



---

Stickstoff-Deposition  
Tänikon - Bachtel - Schänis  
2002

Im Auftrag von  
OSTLUFT



Projektdurchführung:  
FUB - Forschungsstelle für Umweltbeobachtung

Dezember 2003

---

Forschungsstelle für Umweltbeobachtung

Untere Bahnhofstrasse 30  
Postfach 1645  
CH-8640 Rapperswil

Copyright

OSTLUFT, Projekt N-Deposition

Fritz Zürcher, AfU App. A.Rh. (Leitung); Markus Meier, AWEL ZH; Jürg Hertz, AfU TG

[www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)

Dezember 2003

# Stickstoffdeposition 2002 im OSTLUFT-Gebiet

## 1 Zusammenfassung

### Fazit der vorliegenden Untersuchung:

- Naturnahe Ökosysteme erhalten **zuviel Stickstoff-Dünger** aus der Luft.
- Die Ablagerung von Stickstoff-Verbindungen aus der Luft ist hauptsächlich **während der Vegetationsperiode** aufgetreten.
- Die Stickstoffdüngung aus der Luft ist in den letzten sieben Jahren **unverändert hoch** geblieben.
- Die an den OSTLUFT-Messstellen abgelagerten Stickstoff-Verbindungen stammen **mehrheitlich von der Nutztierhaltung**.

### 1.1 Untersuchungsrahmen

Die Ablagerung von Stickstoffverbindungen aus der Luft wurde im Jahre 2002 im OSTLUFT-Gebiet an drei unterschiedlichen Standorten erfasst:

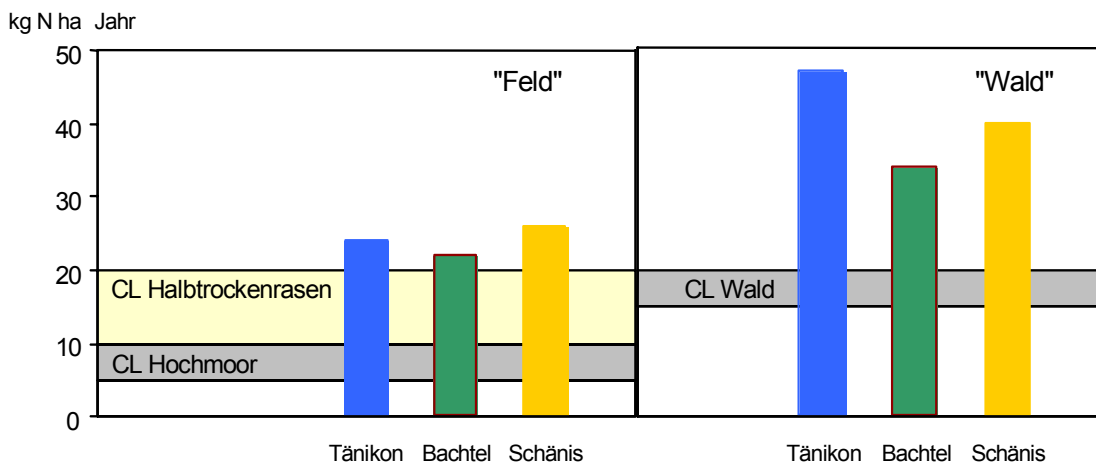
intensiv bewirtschaftet	<b>Tänikon</b> , neben der Eidgenössischen Forschungsanstalt FAT (NABEL-Messstation) 540 m ü M
halbintensiv bewirtschaftet	<b>Bachtel</b> , Hinterer Sennenberg 930 m ü M
extensiv bewirtschaftet	<b>Schänis</b> , Waldlichtung am Südhang oberhalb der Linthebene (WSL Messstelle) 630 m ü M

Ziel der Messungen war es:

- Die Stickstoff-Einträge in Gebieten mit unterschiedlichen Quelleneinflüssen zu erfassen und damit
- die Basis zu schaffen für eine spätere Überprüfung der Wirksamkeit von Massnahmen zur Minderung der Ammoniak-Verluste aus der Tierhaltung (Erfolgskontrolle).

## 1.2 Gesamtstickstoff-Einträge

Die Ablagerung von Stickstoffverbindungen aus der Luft erfolgt über verschiedene Wege. Im Rahmen des Projektes wurden diejenigen Stickstoffkomponenten erfasst, welche über die wichtigen Eintragspfade d.h. mit Regen und Schnee, Feinstaub und Aerosolen sowie über die Gasphase abgelagert wurden. Für jede der drei Ablagerungsformen wurden spezielle Sammelverfahren eingesetzt. Die Gesamtbelastung wurde aus den Beiträgen der nassen und trockenen Ablagerungen und den aus der Gasphasenkonzentrationen in Verbindung mit mittleren Depositionsgeschwindigkeiten<sup>1</sup> ableitbaren Einträgen berechnet. Zur Einschätzung der örtlichen Stickstoffeinträge wurden die ermittelten Gesamtbelastungen mit den für einzelne Vegetationssysteme (Ökotypen) bekannten Belastbarkeitsschwellen (critical loads<sup>2</sup>) verglichen. An allen drei Standorten im OSTLUFT-Gebiet überschritten die gesamten Stickstoff-Einträge im Jahre 2002 die Belastbarkeitsgrenze für sensible Ökotypen. Für Halbtrockenrasen waren die Überschreitungen knapp, für Moore und Wälder massiv (Abb. Z1). Die gemessenen Werte bestätigen die Belastungswerte, die sich auf Modellrechnungen mit Emissionsinventaren abstützen (OSTLUFT-Bericht Dezember 2000).



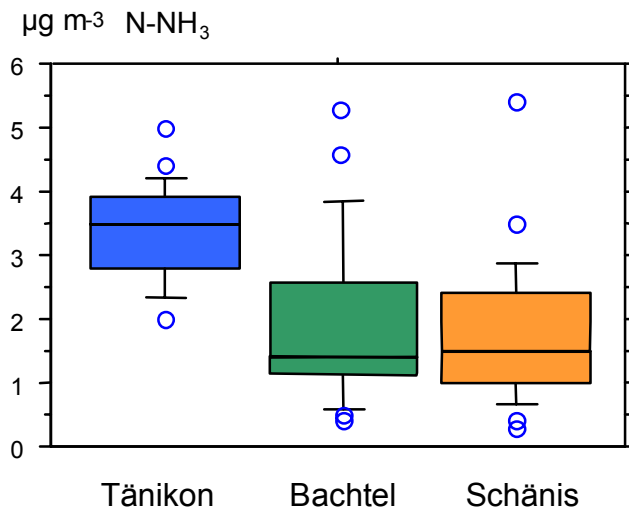
**Abb. Z1** Vergleich der Gesamtstickstoff-Einträge an den drei Standorten mit den Belastbarkeitsschwellen critical loads (CL) für die Ökotypen Halbtrockenrasen und Moore = "Feld" einerseits und für "Wald" andererseits.

<sup>1</sup> Frachten berechnet aus Gaskonzentration und mittleren Depositionsgeschwindigkeiten für den jeweiligen Rezeptor (Hochmoor, Halbtrockenrasen, Waldökosystem)

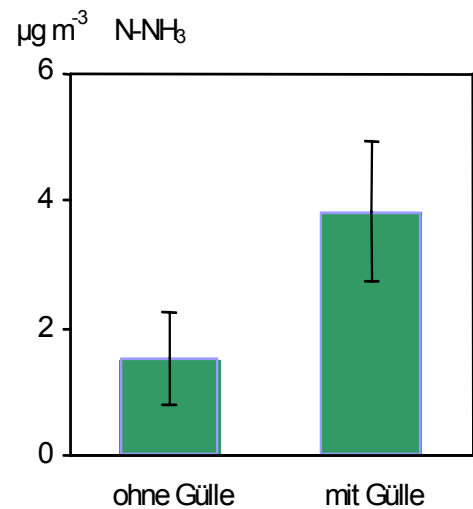
<sup>2</sup> maximaler Stickstoff-Eintrag, welcher ein bestimmtes Ökosystem verkraften kann, ohne langfristig geschädigt zu werden

### 1.3 Beitrag der verschiedenen Stickstoff-Komponenten

Im Jahr 2002 lag die durchschnittliche Ammoniak-Konzentration an der Station Tänikon bei  $3.5 \mu\text{g m}^{-3}$  (Median). Sie überschritt damit die Vergleichswerte der Standorte Bachtel und Schänis um mehr als das Zweifache. Umgekehrt wurden an diesen beiden Standorten die höchsten Extremwerte und die grösste Streuung der mittleren 4-Wochen-Konzentrationen gefunden (Abb. Z2).



**Abb. Z2** Schwankungsbereich der mittleren Gas-Konzentrationen von Ammoniak an den drei Messstellen Tänikon, Bachtel und Schänis im Jahr 2002. Darstellung von Median, Perzentilwerten und Extremwerten der 14-tägigen Messperioden ( $n=22-24$ )



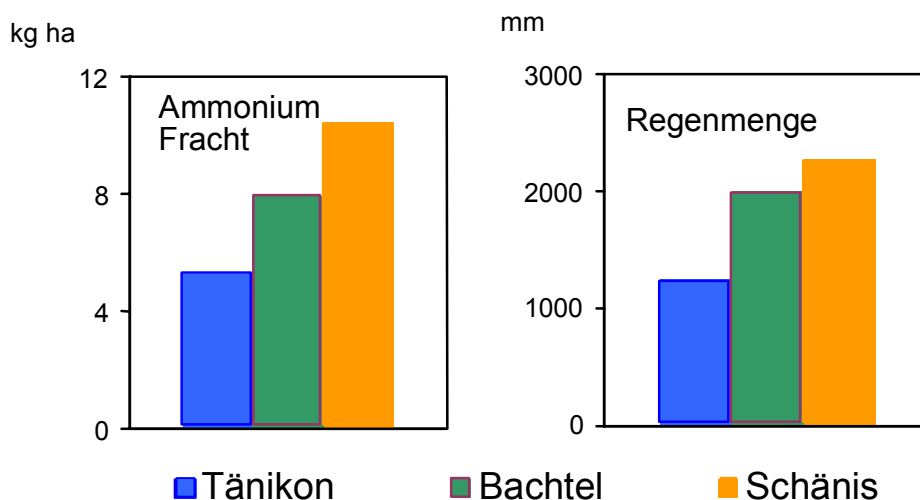
**Abb. Z3** Mittlere Ammoniak-Konzentration und Standardabweichung während Perioden ohne bzw. mit Gülleausstrag am Messort Bachtel (Vegetationsperiode April - Oktober 2002).

In Quellennähe ist der Beitrag von Ammoniak für die Düngung aus der Luft massgebend. Wegen seiner Reaktivität und dem ausgeprägten Bindungsvermögen auf der Vegetationsoberfläche nimmt seine Konzentration mit zunehmender Distanz von der Quelle rasch ab. Kurzzeitig erhöhte Konzentrationen sind durch Weidegang, temporär belastende Aktivitäten wie Hofdüngerausstrag oder regionale Verfrachtungen erklärbar.

Auf dem Bachtel konnte der Einfluss der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung sehr gut beobachtet werden. Im Anschluss an den Gülleausstrag sind die gemessenen Ammoniak-Konzentrationen regelmässig angestiegen (Abb. Z3).

Die mit den Niederschlägen abgelagerten Stickstoffverbindungen (nasse Deposition) verlaufen parallel zu den Niederschlagsmengen. Eine Verdoppelung der Niederschlagsmengen war auch mit einer Verdoppelung der Ammoniumfrachten verbunden (Abb. Z4). Eine ähnliche Abhängigkeit zeigen auch die,

mit den Niederschlägen abgelagerten Nitrat-Frachten. Daraus kann abgeleitet werden, dass diese Stickstoffverbindungen grossräumig, relativ homogen verteilt sind und bevorzugt durch die Niederschläge ausgewaschen werden.



**Abb. Z4** Vergleich der mittleren jährlichen Ammonium-Fracht (als  $N-NH_4^+$ ) im Niederschlag mit der Regenmenge an den drei Messstellen Tänikon, Bachtel und Schänis im Jahr 2002

Die Auswaschung von Stickstoffverbindungen, die bevorzugt an Feinstäuben und Aerosolen angereichert wurden und weiträumig verfrachtet werden, variiert je nach Ausmass der Niederschlagsmengen sehr stark. Entsprechend liefern die ausgewaschenen Stickstoffverbindungen (Ammonium- und Nitrat-Stickstoff) darum je nach Standort und Ökotyp (Vegetation) zwischen 25 – 73 % der gesamten Stickstoffbelastung (Tab. Z1).

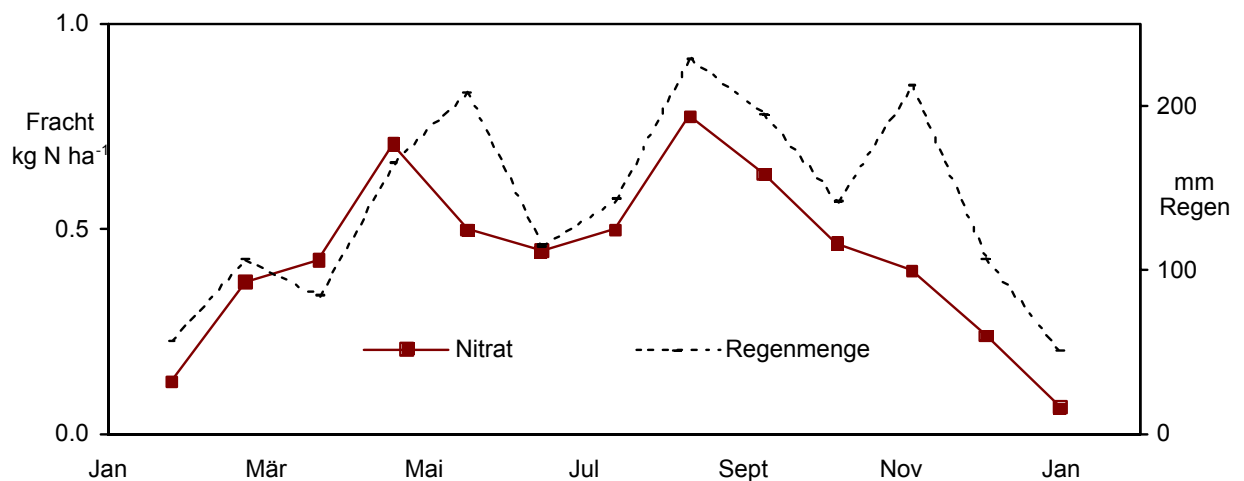
**Tab. Z1** Prozentualer Anteil des Stickstoffdüngers der aus der Luft ausgewaschen wird. Vergleich des Eintrages an den drei Stationen bezogen auf ausgewählte Ökotypen Halbtrockenrasen und Moore = "Feld" einerseits und "Wald" andererseits.

Ökotyp	"Feld"	"Wald"
Station	Anteil Auswaschung %	
Tänikon	45	25
Bachtel	72	51
Schänis	73	55

## 1.4 Saisonaler Eintrag

Die Stickstoffdüngung aus der Luft wird hauptsächlich durch die Einträge von Stickstoffverbindungen mit den Niederschlägen und die direkte Bindung von Stickstoff haltigen Gasen geprägt. Weil die Hauptmenge des Jahresniederschlages im Sommerhalbjahr anfällt erfolgt auch der grösste Teil der nassen Stickstoffeinträge während dieser Zeit (Abb. Z5). Auch die Konzentration der Gase Ammoniak und Salpetersäure sind im Sommer erhöht und verstärken dementsprechend den gesamten Stickstoffeintrag während der Vegetationszeit.

Trotz erhöhten Stickstoffdioxid-Konzentrationen in der Gasphase und der Anreicherung von nitrathaltigen Aerosolen im Winter bleiben die abgelagerten Frachten oxidiertes Stickstoffverbindungen über die Wintermonate niedriger als im Sommer.



**Abb. Z5** Saisonaler Verlauf des Nitrat-Eintrages über die Niederschläge im Jahr 2002. 4-Wochen-Mittelwert über die drei Stationen im Vergleich mit dem Verlauf der Regenmenge.

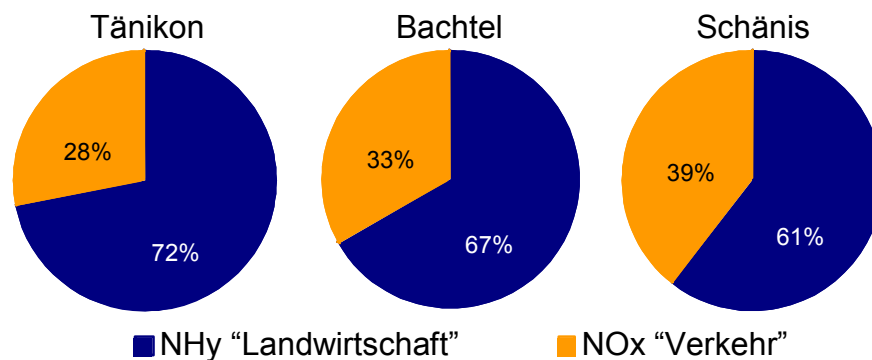
## 1.5 Quellenzuordnung

Die reduzierten Stickstoffverbindungen (Ammoniak und Ammonium) stammen hauptsächlich aus landwirtschaftlichen Quellen (biogene Prozesse, Zersetzung von Hofdünger und Biomasse). Die oxidierten Stickstoffverbindungen (Stickstoffdioxid, Nitrat und Salpetersäure) sind hauptsächlich auf Verkehrsemissionen (Motorenabgase) und zu einem geringen Teil auf Feuerungsabgase und andere Quellen zurückzuführen.

An allen drei Standorten dominiert der Anteil der reduzierten Stickstoffverbindungen die gesamte Stickstoff-Belastung für den Ökotyp "Feld" mit 60 -

70 % (Abb. Z6). Als Folge der Auskämmwirkung von Nadelbäumen erreichen die reduzierten Verbindungen beim Ökotyp "Wald" sogar einen Anteil an der gesamten Stickstoffbelastung von bis zu 80%. Je ausgeprägter die landwirtschaftliche Bewirtschaftung, umso höher war der Beitrag der reduzierten Stickstoff-Verbindungen an der Gesamtbelastung (Abb. Z6 Tänikon 72%).

In Tänikon stammt rund die Hälfte der Gesamtbelastung direkt von gasförmigem Ammoniak, an den Stationen Bachtel und Schänis dagegen nur rund 25 %. Der Anteil der nass und trocken abgelagerten Ammoniumverbindungen verhält sich umgekehrt zum Beitrag von Ammoniak. Der Anteil dieser "gebundenen" Ammoniak-Anteile erreichte in Tänikon 24%, Bachtel 40% und Schänis 37% der gesamten Stickstoff-Belastung.



**Abb. Z6** Quellen-Beiträge an der gesamten Stickstoffbelastung im Ökotyp "Feld". Unterschiedliche Anteile von reduzierten (NHy "Landwirtschaft"/ Nutztieremissionen) und oxidierten Verbindungen (NOx "Verkehr"/ Motorenabgase) im Jahre 2002.

Die Belastung durch oxidierte Stickstoff-Verbindungen wurde an allen Standorten mehrheitlich durch Auswaschung und trockene Ablagerung von Nitrat haltigen Luftpartikeln geprägt. Ihr Anteil an der gesamten Stickstoffbelastung betrug in Tänikon 19%, auf dem Bachtel 30% und in Schänis 37%.

Die Einbindung von Stickstoffdioxid aus der Gasphase war relativ gering, nur bei Tänikon konnten rund 8% des Gesamtstickstoffs darauf zurückgeführt werden. An Standorten mit viel Verkehr würde dieser Anteil deutlich höher ausfallen. Auch die direkte Ablagerung von Salpetersäure ist an den drei Messstandorten als sehr gering einzuordnen.

## 1.6 Langzeittrend

Bedingt durch meteorologische Einflüsse (Ausbreitungsbedingungen) schwanken die Stickstoff-Einträge aus der Luft von Jahr zu Jahr. Im langjährigen Mittel ist auf dem Bachtel ein geringer Belastungsrückgang zu erkennen, der sich



aber nach dem Jahr 2000 nicht mehr fortgesetzt hat (Abb. Z7). Die anfängliche Veränderung zwischen 1995 und 1998 ist durch den leicht rückläufigen Beitrag von oxidierten Stickstoffverbindungen als Folge der Stickoxid-Minderung bei den Verkehrsemissionen (PW-Kat) nachvollziehbar. Von den Stationen Tänikon und Schänis fehlen die mehrjährigen Messreihen noch.

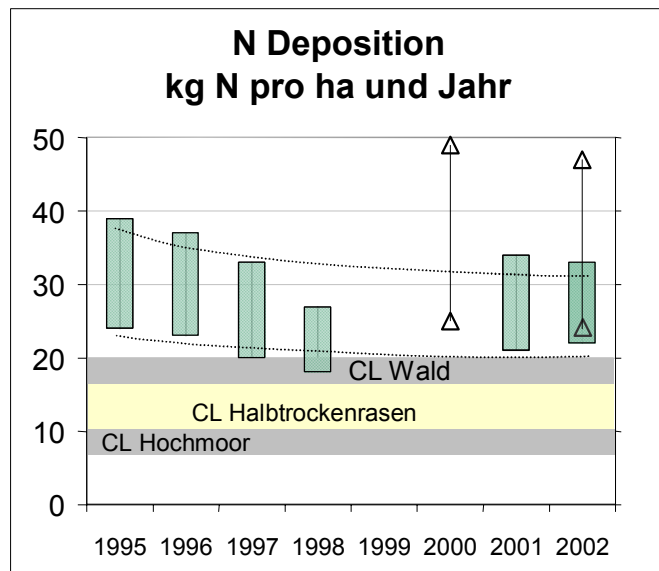


Abb. Z7: Entwicklung der Stickstoffdeposition in der Ostschweiz. Balken basieren auf Messungen vom Bachtel (ZH), Dreiecke repräsentieren Werte von Tänikon (TG). Das untere Niveau bezieht sich auf Belastungen im freien Feld, die oberen Reihen auf die Belastung von schadstofffiltrierenden Waldökosysteme. Die geringe Absenkung im langfristigen Trend ist durch einen Rückgang beim Eintrag von oxidierten Stickstoffverbindungen erklärbar (NO<sub>x</sub>-Minderung).

## 1.7 Ausblick

Im Jahr 2003 werden sowohl in Tänikon (TG) wie auch auf dem Bachtel (ZH) ausser Salpetersäure<sup>3</sup> noch einmal alle Komponenten erfasst. Die Messintervalle werden beibehalten (2- bis 4-Wochen-Perioden). Auch die Messungen in Schänis werden im gleichen Rahmen weitergeführt. Neu werden zwei zusätzliche Messstellen in Appenzell-Steinegg und Häggenschwil SG betrieben. Damit soll die räumliche Abdeckung über den OSTLUFT-Raum und der Bezug zur Nutztierhaltung verbessert werden.

Im Umland der Station Bachtel wird die Gülle ab Frühjahr 2003 neu mit Schleppllauchverteiler statt wie bisher mit Breitverteiler ausgebracht. Die geplanten Messungen erlauben allenfalls Rückschlüsse auf die emissionsmindernde Wirkung der neuen Ausbringtechnik.

<sup>3</sup> Für die Abschätzung der N-Einträge kann auf die Erfassung von gasförmigem HNO<sub>3</sub> verzichtet werden (unbedeutender Anteil vgl. Thöni & Seitler 2002). NO<sub>2</sub> muss jedoch berücksichtigt werden.

