APS	HAG	TAE	SCH	BA	WAL	WIE
Höhe m ü. M.	820	555	540	630	930	470	430
trockene Interzeption	mittlere Jahreswerte						
$\text{NH}_4^+$			1		2	1	Abhängig von Höhe
$\text{NO}_3^-$			1		2	1	Abhängig von Höhe
gasförmige Interzeption	mittlere Jahreswerte						
$\text{NO}_2$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\text{NH}_3$	11	11	11	11	10	11	11
$\text{HNO}_3$	15	15	15	15	15	15	15
gasförmige Interzeption	nicht Vegetationsperiode						
$\text{NO}_2$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$\text{NH}_3$	3	3	3	3	3	3	3
gasförmige Interzeption	Vegetationsperiode						
$\text{NO}_2$	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
$\text{NH}_3$	15	15	15	15	15	15	15
Depositionsgeschwindigkeiten für "Laubwald" $\text{mm s}^{-1}$							
trockene Interzeption	mittlere Jahreswerte						
$\text{NH}_4^+$			1.5		3	1.5	Abhängig von Höhe
$\text{NO}_3^-$			1.5		3	1.5	Abhängig von Höhe
gasförmige Interzeption	mittlere Jahreswerte						
$\text{NO}_2$	3	3	3	3	3	3	3
$\text{NH}_3$	22	23	23	23	20	23	23
$\text{HNO}_3$	15	15	15	15	15	15	15
gasförmige Interzeption	nicht Vegetationsperiode						
$\text{NO}_2$	1	1	1	1	1	1	1
$\text{NH}_3$	6	6	6	6	6	6	6
gasförmige Interzeption	Vegetationsperiode						
$\text{NO}_2$	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
$\text{NH}_3$	30	30	30	30	30	30	30

### 5.6.2 Schätzung der N-Fracht über passive Erfassung der Komponenten

Da der Aufwand zur aktiven Sammlung von möglichst allen N-Komponenten (wet & dry, Denuder und Aerosolfilter,  $\text{NO}_2$ -Monitor) aufwendig und teuer ist, wurde versucht, mit einfachen, passiven Methoden (Bulksammlung für Niederschläge, Passivsammler für  $\text{NH}_3$  und  $\text{NO}_2$ ) eine Schätzung der Einträge zu erhalten (Tabelle 15).

An vier Stellen in der Schweiz wurden sowohl die relevanten N-Einträge erfasst (wet, Aerosole, Gase), als auch die N-Einträge mit passiven Methoden ermittelt. Die Summe der N-Fracht in wet, N-Fracht in Aerosolen und in  $\text{HNO}_3$  (Konzentration x Depositionsgeschwindigkeit) wurden in einer linearen Regression mit der N-Fracht im Bulk verglichen (reduziert resp. oxidiert). So konnten auch die mit passiven Methoden nicht bestimmten Stickstoffanteile mittels einer Korrekturgleichung berücksichtigt werden (Tabelle 16).

Zur Bestimmung des Gesamtstickstoffeintrages wurden die aus den oxidierten und reduzierten Bulk-Frachten ermittelten passiv erfassten Stickstoff-Depositionen mit den N-Frachten aus  $\text{NO}_2$  und  $\text{NH}_3$  (Konzentration x Depositionsgeschwindigkeit) aufsummiert.

Tabelle 15 Schematische Zusammenstellung zur Berechnung des Gesamtstickstoffeintrages mit aktiven und passiven Messmethoden

Aktive Sammelmethoden		Passive Sammelmethoden	
Nasse Deposition	$\text{N-NH}_4^+$	Passiv erfasste Deposition	$\text{N-NH}_4^+$
Trockene Interzeption	$\text{N-NH}_4^+$		
Gasförmige Interzeption	$\text{N-NH}_3$	Gasförmige Interzeption	$\text{N-NH}_3$
Nasse Deposition	$\text{N-NO}_3^-$	Passiv erfasste Deposition	$\text{N-NO}_3^- + \text{N-HNO}_3$
Trockene Interzeption	$\text{N-NO}_3^-$		
Gasförmige Interzeption	$\text{N-HNO}_3$		
Gasförmige Interzeption	$\text{N-NO}_2$	Gasförmige Interzeption	$\text{N-NO}_2$
<b>Summe</b>	<b>N red</b>	<b>Summe</b>	<b>N red</b>
<b>Summe</b>	<b>N oxi</b>	<b>Summe</b>	<b>N oxi</b>
Summe N red + N oxi = N gesamt		Summe N red + N oxi = N gesamt	

Tabelle 16 Korrekturgleichungen der mit passiver Sammlung nicht berücksichtigten N Komponenten. Frachten an Stickstoff, Einheit:  $\text{kg ha}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$

Aktive Sammlung	Umrechnung für "Feld"	Passive Sammlung
$\text{N-NH}_4^+$ (ND + trockene IZ)	= $\text{N-NH}_4^+$ Bulk Fracht * 0.86 + 0.49 =	$\text{N-NH}_4^+$ Passiv erfasste Deposition
$\text{N-NO}_3^-$ (ND + trockene IZ) + $\text{N-HNO}_3$ (Gasförmige IZ)	= $\text{N-NO}_3^-$ Bulk Fracht * 1.03 + 0.24 =	$\text{N-NO}_3^- + \text{N-HNO}_3$ Passiv erfasste Deposition
Umrechnung für "Laubwald"		
$\text{N-NH}_4^+$ (ND + trockene IZ)	= $\text{N-NH}_4^+$ Bulk Fracht * 0.87 + 0.84 =	$\text{N-NH}_4^+$ Passiv erfasste Deposition
$\text{N-NO}_3^-$ (ND + trockene IZ) + $\text{N-HNO}_3$ (Gasförmige IZ)	= $\text{N-NO}_3^-$ Bulk Fracht * 1.03 + 0.45 =	$\text{N-NO}_3^- + \text{N-HNO}_3$ Passiv erfasste Deposition
Umrechnung für "Nadelwald"		
$\text{N-NH}_4^+$ (ND + trockene IZ)	= $\text{N-NH}_4^+$ Bulk Fracht * 0.88 + 1.09 =	$\text{N-NH}_4^+$ Passiv erfasste Deposition
$\text{N-NO}_3^-$ (ND + trockene IZ) + $\text{N-HNO}_3$ (Gasförmige IZ)	= $\text{N-NO}_3^-$ Bulk Fracht * 1.03 + 0.60 =	$\text{N-NO}_3^- + \text{N-HNO}_3$ Passiv erfasste Deposition

In der Ostschweiz wurde für das Ökosystem "Wald" immer mit "Laubwald" gerechnet, da an den Standorten dieser Untersuchung natürlicherweise Laubwald wachsen würde.

### 5.6.3 Abschätzung der Qualität der Gesamt-Stickstoff-Resultate

Die Abschätzung des Gesamt-Stickstoff-Eintrages ist mit Unsicherheiten behaftet. Diese liegen nur wenig auf der Seite der Analytik und Feldarbeit (meist kleiner als



$\pm 10\%$ ), hingegen können bei der Sammlung der Proben je nach Technik Probleme auftreten: Bei der Nassdeposition wird der Eintrag tendenziell eher unterschätzt, da z.B. Schnee meist nicht vollständig gesammelt wird. Ebenfalls wird der Eintrag aus dem Nebel nicht berücksichtigt. Für die Nassdeposition muss bei einzelnen Standorten mit Unsicherheiten von  $\pm 20\%$  gerechnet werden. Bei den gasförmigen und Aerosol-Komponenten wird im Einzelfall mit 50% Abweichung vom "richtigen" zum ermittelten Eintrag gerechnet. Die grössten Unsicherheitsfaktoren sind die Depositionsgeschwindigkeiten. Diese sind sehr variabel und abhängig von der Komponente, den meteorologischen Begebenheiten sowie auch von der Rauheit der Oberfläche, welche die Interzeption stark beeinflusst. Die in dieser Arbeit verwendeten Depositionsgeschwindigkeiten (siehe Tabelle 14) gelten als gute Mittel für die Jahreswerte.

Eine Frage ist auch, ob gewisse Komponenten z.T. doppelt gesammelt werden. Wird z.B. gasförmiges  $\text{NH}_3$  als Ammoniumaerosol und/oder im Regen noch einmal erfasst? Mit der Überlegung, dass der grösste Teil der Inhaltstoffe bei der Tropfenbildung durch Kondensation eingesammelt wird (rain out) und nur am Anfang der Regens beim Fallen des Tropfens noch Stoffe in die wässrige Phase gelangen (wash out) (Barbieri & Pozzi 2001), kann jedoch angenommen werden, dass nur zu einem geringen Anteil die gleichen resp. umgewandelten Moleküle an einem bestimmten Ort erfasst werden.

## 6 Literatur

- Alean-Kirkpatrick, P. 1993: Temporal fluctuations of atmospheric acidity: selected gaseous components and wet deposition. Dissertation an der Universität Zürich
- Agridea, Landwirtschaftsamt Thurgau 2006: Projektskizze N-Effizienz der Hofdünger steigern durch Reduktion der Ammoniakverluste
- Barbieri, A., Pozzi, S. 2001: Acidifying deposition - Southern Switzerland. Env. doc. 134, BUWAL, Bern
- Blatter, A., Fahrni, M., Nefel, A. 1992: A new generation of NH<sub>3</sub> - passive samplers: Beitrag am Workshop "Development of analytical techniques for atmospheric pollutants", Rome, 13. - 15.4.1992
- Brunner, J., Schlatter, S. 2002: Messung von Stickstoffdioxid mit Passivsammlern des Palmes-Typs – Praktische Erfahrungen und Resultate an der Stadt Zürich, der Ostschweiz und dem Fürstentum Liesten (OSTLUFT). VDI-Berichte Nr. 1656, 407-420
- BUWAL 1995: Vom Menschen verursachte Luftschadstoff-Emissionen in der Schweiz von 1900 bis 2010. Schriftenreihe Umwelt Nr. 256 – Luft. BUWAL (ed.) Bern
- BUWAL 2002: Ammoniak (NH<sub>3</sub>)-Minderung bei der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. Mitteilungen zur Luftreinhalte-Verordnung LRV, Nr. 13. BUWAL (ed.) Bern
- CEC, bcr 1993: The certification of the contents (amount of substance contents) of ammonium, calcium, chloride, hydronium, magnesium, nitrate, potassium, sodium and sulphate in simulated rainwater – low content CRM 408. Report EUR 15024 EN
- Cercl'Air 2002: Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft – Grundlagen der Luftreinhaltung. Positionspapier des Cercl'Air – Bericht der Arbeitsgruppe Ammoniak-Emissionen Bezug (8.2.2010): [www.bafu.admin.ch/luft/00632/00640/index.html?lang=de](http://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](http://www.cerclair.ch) (11.2.2010)
- Dämmgen, U., Thöni, L., Lumpp, R., Gilke, K., Seidler, E., Bullinger, M. 2010: Feldexperiment zum Methodenvergleich von Ammoniak- und Ammonium-Konzentrationsmessungen in der Umgebungsluft, 2005 bis 2008 in Braunschweig, Braunschweig, Karlsruhe und Rapperswil, Bezug bei der FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung
- EKL 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), BAFU (ed.) Bern, Schriftenreihe Umwelt Nr. 384.
- Empa 2007: Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL).
- Ferm, M. 1979: Method for determination of atmospheric ammonia. Atmospheric Environment 13, 1385-1393
- Fisseha, R., Dommen, J., Gaeggeler, K., Weingartner, E., Samburova, V., Kalberer, M., Baltensberger, U. 2006: Online gas and aerosol measurement of water soluble carboxylic acids in Zurich, Journal of geophysical research, Vol. 111, D12316
- Fischer-Riedmann, A. 1995: Atmosphärische Konzentration und Deposition von N-haltigen Komponenten im Wald des hydrologischen Einzugsgebietes Erlenbach im Alptal. Diss. ETH Nr. 11035
- FOEFL 1996: Critical loads of nitrogen and exceedances – eutrophying atmospheric deposition. Environmental Serie No. 275 – Air
- Hall, Upton, 1988: A wind tunnel study of the particle collection efficiency of an inverted frisbee used as dust deposition gauge. Atmospheric Environment 22, 1383-1394

- Hurni, P., Kopse, D., Braun, M. 1993: Stickstoffeinflüsse in vier ausgewählten Regionen, Anhang B von: Der Stickstoffhaushalt der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 209, BUWAL, Bern
- Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe) 2007: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak
- Kanton Appenzell Ausserrhoden 2008: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Aktualisierung 2008
- LRV 1985: Luftreinhalteverordnung vom 16. Dezember 1985. SR 814.318.142.1
- OSTLUFT 2000: Stickstoff-Eintrag im Voralpenraum, Gebiet OSTLUFT. Kurzbericht mit Kartenanhang der Meteotest (Beat Rihm) an die Ostluft
- OSTLUFT 2002: Stickstoff-Eintrag im Voralpenraum Bachtel 2001. FUB (Thöni, L., Seidler, E.) im Auftrag OSTLUFT
- OSTLUFT 2003: Stickstoff-Deposition Tänikon – Bachtel – Schänis 2002, 1994 bis 2003. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- OSTLUFT 2004: Stickstoff-Deposition in der Ostschweiz, 1994 bis 2003. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- OSTLUFT 2005: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2004. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- OSTLUFT 2006: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2005. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- OSTLUFT 2007: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2006. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- OSTLUFT 2008: Ammoniakbelastung OSTLUFT, 2000 bis 2007. Bezug (8.2.2010): [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)
- 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* 42, 3266-3276).
- Schmitt, M., Thöni, L., Waldner, P., Thimonier, A. 2005: Total deposition of nitrogen on Swiss long-term forest ecosystem research (LWF) plots: comparison of the throughfall and the inferential method. *Atmospheric Environment* 39, 1079-1091
- SN EN ISO 14911, Ausgabe: 1999–11; Wasserbeschaffenheit – Bestimmung der gelösten Kationen Li+, Na+, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K+, Mn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup> und Ba<sup>2+</sup> mittels Ionenchromatographie – Verfahren für Wasser und Abwasser (ISO 14911:1998).
- SN EN ISO 11732, Ausgabe: 2005–05; Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Ammoniumstickstoff – Verfahren mittels Fliessanalytik (CFA und FIA) und spektrometrischer Detektion (ISO 11732:2005).
- SN EN 13528-2 2002: Aussenluftqualität – Passivsammler zur Bestimmung der Konzentrationen von Gasen und Dämpfen – Anforderungen und Prüfverfahren – Teil 2: Spezifische Anforderungen und Prüfverfahren
- Sutton, M. A., Ashman, W. A. H., Schjørring, J. K. 1994: Dry deposition of reduced nitrogen. *Tellus* 46B, 255–273
- Sutton, M. A., Miners, B., Tang, Y. S., Milford, C., Wyers, G. P., Duyzer, J. H., Fowler, D. 2001: Comparison of low coast measurement techniques for long-term monitoring of atmospheric ammonia. *Journal of Environmental Monitoring* 3, 446-453
- 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., Meier, M., Zürcher, F., Hertz, J. 2008. The development of loads of cations, anions, Cd and Pb in precipitation and of atmospheric concentrations of N-components, in Switzerland from 1988 to 2003. *Environmental Monitoring and Assessment* 138:207-218
- Thöni, L., Seidler, E. 2009: Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2008. 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](http://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 Bezug (8.2.2010): [www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.12.e.pdf](http://www.unece.org/env/documents/2007/eb/wg5/WGSR40/ece.eb.air.wg.5.2007.12.e.pdf)
- VDI 2119, Blatt 2 1972: Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem Bergerhoff-Gerät (Standardverfahren)
- VDI 2119, Blatt 3 1972: Messung partikelförmiger Niederschläge – Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags mit dem Hibernia- und Löbner-Liesegang-Gerät
- VDI 2267, Blatt 15 2005: Stoffbestimmung an Partikeln in der Außenluft - Messen der Massenkonzentration von Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, K, Mn, Ni, Pb, Sb, V, Zn als Bestandteile des Staubniederschlags mit Hilfe der Massenspektrometrie (ICP-MS)
- VDI 4320, Blatt 2: Messung atmosphärischer Depositionen – Probenahme mit Topf-Sammlern – Bestimmung des Staubniederschlags, 7. Vorentwurf 26.11.2009

## 7 Anhang

### 7.1 Abkürzungen

Standorte		Organisationen, Projekte	
APS	Ap.-Steinig	ART	Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon
BA	Bachtel	AWEL	Amt für Abfall, Wasser Energie und Luft – Kt. Zürich
BAV	Bälzers	BAFU	Bundesamt für Umwelt
ESCH	Eschlikon	BUWAL	bis 2005; Bundesamt für Umwelt, Wald, Landsch.
EST	Eschen	FUB	Forschungsstelle für Umweltbeobachtung
HÄG	Häggenwil	GAW	Global Atmosphere Watch
HUD 03	Hudelmoos 3	IVL	Swedish Environmental Research Institute
MAU	Mauren	LFI	Schweizerisches Landesforstinventar
SCH	Schänis	LWF	Langfristige Waldökosystem-Forschung
SLI	Schaan	NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
STA	Stampfenbach	NIST	National Institute of Standards and Technology
SWA	Schwamendingen	WMO	World Meteorological Organization
TAE	Tänikon	WSL	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
WAL	Wallisellen	UGZ	Umwelt- und Gesundheitsschutz - Stadt Zürich
WIE	Wiedikon		
ZUE	Zürich Kaserne		

### Fachbegriffe

DELTA	Denuder for Long Term Ammonia, Denuder-Filter-Sammler
Eutrophierung	Überdüngung
FIA	Fliessinjektionsanalyse
GD	Gravitationsdeposition "wet & dry", Summe von Nassdeposition und Trockendeposition
IC	Ionenchromatografie
IZ	Interzeption (Auskämmung). Trockene IZ: partikelgebunden, Aersole
KAPS	Kananaskis Atmospheric Pollutant Sampler, Denuder-Filter-Sammler
KD	Kontrolldenuder
LF	Leitfähigkeit
MD	Minidenuder
MF	Minifilter
Midefix	Minidenuder-Minifilter-Einheit
N <sub>oxi</sub>	oxidierter Stickstoff
N <sub>red</sub>	reduzierter Stickstoff
ND	Nassdeposition "wet" (Regen, Schnee usw.)
NS	Niederschlag
NUPS	netzunabhängige Probenahmesysteme,
Oligothrophe Stillgewässer	mineralstoffarmer See
PAN	Peroxyacetylnitrat
PS	Passivsammler
SD	Standardabweichung
TD	Trockendeposition "dry" (sedimentierender Staub)
v <sub>dep</sub>	Depositionsgeschwindigkeit

## 7.2 Ammoniak-Messwerte 2008

Die Messwerte der früheren Jahre sind in OSTLUFT (2000, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 & 2008) aufgelistet.

Ammoniakkonzentration in Luft: Einheit  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Code	Anfangsdatum	Dauer	Mittelwert	SD	Anzahl	Code	Anfangsdatum	Dauer	Mittelwert	SD	Anzahl
	d	d	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	PS		d	d	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	PS
APS	3.1.2008	28	5.9	0.5	3	ESCH	14.9.2007	14	3.8	0.2	3
APS	31.1.2008	32	8.0	0.1	3	ESCH	28.9.2007	18	4.1	0.3	3
APS	3.3.2008	24	3.8	0.1	3	ESCH	16.10.2007	15	4.5	0.3	3
APS	27.3.2008	29	9.9	0.2	3	ESCH	31.10.2007	15	3.0	0.4	3
APS	25.4.2008	26	8.1	0.3	3	ESCH	15.11.2007	15	3.6	0.3	3
APS	21.5.2008	29	12.7	0.0	3	ESCH	30.11.2007	14	2.2	0.5	3
APS	19.6.2008	32	9.8	0.2	3	ESCH	14.12.2007	17	1.8	0.1	3
APS	21.7.2008	28	10.2	0.1	3	ESCH	31.12.2007	17	3.6	0.1	3
APS	18.8.2008	28	7.2	0.2	3						
APS	15.9.2008	28	5.0	0.1	3	MAU 00	17.1.2008	12	3.8	0.3	3
APS	13.10.2008	25	16.9	0.1	3	MAU 00	29.1.2008	16	7.3	0.3	3
APS	7.11.2008	28	11.7	0.3	3	MAU 00	14.2.2008	14	25.0	1.6	3
APS	5.12.2008	24	4.3	0.0	3	MAU 00	28.2.2008	16	6.8	0.3	3
						MAU 00	15.3.2008	16	2.3	0.1	3
HÄG	3.1.2008	28	7.6	0.3	3	MAU 00	31.3.2008	14	3.8	0.2	3
HÄG	31.1.2008	28	8.3	0.1	3	MAU 00	14.4.2008	16	2.9	0.0	3
HÄG	28.2.2008	28	4.2	0.0	3	MAU 00	30.4.2008	15	6.7	0.1	3
HÄG	27.3.2008	28	3.9	0.1	3	MAU 00	15.5.2008	15	6.3	0.2	3
HÄG	24.4.2008	28	10.3	0.4	3	MAU 00	30.5.2008	19	4.3	0.1	3
HÄG	22.5.2008	28	5.8	0.1	3	MAU 00	18.6.2008	12	4.7	0.1	3
HÄG	19.6.2008	28	10.2	0.6	3	MAU 00	30.6.2008	15	5.0	0.1	2
HÄG	17.7.2008	28	8.3	0.1	3	MAU 00	15.7.2008	15	6.0	0.1	3
HÄG	14.8.2008	32	10.7	0.3	3	MAU 00	30.7.2008	15	6.7	0.2	3
HÄG	15.9.2008	24	4.5	0.5	3	MAU 00	14.8.2008	14	4.4	0.0	3
HÄG	9.10.2008	28	5.6	0.2	3	MAU 00	28.8.2008	14	6.2	0.2	3
HÄG	6.11.2008	28	6.5	0.2	3	MAU 00	11.9.2008	14	3.9	0.3	3
HÄG	4.12.2008	33	2.7	0.1	3	MAU 00	25.9.2008	14	3.5	0.1	3
						MAU 00	9.10.2008	14	5.3	0.2	3
BAV	8.1.2008	27	4.5	0.1	3	MAU 00	23.10.2008	14	4.7	0.3	3
BAV	4.2.2008	29	11.4	0.4	3	MAU 00	6.11.2008	14	8.3	0.4	3
BAV	4.3.2008	28	4.9	0.2	3	MAU 00	20.11.2008	15	4.6	0.1	3
BAV	1.4.2008	28	4.5	0.3	3	MAU 00	5.12.2008	13	3.1	0.6	3
BAV	29.4.2008	29	9.4	0.4	3	MAU 00	18.12.2008	21	1.5	0.0	3
BAV	28.5.2008	27	4.7	0.2	3						
BAV	24.6.2008	28	3.9	0.1	3	TAE	9.1.2008	14	4.8	0.2	3
BAV	22.7.2008	28	6.7	0.3	3	TAE	23.1.2008	13	5.1	0.2	3
BAV	19.8.2008	28	4.3	0.2	3	TAE	5.2.2008	15	10.7	0.4	3
BAV	16.9.2008	28	5.2	0.1	3	TAE	20.2.2008	14	5.1	0.1	3
BAV	14.10.2008	28	5.8	0.4	3	TAE	5.3.2008	14	4.2	0.1	3
BAV	11.11.2008	28	5.8	0.2	3	TAE	19.3.2008	15	2.5	0.2	3
BAV	9.12.2008	29	11.1	0.3	3	TAE	3.4.2008	13	4.0	0.2	3
						TAE	16.4.2008	14	6.6	0.2	3
ESCH	16.1.2007	15	2.3	0.1	3	TAE	30.4.2008	14	8.4	0.5	3
ESCH	31.1.2007	14	2.0	0.1	3	TAE	14.5.2008	14	9.9	0.3	3
ESCH	14.2.2007	13	8.9	0.4	3	TAE	28.5.2008	13	5.4	0.3	3
ESCH	27.2.2007	15	5.2	0.6	3	TAE	10.6.2008	16	5.1	0.3	3
ESCH	14.3.2007	16	11.0	0.5	3	TAE	26.6.2008	13	6.2	0.1	3
ESCH	30.3.2007	14	7.0	0.3	3	TAE	9.7.2008	14	2.9	0.2	3
ESCH	13.4.2007	17	9.2	0.4	2	TAE	23.7.2008	15	5.7	0.1	3
ESCH	30.4.2007	16	6.7	0.6	3	TAE	7.8.2008	13	4.4	0.1	3
ESCH	16.5.2007	15	5.9	0.6	3	TAE	20.8.2008	14	4.4	0.0	3
ESCH	31.5.2007	15	5.0	0.3	3	TAE	3.9.2008	14	4.2	0.2	3
ESCH	15.6.2007	14	3.1	0.3	3	TAE	17.9.2008	14	4.7	0.1	3
ESCH	29.6.2007	17	4.1	0.3	3	TAE	1.10.2008	9	5.8	0.2	3
ESCH	16.7.2007	15	5.6	0.3	3	TAE	10.10.2008	18	6.2	0.2	3
ESCH	31.7.2007	15	3.1	0.1	3	TAE	28.10.2008	16	5.8	0.3	3
ESCH	15.8.2007	16	5.8	0.5	3	TAE	13.11.2008	13	3.8	0.1	3
ESCH	31.8.2007	14	4.3	0.5	3	TAE	26.11.2008	15	3.3	0.0	3

Code	Anfangsdatum		Mittelwert	SD	Anzahl PS	Code	Anfangsdatum		Mittelwert	SD	Anzahl PS
	d	d					d	d			
TAE	11.12.2008	11	3.0	0.1	3	SLI	8.1.2008	27	7.1	0.4	3
TAE	22.12.2008	16	3.5	0.1	3	SLI	4.2.2008	29	10.7	0.2	3
						SLI	4.3.2008	28	6.1	0.3	3
EST	8.1.2008	27	3.1	0.0	3	SLI	1.4.2008	28	7.1	0.1	3
EST	4.2.2008	29	9.4	0.1	3	SLI	29.4.2008	29	7.6	0.2	3
EST	4.3.2008	28	2.3	0.1	3	SLI	28.5.2008	27	8.9	0.0	3
EST	1.4.2008	28	3.4	0.3	3	SLI	24.6.2008	28	8.4	0.3	3
EST	29.4.2008	29	5.5	0.2	3	SLI	22.7.2008	28	7.4	0.2	3
EST	28.5.2008	27	5.0	0.1	3	SLI	19.8.2008	28	7.9	0.1	3
EST	24.6.2008	28	4.9	0.1	3	SLI	16.9.2008	28	8.5	0.3	3
EST	22.7.2008	28	7.2	0.1	3	SLI	14.10.2008	28	10.4	0.1	3
EST	19.8.2008	28	3.7	0.1	3	SLI	11.11.2008	28	7.8	0.1	3
EST	16.9.2008	28	2.3	0.1	3	SLI	9.12.2008	29	8.0	0.2	3
EST	14.10.2008	28	4.1	0.0	3						
EST	11.11.2008	28	5.6	0.1	3	ZUE	3.1.2007	15	2.4	0.1	3
EST	9.12.2008	29	4.1	0.1	3	ZUE	18.1.2007	14	1.6	0.1	3
						ZUE	1.2.2007	14	1.7	0.1	3
BA	1.1.2008	14	0.8	0.0	3	ZUE	15.2.2007	14	3.2	0.1	3
BA	15.1.2008	14	1.0	0.0	3	ZUE	1.3.2007	14	2.8	0.1	3
BA	29.1.2008	14	1.4	0.0	3	ZUE	15.3.2007	14	2.3	0.2	3
BA	12.2.2008	14	3.0	0.3	3	ZUE	29.3.2007	19	4.5	0.1	3
BA	26.2.2008	14	1.7	0.1	3	ZUE	17.4.2007	16	6.1	0.2	3
BA	11.3.2008	14	0.9	0.0	3	ZUE	3.5.2007	12	4.0	0.2	3
BA	25.3.2008	14	0.9	0.1	3	ZUE	15.5.2007	15	3.3	0.1	3
BA	8.4.2008	15	1.3	0.1	3	ZUE	30.5.2007	14	3.6	0.1	3
BA	23.4.2008	13	1.4	0.1	3	ZUE	13.6.2007	13	3.4	0.2	3
BA	6.5.2008	14	3.6	0.2	3	ZUE	26.6.2007	16	2.2	0.2	3
BA	20.5.2008	14	4.5	0.1	3	ZUE	12.7.2007	12	3.6	0.2	3
BA	3.6.2008	14	1.1	0.1	3	ZUE	24.7.2007	15	3.2	0.0	2
BA	17.6.2008	14	3.5	0.1	3	ZUE	8.8.2007	13	3.1	0.1	3
BA	1.7.2008	14	2.0	0.1	3	ZUE	21.8.2007	16	3.6	0.1	3
BA	15.7.2008	14	1.9	0.1	3	ZUE	6.9.2007	13	3.2	0.3	3
BA	29.7.2008	14	2.7	0.1	3	ZUE	19.9.2007	14	3.4	0.1	3
BA	12.8.2008	14	1.2	0.0	3	ZUE	3.10.2007	13	3.2	0.2	3
BA	26.8.2008	14	1.8	0.0	3	ZUE	16.10.2007	14	2.8	0.2	3
BA	9.9.2008	14	0.9	0.1	3	ZUE	30.10.2007	15	2.9	0.2	3
BA	23.9.2008	14	1.2	0.0	3	ZUE	14.11.2007	15	2.7	0.2	3
BA	7.10.2008	14	1.3	0.1	3	ZUE	29.11.2007	21	1.6	0.1	3
BA	21.10.2008	14	2.3	0.4	3	ZUE	20.12.2007	19	2.0	0.1	3
BA	4.11.2008	28	1.7	0.1	3						
BA	2.12.2008	35	0.5	0.0	3	SWA	4.1.2007	26	5.4	0.1	3
						SWA	30.1.2007	28	6.5	0.1	3
HUD 3	17.1.2008	28	2.0	0.0	3	SWA	27.2.2007	28	6.1	0.2	3
HUD 3	14.2.2008	30	4.4	0.2	3	SWA	27.3.2007	28	7.3	0.1	3
HUD 3	15.3.2008	30	1.4	0.0	3	SWA	24.4.2007	28	7.0	0.2	3
HUD 3	14.4.2008	31	2.0	0.0	3	SWA	22.5.2007	28	5.9	0.2	3
HUD 3	15.5.2008	34	2.4	0.0	3	SWA	19.6.2007	28	5.7	0.4	3
HUD 3	18.6.2008	27	2.6	0.3	3	SWA	17.7.2007	30	5.5	0.1	3
HUD 3	15.7.2008	30	2.4	0.1	3	SWA	16.8.2007	26	6.4	0.2	3
HUD 3	14.8.2008	28	1.8	0.1	3	SWA	11.9.2007	29	6.2	0.1	3
HUD 3	11.9.2008	28	1.4	0.1	3	SWA	10.10.2007	27	6.0	0.1	3
HUD 3	9.10.2008	28	1.3	0.1	3	SWA	6.11.2007	28	6.3	0.3	3
HUD 3	6.11.2008	29	2.3	0.1	3	SWA	4.12.2007	35	4.6	0.0	3
HUD 3	5.12.2008	34	0.9	0.0	3						
SCH	28.12.2007	32	1.2	0.0	2	WIE	8.1.2008	28	6.0	0.1	3
SCH	29.1.2008	27	3.0	0.7	3	WIE	5.2.2008	28	7.0	0.1	3
SCH	25.2.2008	29	1.2	0.0	3	WIE	4.3.2008	28	4.1	0.2	3
SCH	25.3.2008	27	1.3	0.1	3	WIE	1.4.2008	28	4.8	0.2	3
SCH	21.4.2008	28	3.3	0.1	3	WIE	29.4.2008	29	6.6	0.0	3
SCH	19.5.2008	28	2.0	0.1	3	WIE	28.5.2008	27	5.8	0.2	3
SCH	16.6.2008	29	2.6	0.1	3	WIE	24.6.2008	28	5.9	0.2	3
SCH	15.7.2008	27	2.0	0.0	3	WIE	22.7.2008	28	6.0	0.2	2
SCH	11.8.2008	29	1.9	0.0	3	WIE	19.8.2008	28	6.3	0.2	3
SCH	9.9.2008	28	1.1	0.0	3	WIE	16.9.2008	29	5.4	0.2	3
SCH	7.10.2008	27	1.8	0.0	3	WIE	15.10.2008	27	5.9	0.2	3
SCH	3.11.2008	28	1.8	0.1	3	WIE	11.11.2008	28	4.9	0.2	3
						WIE	9.12.2008	28	3.6	0.2	3

7.3 NO<sub>2</sub>-Messwerte 2008

Die Messwerte der früheren Jahre sind in OSTLUFT (2004, 2005, 2006, 2007 & 2008) aufgelistet.

Stickstoffdioxid-Konzentration in Luft: Einheit  $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Code	Anfangsdatum	Dauer	Mittelwert	SD	Anzahl	Code	Anfangsdatum	Dauer	Mittelwert	SD	Anzahl
	d	d	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	PS		d	d	$\mu\text{g m}^{-3}$	$\mu\text{g m}^{-3}$	PS
APS	3.1.2008	28	8.6	0.3	3	WIE	8.1.2008	14	52.8	0.5	3
APS	31.1.2008	32	8.3	0.2	3	WIE	22.1.2008	14	59.7	0.2	3
APS	3.3.2008	24	5.7	0.1	3	WIE	5.2.2008	14	58.9	0.4	3
APS	27.3.2008	29	5.8	0.1	3	WIE	19.2.2008	14	51.6	0.1	3
APS	25.4.2008	26	4.3	0.1	3	WIE	4.3.2008	14	43.4	0.8	3
APS	21.5.2008	29	5.5	0.0	3	WIE	18.3.2008	14	47.9	0.5	3
APS	19.6.2008	32	4.7	0.0	3	WIE	1.4.2008	14	49.8	0.1	3
APS	21.7.2008	28	4.3	0.0	3	WIE	15.4.2008	14	54.2	0.3	3
APS	18.8.2008	28	5.9	0.1	3	WIE	29.4.2008	14	54.9	0.6	3
APS	15.9.2008	28	7.2	0.1	3	WIE	13.5.2008	15	58.1	0.1	3
APS	13.10.2008	25	10.3	0.1	3	WIE	28.5.2008	13	53.4	0.4	3
APS	7.11.2008	28	10.0	0.2	3	WIE	10.6.2008	14	54.5	0.3	3
APS	5.12.2008	24	14.1	0.3	3	WIE	24.6.2008	14	54.9	0.2	3
						WIE	8.7.2008	14	47.8	0.4	3
HÄG	3.1.2008	28	17.2	0.3	3	WIE	22.7.2008	14	51.0	1.0	3
HÄG	31.1.2008	28	16.0	0.1	3	WIE	5.8.2008	14	50.5	0.3	3
HÄG	28.2.2008	28	6.3	0.1	3	WIE	19.8.2008	14	58.8	0.5	3
HÄG	27.3.2008	28	7.1	0.2	3	WIE	2.9.2008	14	56.7	0.5	3
HÄG	24.4.2008	28	6.2	0.1	3	WIE	16.9.2008	14	50.5	0.3	3
HÄG	22.5.2008	28	6.1	0.3	3	WIE	30.9.2008	14	47.7	0.6	3
HÄG	19.6.2008	28	8.4	1.3	3	WIE	14.10.2008	14	51.5	0.4	3
HÄG	17.7.2008	28	5.3	0.2	3	WIE	28.10.2008	14	52.7	1.1	3
HÄG	14.8.2008	32	6.6	0.7	3	WIE	11.11.2008	14	44.9	0.2	3
HÄG	15.9.2008	24	8.4	0.1	3	WIE	25.11.2008	14	57.2	2.7	3
HÄG	9.10.2008	28	14.9	0.3	3	WIE	9.12.2008	14	56.5	0.1	3
HÄG	6.11.2008	28	15.1	0.0	3	WIE	23.12.2008	14	38.9	0.4	3
HÄG	4.12.2008	33	18.1	0.1	3						
SCH	28.12.2007	32	8.1	0.1	3						
SCH	29.1.2008	27	12.0	0.2	3						
SCH	25.2.2008	29	4.5	0.1	3						
SCH	25.3.2008	27	5.0	0.1	3						
SCH	21.4.2008	28	3.5	0.0	3						
SCH	19.5.2008	28	4.6	0.1	3						
SCH	16.6.2008	29	3.5	0.1	3						
SCH	15.7.2008	27	2.9	0.1	3						
SCH	11.8.2008	29	3.4	0.0	3						
SCH	9.9.2008	28	5.4	0.1	3						
SCH	7.10.2008	27	10.4	0.1	3						
SCH	3.11.2008	28	11.1	0.0	3						
SCH	1.12.2008	28	14.0	1.0	3						
BA	6.1.2009	28	9.2	0.1	3						
BA	3.2.2009	28	8.5	0.2	3						
BA	3.3.2009	28	4.9	0.1	3						
BA	31.3.2009	28	4.1	0.1	3						
BA	28.4.2009	28	3.5	0.1	3						
BA	26.5.2009	28	2.7	0.1	3						
BA	23.6.2009	28	2.9	0.1	3						
BA	21.7.2009	28	3.1	0.1	3						
BA	18.8.2009	28	4.0	0.0	3						
BA	15.9.2009	28	5.0	0.0	3						
BA	13.10.2009	28	6.2	0.3	3						
BA	10.11.2009	28	5.4	0.1	3						
BA	8.12.2009	28	6.5	0.1	3						



## 7.4 Messwerte der Bulk-Sammlung 2008

Die Messwerte der früheren Jahre sind in OSTLUFT (2004) aufgelistet.

Code	Serie	Pos.	Anfangs- datum	Dauer d	NS mm	Massenkonzentration in der Nassdeposition $\mu\text{g l}^{-1} = \text{ppb}$								Fracht in der Nassdeposition $\text{kg ha}^{-1}$						Leitfähigkeit gemess.berech. $\mu\text{S cm}^{-1}$		Summe Kation Anion $\mu\text{mol l}^{-1}$		pH		
						Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>					
APS	MP 2	A	31.1.2008	32	43	383	821	62	121	1398	553	1490	814	0.164	0.27	0.027	0.052	0.60	0.24	0.14	0.35	14.0	13.3	144	57	7.1
APS	MP 3	A	3.3.2008	24	108	Probe kontaminiert: milchig grünlich und stinkend																				
APS	MP 4	A	27.3.2008	29	134	251	1085	57	112	1038	341	2312	965	0.336	1.13	0.076	0.150	1.39	0.46	0.70	1.29	15.8	13.7	134	67	7.3
APS	MP 5	A	25.4.2008	26	53	99	1387	221	131	1674	115	2085	887	0.052	0.57	0.116	0.069	0.88	0.06	0.25	0.47	18.8	16.0	181	55	7.7
APS	MP 6	A	21.5.2008	29	102	44	1073	98	116	1208	81	2272	940	0.045	0.85	0.100	0.118	1.23	0.08	0.52	0.96	13.5	13.1	134	59	7.6
APS	MP 7	A	19.6.2008	32	208	47	596	51	50	561	71	1047	500	0.097	0.96	0.107	0.104	1.17	0.15	0.49	1.04	6.2	6.7	69	29	7.5
APS	MP 8	A	21.7.2008	28	126	88	586	94	95	744	62	1031	488	0.111	0.57	0.118	0.120	0.94	0.08	0.29	0.62	5.4	7.5	84	29	7.3
APS	MP 9	A	18.8.2008	28	228	29	561	38	39	581	43	840	532	0.065	0.99	0.086	0.089	1.33	0.10	0.43	1.21	4.9	6.3	66	26	7.0
APS	MP 10	A	15.9.2008	28	21	92	1003	126	115	1332	179	2061	1053	0.020	0.17	0.027	0.025	0.29	0.04	0.10	0.23	13.0	13.5	139	60	7.7
APS	MP 11	A	13.10.2008	25	184	29	650	50	43	636	76	986	416	0.053	0.93	0.093	0.080	1.17	0.14	0.41	0.77	5.7	6.9	74	27	7.6
APS	MP 12	A	7.11.2008	28	75	313	684	57	84	690	440	940	442	0.233	0.40	0.042	0.063	0.51	0.33	0.16	0.33	6.8	8.8	94	37	7.6
APS	MP 13	A	5.12.2008	24	59	278	766	43	28	324	433	1330	533	0.165	0.35	0.026	0.017	0.19	0.26	0.18	0.32	6.6	8.3	74	45	7.2
APS	MP 1	B	3.1.2008	28	58	260	596	53	55	663	375	715	499	0.151	0.27	0.031	0.032	0.38	0.22	0.09	0.29	7.4	7.8	83	32	7.3
APS	MP 2	B	31.1.2008	32	38	301	694	49	126	1338	491	1357	634	0.113	0.20	0.018	0.047	0.50	0.18	0.12	0.24	12.4	11.8	130	49	7.4
APS	MP 3	B	3.3.2008	24	99	246	645	29	61	606	343	1515	526	0.244	0.50	0.028	0.061	0.60	0.34	0.34	0.52	7.6	8.7	83	45	7.1
APS	MP 4	B	27.3.2008	29	151	293	1115	74	104	1011	450	2452	1067	0.444	1.31	0.112	0.158	1.53	0.68	0.84	1.62	14.3	14.4	136	74	7.4
APS	MP 5	B	25.4.2008	26	57	95	1459	219	136	1726	186	2337	913	0.055	0.65	0.125	0.078	0.99	0.11	0.30	0.52	17.7	16.9	188	62	7.9
APS	MP 6	B	21.5.2008	29	101	55	1411	109	124	1304	87	2297	962	0.056	1.11	0.110	0.126	1.32	0.09	0.53	0.97	14.7	14.9	159	60	7.7
APS	MP 7	B	19.6.2008	32	220	45	683	56	52	579	107	1132	527	0.098	1.17	0.123	0.115	1.27	0.23	0.56	1.16	7.1	7.4	74	32	7.6
APS	MP 8	B	21.7.2008	28	126	54	611	62	54	581	95	1136	488	0.068	0.60	0.078	0.068	0.73	0.12	0.32	0.62	5.3	7.0	71	31	7.5
APS	MP 9	B	18.8.2008	28	213	31	533	39	45	616	55	852	556	0.066	0.88	0.084	0.095	1.31	0.12	0.41	1.18	4.9	6.4	66	27	7.6
APS	MP 10	B	15.9.2008	28	21	93	757	80	116	1421	272	2196	1056	0.020	0.13	0.017	0.025	0.30	0.06	0.11	0.23	11.9	13.0	129	65	7.8
APS	MP 11	B	13.10.2008	25	161	30	756	60	41	693	57	999	475	0.048	0.94	0.097	0.066	1.11	0.09	0.36	0.76	6.6	7.6	83	28	7.8
APS	MP 12	B	7.11.2008	28	74	272	717	47	42	599	405	923	468	0.202	0.41	0.035	0.031	0.44	0.30	0.15	0.35	7.0	8.3	86	36	7.7
APS	MP 13	B	5.12.2008	24	64	309	816	44	32	436	550	1396	682	0.198	0.40	0.028	0.021	0.28	0.35	0.20	0.44	8.0	9.5	84	52	7.2
HÄG	MP 1	A	3.1.2008	28	29	217	750	56	41	416	364	1391	603	0.063	0.17	0.016	0.012	0.12	0.11	0.09	0.18	7.5	8.5	77	45	6.6
HÄG	MP 2	A	31.1.2008	28	18	202	918	58	51	447	343	1564	702	0.037	0.13	0.011	0.009	0.08	0.06	0.06	0.13	8.9	9.6	88	50	6.7
HÄG	MP 3	A	28.2.2008	28	37	238	696	52	50	334	374	1803	633	0.089	0.20	0.020	0.019	0.13	0.14	0.15	0.24	7.2	8.7	71	53	6.6
HÄG	MP 4	A	27.3.2008	28	77	289	928	59	66	394	449	2440	939	0.223	0.56	0.046	0.051	0.30	0.35	0.43	0.72	9.6	11.4	91	72	6.8
HÄG	MP 5	A	24.4.2008	28	32	107	2049	303	191	1777	157	3425	1513	0.034	0.51	0.097	0.061	0.57	0.05	0.25	0.48	23.5	22.1	230	91	7.9
HÄG	MP 6	A	22.5.2008	28	60	74	1506	182	104	1080	138	3493	1444	0.044	0.70	0.109	0.062	0.65	0.08	0.47	0.87	15.8	17.0	154	90	7.5
HÄG	MP 7	A	19.6.2008	28	142	65	906	90	58	616	96	1495	783	0.092	1.00	0.128	0.082	0.87	0.14	0.48	1.11	8.0	9.3	91	43	7.6
HÄG	MP 8	A	17.7.2008	28	63	107	1402	190	81	752	154	1805	806	0.067	0.69	0.120	0.051	0.47	0.10	0.26	0.51	12.7	12.7	131	50	7.4
HÄG	MP 9	A	14.8.2008	32	185	66	948	69	40	412	102	1790	983	0.121	1.36	0.128	0.073	0.76	0.19	0.75	1.82	7.7	9.5	81	52	7.0
HÄG	MP 10	A	15.9.2008	24	17	156	1560	116	111	1086	279	4341	2092	0.027	0.21	0.020	0.019	0.19	0.05	0.17	0.36	18.1	19.7	160	121	7.2
HÄG	MP 11	A	9.10.2008	28	85	30	755	58	30	345	121	1656	662	0.026	0.50	0.049	0.026	0.29	0.10	0.32	0.57	5.9	7.7	64	44	7.2
HÄG	MP 12	A	6.11.2008	28	26	191	1200	82	39	310	314	2172	793	0.050	0.24	0.022	0.010	0.08	0.08	0.13	0.21	9.9	11.3	96	60	6.1
HÄG	MP 13	A	4.12.2008	33	66	98	1147	49	18	185	204	2480	881	0.064	0.59	0.032	0.012	0.12	0.13	0.37	0.58	9.1	11.1	82	64	5.7
HÄG	MP 1	B	3.1.2008	28	32	204	686	64	34	309	320	1288	584	0.065	0.17	0.020	0.011	0.10	0.10	0.09	0.19	6.4	7.6	67	42	7.2
HÄG	MP 2	B	31.1.2008	28	20	202	905	85	67	552	322	1602	689	0.039	0.14	0.017	0.013	0.11	0.06	0.07	0.13	9.0	9.0	94	49	7.2
HÄG	MP 3	B	28.2.2008	28	46	232	720	59	45	346	362	1690	598	0.107	0.26	0.027	0.021	0.16	0.17	0.18	0.27	6.8	8.5	73	50	7.1
HÄG	MP 4	B	27.3.2008	28	98	273	885	85	64	466	430	2462	917	0.267	0.67	0.083	0.062	0.46	0.42	0.54	0.90	9.3	11.4	92	71	6.9
HÄG	MP 5	B	24.4.2008	28	33	128	2993	324	182	1761	155	3446	1680	0.042	0.77	0.107	0.060	0.58	0.05	0.26	0.55	29.5	26.2	283	95	7.9
HÄG	MP 6	B	22.5.2008	28	65	65	1770	160	107	1058	144	3509	1559	0.042	0.89	0.104	0.070	0.69	0.09	0.52	1.01	16.2	18.2	167	93	7.6
HÄG	MP 7	B	19.6.2008	28	139	74	1010	84	62	592	100	1659	776	0.103	1.09	0.117	0.087	0.82	0.14	0.52	1.08	8.9	9.9	96	46	7.4
HÄG	MP 8	B	17.7.2008	28	70	76	996	112	61	616	107	1711	722	0.053	0.54	0.079	0.043	0.43								

Code	Serie	Pos.	Anfangs- datum	Dauer d	NS mm	Massenkonzentration in der Nassdeposition						Fracht in der Nassdeposition						Leitfähigkeit gemess.berech. µS cm <sup>-1</sup>	Summe Kation Anion µmol l <sup>-1</sup>	pH						
						Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>				Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		
						µg l <sup>-1</sup> = ppb						kg ha <sup>-1</sup>														
TAE	MP 1	B	8.1.2008	29	45	259	605	53	50	405	395	1293	813	0.116	0.21	0.024	0.022	0.18	0.18	0.13	0.36	7.8	8.3	71	49	6.8
TAE	MP 3	B	28.2.2008	28	109	386	716	68	67	420	599	1577	731	0.420	0.61	0.074	0.073	0.46	0.65	0.39	0.80	8.5	9.8	85	58	7.2
TAE	MP 4	B	27.3.2008	28	131	102	739	41	39	301	155	1923	830	0.133	0.75	0.054	0.052	0.39	0.20	0.57	1.08	7.1	8.5	65	53	6.3
TAE	MP 5	B	24.4.2008	28	27	309	2940	904	152	1429	352	3532	2050	0.085	0.63	0.248	0.042	0.39	0.10	0.22	0.56	32.2	27.5	283	110	8.0
TAE	MP 6	B	22.5.2008	28	123	43	1309	83	67	655	91	2751	1109	0.053	1.25	0.101	0.082	0.80	0.11	0.76	1.36	11.7	13.0	115	70	7.7
TAE	MP 7	B	19.6.2008	27	73	158	1807	312	110	880	218	2212	949	0.116	1.03	0.228	0.081	0.64	0.16	0.37	0.69	17.0	16.0	168	62	7.9
TAE	MP 8	B	16.7.2008	29	98	55	757	151	63	484	103	1358	609	0.054	0.58	0.148	0.061	0.47	0.10	0.30	0.60	6.6	8.0	78	37	7.5
TAE	MP 9	B	14.8.2008	28	139	112	976	160	54	379	140	1222	724	0.156	1.06	0.223	0.075	0.53	0.19	0.38	1.01	7.8	8.8	87	39	7.2
TAE	MP 10	B	11.9.2008	28	65	45	573	56	43	456	102	1460	752	0.029	0.29	0.036	0.028	0.29	0.07	0.21	0.48	5.4	7.3	62	42	7.0
TAE	MP 11	B	9.10.2008	28	95	27	397	67	22	229	59	965	318	0.026	0.29	0.063	0.021	0.22	0.06	0.21	0.30	3.2	4.4	38	24	6.9
TAE	MP 12	B	6.11.2008	28	34	447	1026	107	69	648	734	2080	1210	0.151	0.27	0.036	0.023	0.22	0.25	0.16	0.41	12.1	13.6	117	79	6.8
TAE	MP 13	B	4.12.2008	35	64	217	854	62	30	250	383	2185	909	0.139	0.42	0.040	0.019	0.16	0.24	0.32	0.58	9.6	10.8	76	65	5.5
BA	MP 1	A	1.1.2008	28	67	140	328	24	23	216	201	996	472	0.093	0.17	0.016	0.016	0.14	0.13	0.15	0.32	3.7	5.1	39	32	6.0
BA	MP 2	A	29.1.2008	28	31	253	353	49	46	479	336	1919	638	0.078	0.08	0.015	0.014	0.15	0.10	0.13	0.20	7.9	8.1	61	54	5.9
BA	MP 3	A	26.2.2008	28	134	157	473	29	23	149	226	1201	446	0.211	0.49	0.039	0.030	0.20	0.30	0.36	0.60	4.7	6.7	47	35	5.4
BA	MP 4	A	25.3.2008	29	253	107	640	25	19	125	146	1700	764	0.270	1.25	0.063	0.047	0.31	0.37	0.97	1.93	6.5	8.5	53	47	5.3
BA	MP 5	A	23.4.2008	27	55	79	1306	156	91	730	101	2805	1134	0.044	0.56	0.086	0.050	0.40	0.06	0.35	0.63	12.9	13.7	124	72	7.1
BA	MP 6	A	20.5.2008	28	140	51	867	78	57	674	76	2432	1085	0.071	0.94	0.109	0.080	0.94	0.11	0.77	1.52	9.4	10.8	91	64	7.1
BA	MP 7	A	17.6.2008	28	134	66	663	64	46	580	116	1460	661	0.089	0.69	0.086	0.062	0.78	0.16	0.44	0.88	6.5	7.9	74	41	7.2
BA	MP 8	A	15.7.2008	28	133	56	845	91	35	373	76	1421	689	0.075	0.87	0.121	0.047	0.50	0.10	0.43	0.92	6.9	8.0	73	39	7.2
BA	MP 9	A	12.8.2008	28	168	85	403	61	26	220	87	948	474	0.142	0.52	0.102	0.044	0.37	0.14	0.36	0.79	3.1	5.0	41	28	6.1
BA	MP 10	A	9.9.2008	28	104	59	432	40	40	637	87	1329	648	0.061	0.35	0.042	0.041	0.66	0.09	0.31	0.67	5.5	6.9	63	37	6.5
BA	MP 11	A	7.10.2008	28	90	48	388	40	30	527	61	1298	539	0.043	0.27	0.036	0.027	0.48	0.05	0.26	0.49	4.9	6.1	54	34	6.7
BA	MP 12	A	4.11.2008	28	36	167	768	55	26	260	219	1811	629	0.061	0.22	0.020	0.010	0.09	0.08	0.15	0.23	7.5	8.1	67	48	6.8
BA	MP 13	A	2.12.2008	35	94	162	626	56	18	110	254	2273	952	0.152	0.46	0.053	0.017	0.10	0.24	0.48	0.89	10.7	13.6	66	64	4.8
BA	MP 1	B	1.1.2008	28	65	189	358	45	25	245	267	1201	566	0.123	0.18	0.030	0.016	0.16	0.17	0.18	0.37	5.0	6.5	46	39	5.6
BA	MP 2	B	29.1.2008	28	30	268	558	53	52	467	359	2066	670	0.079	0.13	0.016	0.015	0.14	0.11	0.14	0.20	8.3	9.3	73	57	5.9
BA	MP 4	B	25.3.2008	29	246	102	627	26	23	129	152	1637	700	0.252	1.20	0.064	0.056	0.32	0.37	0.91	1.72	6.6	8.1	52	45	5.4
BA	MP 5	B	23.4.2008	27	54	74	1307	178	105	910	92	2693	1147	0.040	0.55	0.096	0.057	0.49	0.05	0.33	0.62	13.9	14.2	134	70	7.1
BA	MP 6	B	20.5.2008	28	146	47	886	66	60	676	74	2414	1033	0.068	1.01	0.097	0.088	0.99	0.11	0.80	1.51	9.5	10.8	92	63	7.0
BA	MP 7	B	17.6.2008	28	134	65	613	57	48	591	81	1457	659	0.087	0.64	0.076	0.065	0.79	0.11	0.44	0.88	6.2	7.7	72	40	7.3
BA	MP 8	B	15.7.2008	28	128	58	1052	120	46	536	123	1430	693	0.074	1.04	0.153	0.059	0.68	0.16	0.41	0.88	8.4	9.5	94	41	7.5
BA	MP 9	B	12.8.2008	28	162	67	479	49	23	223	118	972	499	0.108	0.60	0.079	0.037	0.36	0.19	0.36	0.81	3.4	5.5	45	29	6.0
BA	MP 10	B	9.9.2008	28	104	63	454	46	44	658	98	1351	698	0.065	0.37	0.047	0.046	0.68	0.10	0.32	0.72	5.7	7.3	66	39	6.5
BA	MP 11	B	7.10.2008	28	136	32	304	32	23	365	55	1096	415	0.044	0.32	0.044	0.031	0.50	0.07	0.34	0.56	3.0	5.1	41	28	5.9
BA	MP 12	B	4.11.2008	28	34	150	834	54	30	298	248	1904	662	0.052	0.22	0.018	0.010	0.10	0.09	0.15	0.23	7.8	9.3	73	51	5.7
BA	MP 13	B	2.12.2008	35		Bulkbehälter rinnt beim Auftauen, Riss im Boden, Probe verworfen																				
WIE	MP 1	A	9.1.2008	22	13	7804	1307	326	363	6566	11776	1934	4814	0.991	0.13	0.041	0.046	0.83	1.50	0.06	0.61	82.9	79.6	778	464	7.9
WIE	MP 2	A	31.1.2008	35	34	3579	807	373	301	8726	5335	1942	4440	1.225	0.21	0.128	0.103	2.99	1.83	0.15	1.52	67.2	60.1	670	274	8.4
WIE	MP 3	A	6.3.2008	27	45	2955	1083	211	132	4108	4220	2394	2263	1.336	0.38	0.095	0.060	1.86	1.91	0.24	1.02	43.1	39.6	410	205	7.8
WIE	MP 4	A	2.4.2008	28	117	420	1040	121	119	2154	655	2229	1759	0.492	0.95	0.142	0.139	2.52	0.77	0.59	2.06	19.8	19.2	196	91	8.0
WIE	MP 5	A	30.4.2008	30	46	206	1257	434	264	5110	348	3117	1563	0.095	0.45	0.201	0.122	2.37	0.16	0.33	0.72	33.2	29.6	366	93	8.2
WIE	MP 6	A	30.5.2008	31	89	128	1393	160	177	2656	179	3348	1576	0.114	0.96	0.142	0.157	2.36	0.16	0.67	1.40	21.0	21.8	234	92	8.0
WIE	MP 7	A	30.6.2008	38	104	207	1018	223	208	3028	229	2449	1155	0.216	0.82	0.232	0.216	3.15	0.24	0.58	1.20	20.5	20.2	239	70	8.1
WIE	MP 8	A	7.8.2008	26	116	54	622	67	77	1153	132	1132	575	0.063	0.56	0.078	0.089	1.34	0.15	0.30	0.67	8.2	9.1	102	34	7.6
WIE	MP 9	A	2.9.2008	34	96	94	714	129	105	2197	207	1731	1235	0.090	0.53	0.124	0.101	2.10	0.20	0.37	1.18	15.4	14.8	165	59	7.8
WIE	MP 10	A	6.10.2008	28	127	33	694	62	66	1565	72	1441	1205	0.042	0.68	0.078	0.084	1.98	0.09	0.41	1.52	11.7	11.8	125	50	7.7
WIE	MP 11	A	3.11.2008	30	17	9036	1073	1043	276	10682	16140	3237	8536	1.525	0.14	0.176	0.047	1.80	2.72	0.12	1.44	112.8	111.6	1035	685	8.2
WIE	MP 12	A	3.12.2008	33	56	4849	1422	151	140	2916	7801	1775	4374	2.719	0.62	0.085	0.078	1.64	4.37	0.22	2.45	49.0	52.0	451	340	7.6
WIE	MP 1	B	8.1.2008	23	14	8364	994	256	270	5871	12516	2298	5747	1.207	0.11	0.037	0.039	0.85	1.81	0.07	0.83	80.6	80.5	741	510	7.9
WIE	MP 2	B	31.1.2008	35	35	6318	1233	373	282	9388	10000	2475	8607	2.192	0.33	0.129	0.098	3.26	3.47	0.19	2.99	90.0	87.3	844	501	8.2
WIE	MP 3	B	6.3.2008	27	49	2452	1079	146	134	4084	3616															

## 7.5 Midefix- Messwerte 2008

Code	Anfangsdatum	Dauer	MD		KD		MF		MD		KD		MF	
			NH <sub>3</sub>		NH <sub>3</sub>		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		HNO <sub>3</sub>		HNO <sub>3</sub>		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	
			Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD
		d	d	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>	µg m <sup>-3</sup>
BA	1.1.2008	14	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0						
BA	15.1.2008	14	0.9	0.1	0.0	0.0	0.7	0.0						
BA	29.1.2008	14	1.3	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0						
BA	12.2.2008	14	3.3	0.2	0.0	0.0	3.6	0.0						
BA	26.2.2008	8	2.0	0.3	0.0	0.0	0.7	0.0						
BA	11.3.2008	14	0.7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0						
BA	1.1.2008	28							0.8	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0
BA	29.1.2008	30							1.5	0.0	0.1	0.0	6.2	0.2
BA	28.2.2008	26							0.6	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0
BA	25.3.2008	14	0.7	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0
BA	8.4.2008	15	0.9	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.8	0.0	0.1	0.0	1.4	0.0
BA	23.4.2008	13	1.5	0.1	0.0	0.0	0.9	0.1	1.2	0.0	0.0	0.0	2.1	0.1
BA	6.5.2008	14	3.2	0.2	0.0	0.0	1.1	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	2.1	0.1
BA	20.5.2008	14	4.6	0.2	0.0	0.0	1.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	2.7	0.1
BA	3.6.2008	14	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.6	0.1	0.0	0.0	1.7	0.0
BA	17.6.2008	14	3.2	0.2	0.0	0.0	1.2	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	2.1	0.1
BA	1.7.2008	14	1.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0
BA	15.7.2008	14	1.7	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	1.5	0.1
BA	29.7.2008	14	2.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0
BA	12.8.2008	14	1.1	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0
BA	26.8.2008	14	1.5	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	1.1	0.0	0.1	0.0	2.2	0.1
BA	9.9.2008	14	1.6	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	3.1	0.2
BA	23.9.2008	14	0.8	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.5	0.0	0.1	0.0	3.4	0.0
BA	7.10.2008	14	1.4	0.1	0.0	0.0	1.6	0.0	0.9	0.2	0.1	0.0	4.7	0.1
BA	21.10.2008	14	1.9	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1	0.5	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0
BA	4.11.2008	28	2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.7	0.0	0.1	0.0	3.0	0.0
BA	2.12.2008	35	0.3	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	2.2	0.0
TAE	8.1.2008	29	4.9	0.0	0.0	0.0	1.5	0.1	0.8	0.0	0.2	0.0	4.0	0.0
TAE	6.2.2008	22	8.9	0.0	0.0	0.0	3.2	0.1	1.4	0.0	0.1	0.0	8.7	0.2
TAE	28.2.2008	28	3.1	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.7	0.1
TAE	27.3.2008	14	3.8	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0
TAE	10.4.2008	14	3.7	0.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0
TAE	24.4.2008	14	7.5	0.4	0.0	0.0	1.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0
TAE	8.5.2008	14	9.1	0.2	0.0	0.0	1.2	0.0	1.4	0.0	0.1	0.0	2.3	0.0
TAE	22.5.2008	14	4.9	0.3	0.0	0.0	0.9	0.1	0.8	0.0	0.1	0.0	2.3	0.0
TAE	5.6.2008	14	3.5	0.1	0.0	0.0	1.0	0.1	0.9	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
TAE	19.6.2008	14	5.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
TAE	3.7.2008	13	2.7	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.2	0.1
TAE	16.7.2008	15	4.6	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	1.2	0.0	0.1	0.0	1.6	0.1
TAE	31.7.2008	14	5.5	0.1	0.0	0.0	0.5	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0
TAE	14.8.2008	14	2.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	1.5	0.1
TAE	28.8.2008	14	3.4	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.1	0.1	0.0	0.0	1.6	0.0
TAE	11.9.2008	14	3.5	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	4.1	0.1
TAE	25.9.2008	14	5.3	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	2.5	0.1
TAE	9.10.2008	14	6.5	0.2	0.0	0.0	1.5	0.1	0.6	0.0	0.1	0.0	4.1	0.0
TAE	23.10.2008	14	3.7	0.2	0.0	0.0	1.7	0.1	0.2	0.0	0.1	0.0	4.0	0.0
TAE	6.11.2008	28	4.9	0.0	0.0	0.0	1.8	0.1	0.8	0.0	0.1	0.0	4.8	0.2
TAE	4.12.2008	35	3.7	0.1	0.0	0.0	2.7	0.1	1.0	0.0	0.1	0.0	6.4	0.1



## 7.7 Stationsbeschreibung und Einzelresultate

In diesem Kapitel werden für jede Station ein Stationsblatt mit einem Kartenausschnitt, Fotos, Kurzbeschreibung, geschätzten Ammoniak-Emissionen in der Umgebung, gemessene Konzentrationen resp. Frachten der Stickstoff-Komponenten 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.

### 7.7.1 Abkürzungen und Definitionen

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: <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>—</td> <td>keine Einwohner</td> </tr> <tr> <td>Einzelgebäude, Einzelhöfe</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Weiler</td> <td>&lt;1'000 Einwohner</td> </tr> <tr> <td>kleines Dorf</td> <td>1'000 – 3'000 Einwohner</td> </tr> <tr> <td>grosses Dorf</td> <td>3'000 – 10'000 Einwohner</td> </tr> <tr> <td>Kleinstadt</td> <td>10'000 – 50'000 Einwohner</td> </tr> <tr> <td>Stadt</td> <td>&gt; 50'000 Einwohner</td> </tr> </table>	—	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
—	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														

### 7.7.2 Standorteinteilung in Belastungstypen, Bewirtschaftungstypen und Immissionstypen für Ammoniak

Die Standorte werden auf Grund ihrer geografischen Lage und ihrer unterschiedlichen Immissionsbelastung in Belastungstypen eingeteilt, angelehnt an die Belastungstypen der NABEL-Stationen (Tabelle 17).

Tabelle 17 Einteilung der Standorte in Belastungstypen

<b>Ländlich</b> , oberhalb 900 m ü. M.	BA
<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	APS, HÄG, BAV, ESCH, MAU, TAE, EST, HUD 3, SCH
<b>Ländlich</b> , verkehrsbelastet	SLI
<b>Städtisch</b>	ZUE
<b>Städtisch</b> , verkehrsbelastet	SWA, WIE

Die ländlichen Standorte werden auf Grund ihrer unterschiedlichen Bewirtschaftungsart in Bewirtschaftungstypen eingeteilt (Tabelle 18).

Tabelle 18 Einteilung der Standorte in Bewirtschaftungstypen.

Sehr intensiv bewirtschaftet	APS, HÄG
intensiv bewirtschaftet	BAV, ESCH, MAU, TAE, EST
extensiv bewirtschaftet	BA, HUD 3, 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 19). An Standorten mit späterem Messbeginn werden die vorhandenen Mittelwerte berücksichtigt.

Tabelle 19 Einteilung der Standorte in Immissionstypen

> 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH <sub>3</sub>	APS, SLI, HÄG
5 – 8 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH <sub>3</sub>	BAV, SWA, WIE, TAE, ESCH, MAU
3 – 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH <sub>3</sub>	EST, ZUE
1 – 3 $\mu\text{g m}^{-3}$ NH <sub>3</sub>	HUD 3, BA, SCH

### 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 NO<sub>2</sub>-Konzentrationen (Passivsammler)

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

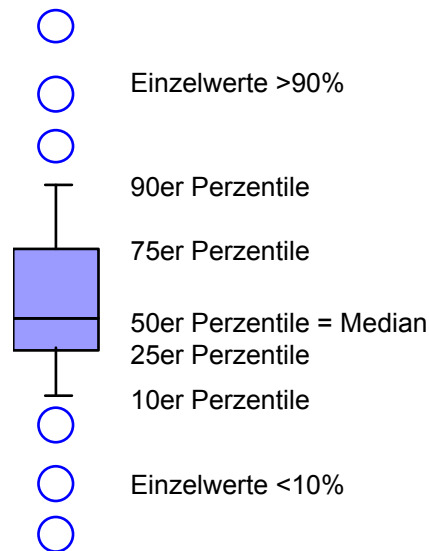
Die Jahres-, Monats- und Saisonmittelwerte wurden verwendet, wenn mindestens 80% der Zeit gemessen wurde.

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).



#### Ammoniak-, Ammonium-, Salpetersäure- und Nitrat-Konzentrationen (Midifix)

Die Jahresmittelwerte der Ammoniak-, Ammonium-, Salpetersäure- und Nitrat-Konzentrationen aus Minidenudern und Filtern werden tabellarisch, die Monatsmittelwerte als Verlaufsgrafik dargestellt.

#### Ionen in der Bulk-Deposition

Die Jahresmittelwerte der Ionenfrachten und des Niederschlages werden tabellarisch, die Monatsmittelwerte der Ammonium- und Nitratfrachten als Verlaufsgrafik dargestellt.

