

Bundesamt und Forschungszentrum für Wald
Institut für Waldschutz, Abteilung Immissionen
Bericht ICP-DEP 1 / 2004

Messungen der nassen Deposition auf den Level II Flächen – Ergebnisse 1996-2003

Ozonmessungen 2001-2003 (Flächen 9, 16)

Stefan SMIDT

Zusammenfassung

Niederschlagsanalysen

Der mittlere pH-Wert lag auf allen 20 Level II Flächen unter 5,6, d.h., die Niederschläge sind saurer als unbelastete Niederschläge. Die Ionengehalte und Einträge zeigten häufig einen typischen Jahresgang, z.B. ein Frühjahrsmaximum der Sulfatkonzentration und der Stickstoffeinträge. Insgesamt war jedoch keine außergewöhnlich hohe Belastung durch überhöhte Ionenkonzentrationen oder Schadstoffdepositionen zu konstatieren, wenngleich Critical Loads fallweise überschritten wurden. 2003 war durch einen extrem heißen und trockenen Sommer und damit durch niedrigere Sommerniederschläge und Eintragungsmengen gekennzeichnet.

Auf der Basis der 8-jährigen Messperiode lässt sich feststellen:

- **Freiland:** Die niederschlagsreichsten Flächen Mondsee (OÖ., 860 m) und Hochhädrich (Vorarlberg, 1320 m) erreichten die höchsten Schwefel- und Stickstoffeinträge, insgesamt lag der Durchschnitt aller 20 Level II Flächen bei $4,5 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und $6,9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, wobei deutlich mehr $\text{NH}_4\text{-N}$ als $\text{NO}_3\text{-N}$ eingetragen wurde. Schwefel- und Stickstoffeinträge waren tendenziell abnehmend.
- **Kronendurchlass:** Deutlich höhere Werte an Ionenkonzentrationen (mit Ausnahme der Protonenkonzentrationen) waren im Kronendurchlass der Bestandesflächen zu finden. Dementsprechend verhielten sich die Einträge, die mit Ausnahme der Protoneneinträge im Gesamtdurchschnitt unter dem Kronendach deutlich erhöht waren. Die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Einträge waren im Vergleich zu den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Einträgen unter dem Kronendach im Gesamtmittel aller Flächen und Messjahre stärker erhöht.

Ozonanalysen

Die Ozonkonzentrationen des Sommers 2003 waren im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Jahren höher.

Schlüsselwörter: Level II Programm, Depositionsanalysen

Summary

Analysis of depositions

The mean pH-values were below the “natural pH” of 5.6 at all 20 plots. The mean contents of ions and deposition rates showed a pronounced course during the year, e.g. a spring maximum of the sulfate concentration and the nitrogen deposition. The overall concentrations and deposition rates were low compared to German and French Level II plots, although Critical Loads for nitrogen were exceeded at single plots. The deposition rates during the extremely dry summer 2003 were as low as expected.

Based on the 8-year measuring period stated:

- **Open field depositions:** The plots of the highest amounts of precipitation (Mondsee, Upper Austria, 860 m a.s.l.) and Hochhädlich (Vorarlberg, 1320 m a.s.l.) showed the highest deposition rates of sulfur and nitrogen. The overall mean of all 20 plots was $4.5 \text{ kg S ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and $6.9 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, respectively. The $\text{NH}_4\text{-N}$ amount was higher than the amount of $\text{NO}_3\text{-N}$. The overall trend of sulfur and nitrogen deposition rates was decreasing.
- **Throughfall:** The ion concentrations and accordingly the ion deposition rates - except the H-concentrations and the H-input - were significantly higher in the throughfall samples, especially those of potassium. $\text{NO}_3\text{-N}$ deposition rates were higher in the throughfall samples compared to $\text{NH}_4\text{-N}$.

Ozone measurements

The ozone concentrations of the summer 2003 were higher compared to the measuring years 2001 and 2002.

Keywords: Level II programme, analysis of depositions

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
Summary	3
1. Einleitung.....	3
2. Methodik	3
2.1. Flächen.....	3
2.1.1. Level II Flächen	3
2.1.2. Meteorologische Vergleichsstationen.....	3
2.1.3. WADOS-Vergleichsstationen.....	3
2.2. Probenahme.....	3
2.2.1. Freilandprobenahme	3
2.2.2. Kronendurchlassprobenahme.....	3
2.2.3. Stammablaufprobenahme.....	3
2.3. Depositionsanalysen	3
2.4. Ozonmessungen mit Passivsammlern.....	3
2.5. Statistische Auswertungen der Depositionsanalysen 1996-2002	3
3. Ergebnisse und Diskussion	3
3.1. Jahreswerte.....	3
3.1.1. Maximalwerte und Bandbreiten der Jahreswerte.....	3
3.1.2. Trends der Jahreswerte	3
3.1.3. Freiland- vs. Kronendurchlassniederschläge (Jahreswerte).....	3
3.2. Jahresgang.....	3
3.3. Flächenmittel (1996-2003).....	3
3.3.1. Freiland- bzw. Kronendurchlass-Niederschläge.....	3
3.3.2. Stammablaufmessungen (Fläche 9)	3
3.3.3. Vergleichsdaten von Jahreseinträgen aus Österreich, Deutschland und Frankreich	3
3.4. Vergleich der Niederschlagshöhen	3
4. Ergebnisse der Ozonmessungen mit Passivsammlern	3

Anhang

Mitarbeit

Labor: B. Becker (1996-1999), Chr. Abo Elschabaik (2000 - 2003)
 Datenbank: J. Leitner (1996-1999), H. Schaffer, MAS (2000-2003)
 Statistische Auswertungen (1996-2002): Dr. R. Hacker
 Gesamtstickstoffanalysen: Umweltbundesamt Wien (Dr. Frank)
 Ozonmessungen mit Passivsammlern: IVL Göteburg
 Ozon- und Temperaturdaten: Amt der NÖ. Landesregierung (Dr. Hann, Station Forsthof/NÖ.),
 Umweltbundesamt (DI Spangl; Station Stolzalpe/Stmk.)
 Exposition der Passivsammler an der Station Stolzalpe: Ing. Sarny, Umweltbundesamt
 Grafiken (Bildanhang): DI F. Kristöfel

Abkürzungen und Messeinheiten

FF, f	Freiland
KD, k	Kronendurchlass
LF	elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
mm	Millimeter Niederschlag
PF	Fläche
pH	pH-Wert
s	Stammablauf
Wo	Woche

Elementkonzentrationen (Messwerte)

K	Kalium (mg K L^{-1})
Ca	Calcium (mg Ca L^{-1})
Mg	Magnesium (mg Mg L^{-1})
Na	Natrium (mg Na L^{-1})
NH ₄ N	Ammoniumstickstoff ($\text{mg NH}_4 \text{ L}^{-1}$)
Cl	Chlorid (mg Cl L^{-1})
NO ₃	Nitratstickstoff ($\text{mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$)
SO ₄	Sulfatschwefel ($\text{mg SO}_4 \text{ L}^{-1}$)
Alk.	Alkalinität ($\mu\text{Equ L}^{-1}$)
N ges.	Konzentration an Gesamtstickstoff (Chemolumineszenz-Methode; mg N L^{-1})

Elementeinträge (berechnete Werte)

HE	Protoneneintrag ($\text{kg H ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
SE	Schwefeleintrag ($\text{kg S ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
NH ₄ NE	Ammoniumstickstoffeintrag ($\text{kg NH}_4\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
NO ₃ NE	Nitratstickstoffeintrag ($\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
NE	Nitrat-N + Ammonium-N ($\text{kg NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)

Weitere Abkürzungen

gMW	mengengewichtetes Mittel
MW	Mittelwert
MW b.	berechnetes Mittel
PF	Fläche
STD	Standardabweichung
WADOS	Wet and dry only sampler (Niederschlagssammler für gesonderte Probenahme von trockener und nasser Absetzdeposition; die WADOS-Ergebnisse enthalten jedoch nur die nassen Anteil)
ZAMG	Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

1. Einleitung

Das europäische Level II Programm

Die europäische Waldzustandserfassung ist ein gemeinsames Programm der Europäischen Union und der Vereinten Nationen. Gegenwärtig sind 37 europäische Länder beteiligt. Im Rahmen des Gesamtkonzeptes verfolgt die fachlich besonders umfassende Ebene „Level II“ das Ziel, Zustand und Entwicklung von beispielhaft ausgewählten Waldökosystemen sowie den Einfluss von Luftverunreinigungen, klimatischen und anderen Stressfaktoren zu erforschen. Der Eintrag von Luftschadstoffen verändert die Lebensgemeinschaft Wald und ist sowohl symptomatisch an Bäumen und Bodenpflanzen erforscht als auch an chemischen und physikalischen Merkmalen messbar. Das Erhebungsprogramm umfasst Informationen zum sichtbaren Zustand des Waldes, chemische und meteorologische Merkmale mit ihren Auswirkungen auf den Zustand des Waldes und hierbei u.a. die Deposition bzw. atmosphärische Einträge von Nähr- und Schadstoffen (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2002, 2003).

Der Stoffeintrag in Waldökosysteme erfolgt gasförmig, in Partikeln und gelöst im Niederschlag. Zu den wichtigsten Messparametern gehören pH-Wert bzw. der Protoneneintrag (Säureeintrag), Sulfat bzw. Schwefeleintrag (aus industriellen Prozessen), Nitrat bzw. Nitrat-Stickstoffeintrag (v.a. aus dem Verkehr) und Ammonium bzw. Ammonium-Stickstoffeintrag (v.a. aus der landwirtschaftlichen Produktion). Alkalien (Ca, Mg, K, Na) stammen hauptsächlich von der Erosion.

Depositionsmessungen im Rahmen des österreichischen Level II Programmes

Der vorliegende Bericht befasst sich mit dem Stoffeintrag durch den nassen Niederschlag. Dabei werden die gelösten Komponenten (Ionen) analysiert. Die Messung der "akzeptor-abhängigen" Deposition im Wald wird mit Niederschlagssammlern (Bulk-Sammlern) im Freiland durchgeführt (Freilandniederschläge), mit denen die Niederschläge quantitativ als Niederschlagshöhe bestimmt werden. Die unmittelbare Erfassung der „akzeptor-unabhängigen“ Deposition ist nicht möglich. Da diese aber einen wesentlichen Beitrag zum Stoffeintrag liefert, muss diese Komponente indirekt über Niederschlagsmessungen unter dem Kronendach ermittelt werden (Kronendurchlass bzw.

Stammablauf). Unter dem Kronendach kommt es wegen der Filtereigenschaften der Bäume einerseits zu einer Aufnahme durch die Pflanzenoberfläche und zu einer Adsorption an der Pflanzenoberfläche, andererseits zu Umsetzungen nach der Deposition v.a. an Pflanzenoberflächen und zu einer Auswaschung aus der Pflanzensubstanz.

Der Bestandesniederschlag, also jener Niederschlag, der auf den Waldboden auftrifft, setzt sich aus dem Kronendurchlass und dem Stammabfluss zusammen. Der Anteil des Stammabflusses am Bestandesniederschlag ist in Nadelholzbeständen sehr gering, in Buchenbeständen hingegen hoch.

Die Werbung von nassen Niederschlägen (Depositionen) in österreichischen Waldbeständen und auf nahegelegenen Freiflächen ist ein wesentlicher Teil der Untersuchungen im Rahmen des europäischen Waldmonitoring-Programmes ("ICP Forests Level II"). Diese Untersuchungen sind ein weiterer Schritt zur Intensivierung der "Waldzustands"-Überwachung. Die Erhebungen quantifizieren die Stoffeinträge in Wälder und damit leisten einen Beitrag zur Abschätzung der Wirkung der Schadstoffdepositionen.

Der vorliegende Bericht enthält eine Zusammenstellung der gemessenen und berechneten Daten der Jahre 1996-2003. Auswertungen der vorangegangenen Jahre wurden bereits publiziert (Smidt 1997, 1998ab, 1999, 2001, 2002 und 2003, Neumann & Themessl 1995, Neumann & Smidt 1997, Smidt & Englisch 1998, Smidt et al. 1999, Neumann et al. 2001).

Ziel der Auswertungen

- Auflistung bzw. Darstellung der Messdaten (Konzentrationen) und der berechneten Werte (Einträge) für die 20 Level II Flächen auf der Basis der Jahreswerte (gewichtete Konzentrationen, Einträge).
- Statistische Beurteilung der Entwicklung der wichtigsten Einträge (H^+ , Schwefel, NH_4-N , NO_3-N , Gesamt-N) für die ersten 8 Messjahre.
- Statistischer Vergleich der Flächen anhand der wichtigsten Einträge.
- Untersuchung der Jahres-Periodizität bzw. der mittleren Jahressgänge für die Summe aller Flächen.
- Vergleich der Level II Daten mit anderen Ergebnissen aus Österreich, Deutschland und Frankreich.
- Differenzierung einiger Ergebnisse nach Bestockung (Laub- und Nadelholzbestände) bzw. nach drei Höhenstufen.

2. Methodik

2.1. Flächen

Ende 1995 wurde die Installierung der Niederschlagssammler auf den 20 Flächen abgeschlossen (Neumann & Themessl 1995). Die Versuchsanordnung basiert auf dem Manuale der UN-ECE (1998). Die Lage der Level II-Flächen ist in w 2.1 wiedergegeben, nähere Angaben zu den Flächen finden sich bei Neumann et al. (2001), in Tabelle 1.1 und detaillierter im **Anhang 1**.

Abbildung 2.1:
Lage der Level II Flächen
(Grafik: Kristöfel, BFW)



2.1.1. Level II Flächen

In Tabelle 2.1 sind die wichtigsten Angaben über die Flächen sowie die Höhenstufen und die Bestockung angeführt.

Tabelle 2.1: Level II Flächen (detaillierte Angaben sind in Anhang 1 enthalten). Fett gedruckt: Intensiv-Plots, auf denen seit 2001 zusätzlich Ozonmessungen mit Passivsammlern sowie meteorologische Messungen durchgeführt werden. Höhenstufen: 1 = bis 500 m, 2 = 500 – 1000 m, 3: > 1000 m.

Nadelholz: >90 % mit Nadelbäumen bestockt, Laubholz: > 90% mit Laubbäumen bestockt

Fläche	Fläche Nr.	m Seehöhe	Höhenstufe	Bestockung
Sauerbrunn	1	390	1	Laubholz
Unterpullendorf	2	290	1	Laubholz
Brückl	3	930	2	Nadelholz
Greifenburg	4	1190	3	Nadelholz
Fresach	5	720	2	Nadelholz
Pöggstall	6	860	2	Nadelholz
Grimmenstein	7	500	1	Laubholz
Dobersberg	8	630	2	Nadelholz
Klausen-Leopoldsdorf	9	510	2	Laubholz
Hochburg	10	460	1	Nadelholz
Mondsee	11	860	2	Nadelholz
Lungötz	12	920	2	Nadelholz
Leutschach	13	670	2	Nadelholz
Niklasdorf	14	960	2	Nadelholz
Mürzzuschlag	15	715	2	Nadelholz
Murau	16	1540	3	Nadelholz
Jochberg	17	1050	3	Nadelholz
Ehrwald	18	1020	3	Nadelholz
Zillertal	19	1490	3	Nadelholz
Hochhädrich	20	1320	3	Nadelholz

2.1.2. Meteorologische Vergleichsstationen

Die Niederschlagshöhen (Jahresniederschläge) der Level II Freilandstationen wurden für die ersten 7 Messjahre mit jenen den nächstgelegenen Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik verglichen (Abschnitt 3.4).

2.1.3. WADOS-Vergleichsstationen

Zum Vergleich der Ergebnisse der Level II Flächen wurden aggregierte Jahresdaten der über 30 WADOS-Vergleichsstationen (Messung der nassen Wet-only-Depositionen durch einige Bundesländer bzw. durch die Technische Universität Wien) einbezogen.

2.2. Probenahme

Im Zuge der Probenahme werden die Niederschlagsmengen der einzelnen Bulk-Sammler gemessen und danach zu einer Freiland- und einer Kronendurchlassprobe vereinigt. Bei den Stammablaufproben wird die Niederschlagsmenge aus dem Wasserstand im Vorratsbehälter berechnet. Mit der Werbung der Freiland- und Stammablaufproben wurde im Jänner 1996 begonnen. Nur auf Fläche 8 konnte erst im August 1996 begonnen werden, die erste Beprobung

fand dort in der 34. Woche statt. Die Probenahmen werden alle zwei Wochen von lokalen Betreuern (**Anhang 2**) durchgeführt. Die Proben werden ungekühlt und ohne Zusatz von Konservierungsmittel an das Bundesamt und Forschungszentrum für Wald übermittelt. Dort werden sie gekühlt und innerhalb der nächsten Woche analysiert.

2.2.1. Freilandprobenahme

Auf den Freiflächen wurden in Distanzen zwischen 50 m und 1400 m Luftlinie von der jeweiligen Bestandes-Fläche je drei Bulk-Sammler - das sind stets offen gehaltene Auffanggefäße mit einem Durchmesser von 18 cm - installiert (Abbildung 2.2). Die Auffanghöhe beträgt 1,5 Meter. Die Sammelgefäße werden im Winter durch Schneesäcke ersetzt, die in die Stützrohre eingehängt werden.

Abbildung 2.2:
Freiland-Sammler



2.2.2. Kronendurchlassprobenahme

Am Rand der Flächen wurden jeweils 15 Bulk-Sammler in Reihe und in einem Abstand von je 3 Metern im Bestand aufgestellt. Die Sammelgefäße werden im Winter ebenfalls durch Schneesäcke ersetzt, die in die Stützrohre eingehängt werden (Abbildung 2.3).

Abbildung 2.3:
Kronendurchlass-Sammler



2.2.3. Stammablaufprobenahme

Auf der Fläche "Klausen-Leopoldsdorf" (Fläche 9) wurden an drei Buchen Stammablaufeinrichtungen angebracht. Hierbei wird in den schneefreien Perioden das am Stamm ablaufende Wasser mittels einer aufgeklebten Kunststoffrinne in einen 500 Liter Vorratsbehälter geleitet (Abbildung 2.4). Die projizierten Kronenflächen, die 1997 ermittelt wurden, betragen $20,75 \text{ m}^2$ (Baum 1), $22,01 \text{ m}^2$ (Baum 2) bzw. $15,28 \text{ m}^2$ (Baum 3) und die Summe somit 58 m^2 . Der Durchmesser der Vorratsbehälter beträgt 90 cm; 1 mm Wasserstand entspricht daher 0,636 Liter.

Abbildung 2.4:
Stammablauf-Sammler



2.3. Depositionsanalysen

Messgrößen

- **pH-Wert:** Der pH-Wert (= negativer dekadischer Logarithmus der in Mol pro Liter angegebenen Protonenkonzentration bzw. H^+ -Ionen-Konzentration, Maß für den Säuregrad) wird mit einer pH-Elektrode der Fa. Radiometer gemessen.
- **Elektrische Leitfähigkeit:** Die elektrische Leitfähigkeit ist ein Maß für den Gesamtionengehalt einer Lösung und wird in $\mu S\ cm^{-1}$ angegeben. Sie wird mit einer Leitfähigkeitszelle der Fa. Radiometer gemessen.
- **Ionenkonzentrationen:** Die Konzentrationen der Ionen Sulfat (SO_4^{2-}), Nitrat (NO_3^-), Ammonium (NH_4^+), Chlorid (Cl^-), Calcium (Ca^{++}), Magnesium (Mg^{++}), Natrium (Na^+) und Kalium (K^+) werden mit einem Dionex-100 (für Anionen) bzw. Dionex-120 (für Kationen) Ionenchromatograph analysiert.
- **Alkalinität:** Die Alkalinität wird durch Titration mit 0,01n HCl bis zu einem pH-Wert von 4,3 mit Hilfe eines Radiometer-Titrators ermittelt und in $\mu Equ\ L^{-1}$ angegeben.
- **Gesamtstickstoff:** Der Gesamtstickstoff wird in den unfiltrierten Stammablaufproben mit Hilfe einer Chemolumineszenzmethode durch das Umweltbundesamt Wien analysiert. 1996-2000 wurden die Analysen für alle 20 Flächen durchgeführt, ab 2001 nur mehr für die Flächen 9 und 16.

Berechnete Größen

- Die Niederschlagshöhen (mm) werden anhand der Niederschlagsmengen berechnet.
- Elementeinträge: Aus den Niederschlagshöhen und den Ionenkonzentrationen werden die Elementeinträge berechnet. Hierbei werden die H-Einträge aus den H-Konzentrationen bzw. den pH-Werten abgeleitet.

Berechnung der Elementeinträge: $E = c * mm * 0,01$

E: Eintrag des Ions bzw. Elementes ($kg\ ha^{-1}\ a^{-1}$)

c: mengengewichtete Konzentration des Ions bzw. Elementes

mm: Niederschlagshöhe

H-Eintrag ($kg\ ha\ a^{-1}$) = $10 * mm * 10^{-pH}$

Der Stickstoff-Eintrag wurde aus der Summe der Nitrat-N und Ammonium-N-Konzentrationen und den Niederschlagshöhen errechnet.

Beurteilungswerte

Relativwerte: Die Klassifizierung der Niederschlagswerte erfolgt aufgrund relativer Werte: Die Klassifizierung der pH-Werte auf der Basis des "natürlichen" Regen-pH-Wertes von 5,6, welcher sich nach der Lösung des CO₂ der Luft in reinem Wasser ergibt; jene der Ionenkonzentrationen anhand bisheriger Messwerte aus Österreich (Tabelle 2.2).

Tabelle 2.2: Klassifizierung der wichtigsten Parameter (Relativwerte bzw. Jahreswerte)

Parameter	Bandbreite	Relative Höhe der Werte	Klasse
pH	5,11 - 6,10	normal	1
	4,61 - 5,10	schwach abgesenkt	2
	< 4,61	abgesenkt	3
Leitfähigkeit ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	< 20,0	niedrig	1
	20,1 - 40,0	schwach	2
	40,1 - 60,0	erhöht	3
Sulfat-S , Nitrat-N, Ammonium-N (mg Element / Liter)	< 1,0	niedrig	1
	1,1 - 5,0	schwach	2
	> 5,0	erhöht	3
H-Einträge ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	< 0,10	niedrig	1
	0,11 - 0,20	schwach	2
	> 0,20	erhöht	3
S- bzw. N-Einträge ($\text{kg Element ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	< 5,0	niedrig	1
	5,1 - 10,0	schwach	2
	> 10,0	erhöht	3

Critical Loads: Eine näherungsweise Bewertung der Einträge wurde auch auf der Basis der Critical Loads für H-, S- und N-Einträge der WHO (1995) vorgenommen. Dies sind kritische Belastungsgrenzen für Einträge bzw. jene Einträge von Schadstoffen (Protonen, Schwefeläquivalenten und Stickstoff, Einheit: $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) aus der Atmosphäre, bei deren Unterschreitung nach derzeitigem Kenntnisstand keine negativen Effekte bei bestimmten Wirkobjekten oder Rezeptoren (Pflanzen, Tieren, Menschen) auftreten können (Tabelle 2.3). Weiters wird auf eine europäische Auswertung der sauren Einträge durch das Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (2002) hingewiesen.

Tabelle 2.3: Critical Loads für Protonen-, Schwefel und Stickstoffeinträge

Protonen- und äquivalenter S-Eintrag ($\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)		
Kritischer Protoneneintrag	äquivalenter Schwefeleintrag	Gestein
< 0,2	< 3	Quarzite, Granite
0,2 - 0,5	3 - 8	Granite, Gneise
0,5 - 1	8 - 16	Grauwacken, Gabbro, Schiefer
1 - 2	16 - 32	Gabbro, Basalt
> 2	> 32	Kalkstein, Mergel
Stickstoffeintrag ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)		
Kritischer N-Eintrag	Ökosystem	Kriterien
5 - 10	Hochmoore	Veränderungen der Flora möglich, z.B. vermehrtes Wachstum von Büschen und Bäumen; baldige Begrenzung des Wachstums durch andere Nährstoffe (z.B. Kalium)
5 - 20	Heiden	verminderte Frostresistenz von Heidekraut (<i>Calluna</i>)
7 - 10	Heiden	auf schwach gepufferten Böden Veränderungen der Artenzusammensetzung je nach Verwitterungskapazität
> 20	Heiden	vollständige Umwandlung von Heiden in Grasland
10 - 12	Nadelwald	Nährstoffungleichgewichte aufgrund von hohem N-Eintrag in Abhängigkeit von der Mg- und Ca-Konzentration und von der Nitrifikationsrate des Bodens
> 20	Nadelwald	Artenverschiebung in der Kraut- und Strauchschicht hin zu nitrophilen Arten; abhängig von der Aufnahme durch Bäume und von der Basensättigung des Bodens
< 15	Laubwald	Artenverschiebung in der Kraut- und Strauchschicht hin zu nitrophilen Arten

Die Critical Loads wurden abhängig vom Ökosystemtyp, von vorangegangenen und gegenwärtigen Bewirtschaftungen und Bodeneigenschaften festgelegt. Die bei den Flächen im **Anhang 1** angeführten Angaben zum Grundgestein geben daher nur einen groben Hinweis auf das zu erwartende Risiko – etwa einer Artenverschiebung - und erlauben keine Rückschlüsse auf eine unmittelbare Gefährdung.

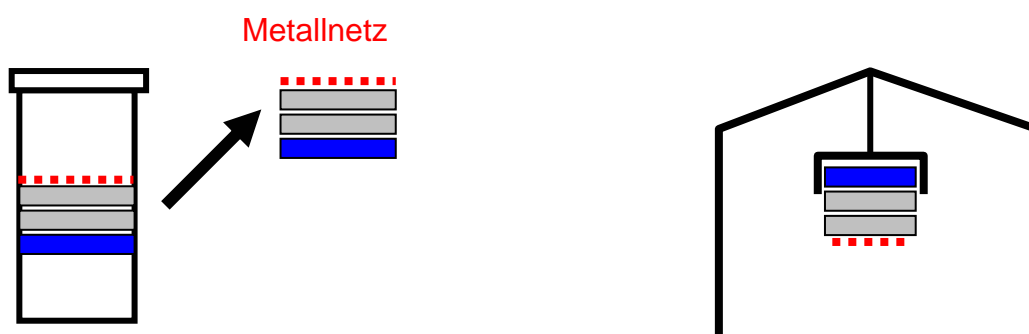
Vergleichsdaten aus Österreich, Deutschland und Frankreich bis 2002

Vergleichsdaten aus Österreich wurden von der Technischen Universität Wien zur Verfügung gestellt; diese enthalten Ergebnisse der Bundesländer Kärnten, Niederösterreich, Tirol, Vorarlberg und Wien (je nach Station für die Jahre 1984-2002; Kalina & Puxbaum 1996ab, Limbeck et al. 1998). Die Daten aus Oberösterreich (1984-2001) wurden vom Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (1998) bereit gestellt. Daten aus den 91 Level II Flächen in Deutschland (Jahreswerte 1997-2001) wurden von Haußmann (2003) übermittelt, jene des französischen RENECOFOR-Messnetzes von Ulrich (2003; ebenfalls für die Jahre 1997-2002).

2.4. Ozonmessungen mit Passivsammlern

2001 wurden erstmals die patentierten Ozon-Passivsammler des IVL Göteborg (Swedish Environmental Research Institute) exponiert. Diese wurden zu den Wechselterminen an den Flächen Klausen-Leopoldsdorf (9) und Murau (16) jeweils zwei Wochen während der Vegetationszeit auf den Freiflächen unter einer Schutzglocke aufgehängt. Die Präparation der Passivsammler sowie die Analyse erfolgte durch das IVL Göteborg. Unter Einbeziehung der mittleren Temperatur der Messperiode wurde die auf 20 °C bezogene mittlere Konzentration in Mikrogramm pro Kubikmeter angegeben und durch Multiplikation mit dem Faktor 0,5 auf ppb umgerechnet.

Abbildung 2.5: Ozonpassivsammler mit Metallnetz als „Ozon-Senke“. Rechts: Aufhängung unter einer Glocke



Als nächstgelegene Vergleichsstationen für die Fläche Klausen-Leopoldsdorf wurde die Luftmess-Station Forsthof (581 m), für die Fläche Murau (1540 m) die Luftmess-Station Stolzalpe (1302 m) gewählt. Beide Vergleichsstationen sind etwa 10 km Luftlinie von den Flächen entfernt.

Die Vergleichsdaten der registrierenden Messungen stammen vom Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (Dr. Hann für die Station Forsthof) bzw. vom Umweltbundesamt (DI Spangl für die Station Stolzalpe).

2.5. Statistische Auswertungen der Depositionsanalysen 1996-2002

- Stationsvergleich mit dem KRUSKAL-WALLIS-Test: Untersuchung der Unterschiede hinsichtlich der H-, S-, NO₃N-, NH₄-N, Gesamt-N und Alkalien-Einträge zwischen den Stationen. Die größten Unterschiede zwischen den Flächen bestehen zwischen jenen Flächen, zwischen denen auch der Unterschied der Rangsummen am größten ist. Die höchste Rangsumme bedeutet den höchsten Eintrag.
- Kroneneinfluss mit dem MANN-WHITNEY-Test: Untersuchung der Unterschiede hinsichtlich der Niederschlagshöhen, Ionenkonzentrationen und der H-, S-, NO₃N-, NH₄-N und Gesamt-N- sowie der Alkalien-Einträge zwischen den Freiland- und Kronendurchlassergebnissen. Anhand der Testgröße U sind allfällige signifikante Unterschiede ersichtlich.
- Jahresgang mit Hilfe einer Spektralanalyse: Untersuchung eines allfälligen Jahresganges der Ionenkonzentrationen und der H-, S-, NO₃N-, NH₄-N und Gesamt-N- sowie der Alkalien-Einträge. Mit der Spektralanalyse wird untersucht, ob sich Werte zyklisch wiederholen. Zunächst wird ein ggf. vorhandener Trend entfernt. Anschließend wird das Gesamtmittel abgezogen. Geprüft wird also die periodische Änderung der Werte bezogen auf den Gesamtmittelwert. Die Periodizität ist der Reziprokwert der Frequenz. Mit Hilfe des KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Tests wird geprüft, ob die errechnete Periodizität signifikant von einem „Grundrauschen“ abweicht.
- Trendtest nach NEUMANN hinsichtlich der H-, S-, NO₃N-, NH₄-N-, Gesamt-N- und Alkalien-Einträge. Mit dem NEUMANN-Test kann auch mit einer relativ kurzen Beobachtungsperiode ein Trend getestet werden; die Schätzung der mittleren jährlichen Änderung ist jedoch nicht so genau wie die der Regressionsanalyse.

Die Ergebnisse der statistischen Analyse wurden von Smidt (2003) im Bericht über die Messjahre 1996-2002 detailliert dargestellt. Weitere statistische Auswertungen werden in einer der folgenden Auswertungen erfolgen.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1. Jahreswerte

3.1.1. Maximalwerte und Bandbreiten der Jahreswerte

Ionenkonzentrationen: Die höchsten mittleren Ionenkonzentrationen im Freiland wurden auf den Flächen 1 (Sauerbrunn) und 2 (Unterpullendorf) gefunden. Im Kronendurchlass wurden die Maximalwerte auf den Flächen 6 (Pöggstall), 8 (Dobersberg), bzw. 14 (Murau) gemessen. Die Ionenkonzentrationen im Freiland und unter dem Kronendach nahmen mit der Höhenstufe tendenziell ab.

Elementeinträge: Die beiden niederschlagsreichsten Flächen 11 (Mondsee) und 20 (Hochhädrich) fallen durch vergleichsweise hohe Einträge im Freiland und unter dem Kronendach auf. Bei den Einträgen zeichnet sich eine Zunahme beim Chlorid und Calcium und eine Abnahme beim Schwefel, Ammonium-Stickstoff mit der Höhenstufe (mit zunehmender Seehöhe) zwischen 1996 und 2003 ab. Einzelne Jahreswerte sind im **Anhang 3** detailliert angeführt.

Extremwerte, Mittelwerte und Mediane der Jahreswerte einiger Konzentrationen und Einträge sind in Tabelle 3.1 wiedergegeben.

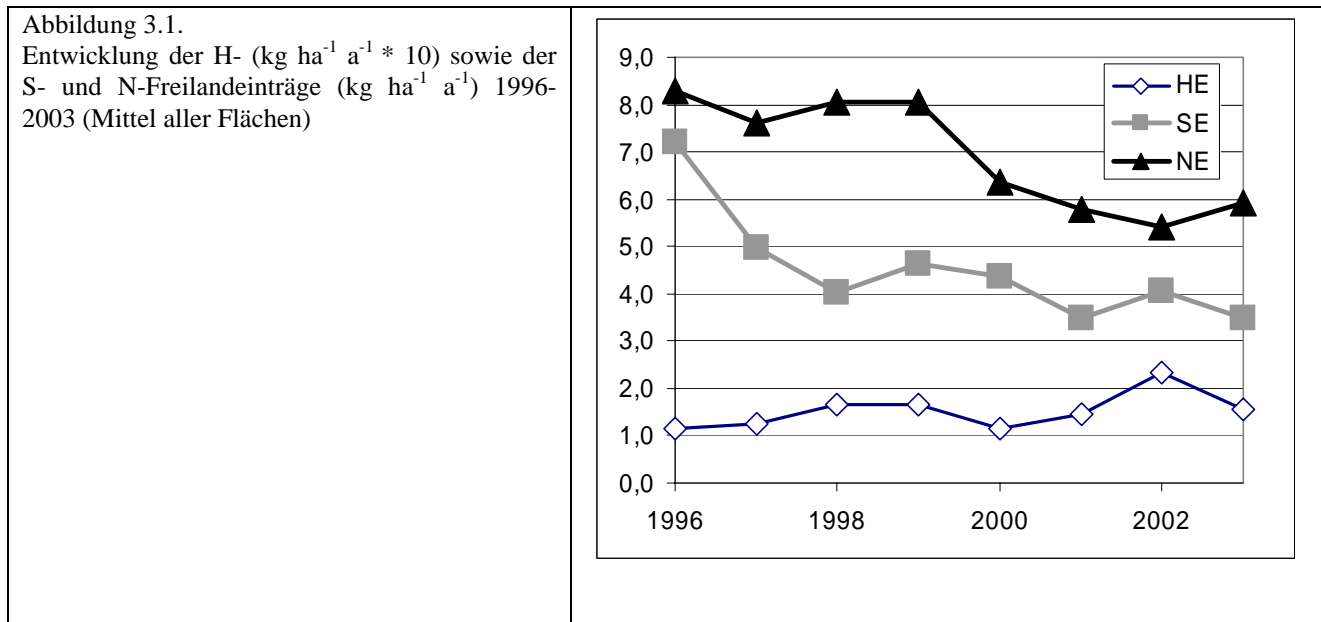
Tabelle 3.1: Minima, Mediane, Mittel und Maxima der Jahreswerte der 20 Flächen und 8 Messjahre der Freiland- und Kronendurchlasswerte. LF: elektrische Leitfähigkeit

Min./Median/ Mittel/Max.	Probe	mm	pH	LF	SO ₄	NO ₃	NH ₄	Elementeinträge (kg ha ⁻¹ a ⁻¹)				
								HE	SE	NO ₃ NE	NH ₄ NE	NE
Min.	Freiland	194	4,33	6,63	0,47	0,43	0,04	0,02	1,92	0,96	0,39	1,71
Median	Freiland	931	4,85	15,04	1,39	1,32	0,46	0,14	4,16	2,79	3,29	6,04
Mittel	Freiland	993	4,87	17,05	1,50	1,44	0,54	0,15	4,53	3,07	3,87	6,94
Maximum	Freiland	2119	5,64	86,92	3,67	3,09	2,18	0,53	9,96	8,17	15,69	21,82
Min.	Kronendurch- lass	160	4,04	8,69	0,48	0,23	0,02	0,01	0,80	0,46	0,16	0,66
Median	Kronendurch- lass	693	4,94	25,27	2,31	2,76	0,65	0,08	5,14	4,04	3,80	7,85
Mittel	Kronendurch- lass	804	4,92	28,34	2,47	2,91	0,78	0,11	5,59	4,53	4,15	8,67
Maximum	Kronendurch- lass	2276	5,58	80,68	7,77	10,02	2,96	0,45	14,95	17,08	13,99	29,16
Quotienten Freiland/Kronen- durchlass												
Mittel	Quotient Freiland / Kronendurch- lass	1,24	0,99	0,60	0,61	0,49	0,69	1,38	0,81	0,68	0,93	0,80

3.1.2. Trends der Jahreswerte

Der Trendtest von NEUMANN ergab für die relativ kurze Beobachtungsperiode der ersten 7 Jahre vereinzelt signifikante Trends; die allgemeine Tendenz war eher eine Abnahme der Einträge festzustellen. Von den berechneten Trends ausgewählter Einträge waren 25 % signifikant (42 x) bzw. hochsignifikant (22 x) bzw. höchst signifikant (6 x). Die Abnahmen waren bei den Schwefel- und Stickstoffeinträgen besonders häufig (Smidt 2003).

Die Schwefel- und Stickstoffeinträge (Freiland) waren im Mittel aller Flächen abnehmend, jene der Protoneneinträge dagegen leicht zunehmend (Abbildung 3.1).



3.1.3. Freiland- vs. Kronendurchlassniederschläge (Jahreswerte)

Am Beispiel der Kalium-, Sulfat-, Nitrat- und Ammoniumkonzentrationen zeigt sich, dass die Ionenkonzentrationen im Mittel unterhalb des Kronendaches im Vergleich zum Freiland sowohl erhöht als auch abgesenkt sein können (Abbildung 3.2). Die statistische Auswertung mit dem MANN-WHITNEY-Test ergab, dass die Kalium-, Sulfat- und Nitratkonzentrationen unter dem Kronendach im Mittel erhöht waren; beim Ammonium war diese Erhöhung nur sehr schwach. Die Erhöhung unter dem Kronendach war bei den Einträgen weit weniger stark ausgeprägt (Smidt 2003).

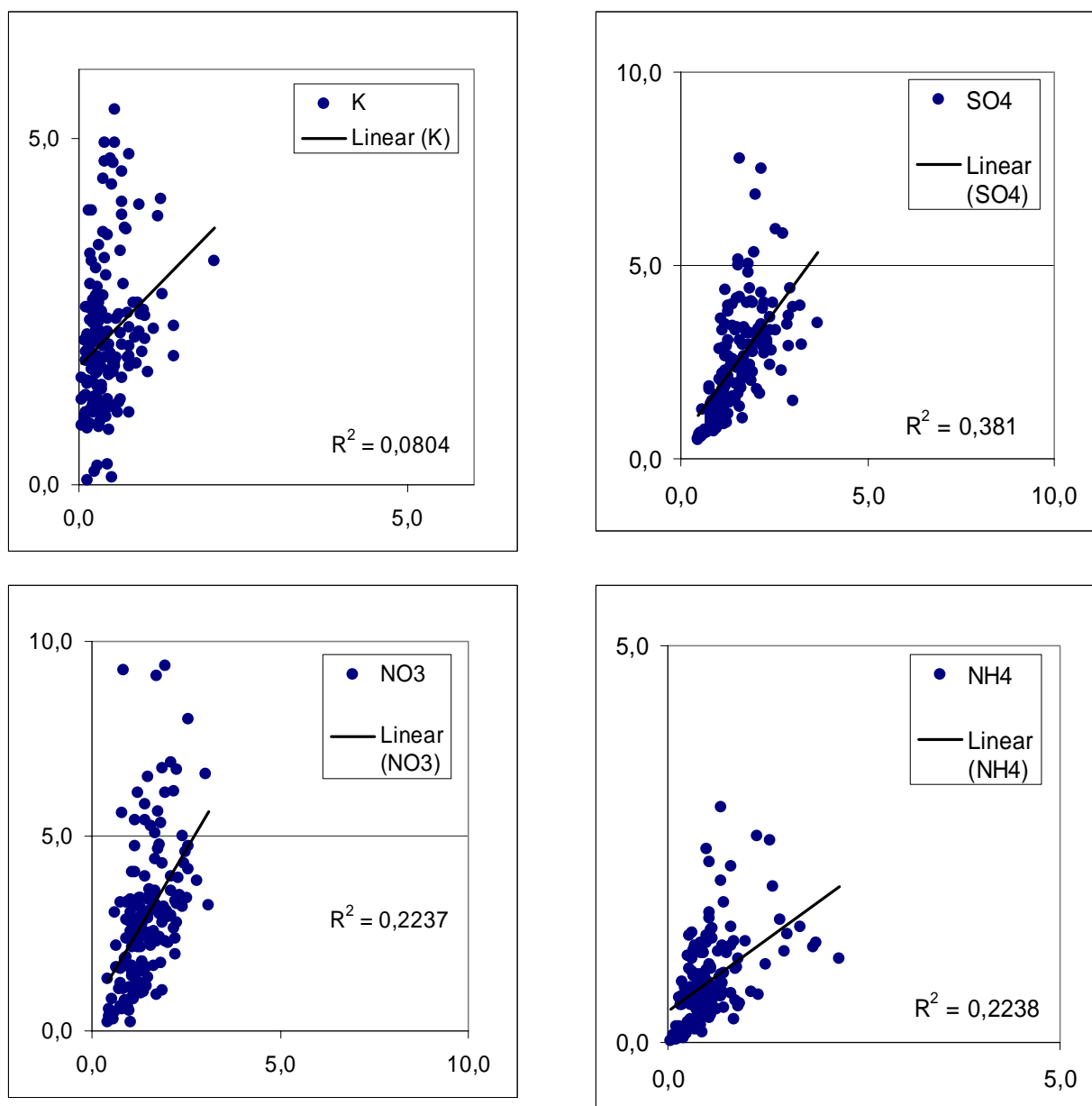


Abbildung 3.2: Gegenüberstellung der Konzentrationen im Freiland vs. Kronendurchlass für Kalium, Sulfat, Nitrat und Ammonium (jeweils mengengemittelte Jahreskonzentrationen), 1996-2003

3.2. Jahresgang

Um einen „Overall-Trend“ des Jahresganges der einzelnen Messparameter bzw. Einträge für sämtliche Flächen darzustellen, wurden die Ergebnisse der 26 Sammelperioden für alle 20 Stationen und alle 8 Messjahre gemittelt. Konzentrationen zeigten häufig ein Frühjahrsmaximum, Einträge ein Frühjahrs- und Sommermaximum:

- **Ionenkonzentrationen-Freiland:** Beim Sulfat, Nitrat und etwas schwächer beim Ammonium war ein deutliches Maximum zwischen Mitte April und Mitte Mai festzustellen,

Calcium zeigte ein zweites Maximum im November, Kalium ein nur schwaches Maximum Mitte Mai. Bei den übrigen Ionen ergaben sich keine ausgeprägten Jahresgänge. Analoge Ergebnisse fanden Meszaros (1974) und Tsakovsky et al. (2000).

- **Ionenkonzentrationen-Kronendurchlass:** Die Konzentrationen verliefen analog zu den Freilandniederschlägen; im Gegensatz dazu wies das leicht auswaschbare Kalium zwei Maxima auf: Anfang/Mitte April und Ende Oktober.
- **Elementeinträge - Freiland:** Gemäß dem deutlichen Niederschlagsmaximum im Sommer zeigen die Einträge meist ein Maximum Anfang Juli (Chlorid, Schwefel, Natrium, Kalium; Magnesium, Calcium). Beim Nitrat-, Ammonium- und Gesamtstickstoff lag dieses Mitte April und war nicht stark ausgeprägt.
- **Elementeinträge - Kronendurchlass:** Die Verläufe wichen von jenen im Freiland ab: Besonders auffallend ist das Kalium-Maximum Mitte Mai, in diesen Zeitraum fielen auch Maxima vom Schwefel- und Ammoniumeintrag. Das Maximum des Gesamtstickstoffs fällt in den Frühjahrsbeginn, jener des Calciums auf Mitte Juli.

Abbildung 3.3 zeigt die mittleren Jahresgänge am Beispiel der Sulfatkonzentrationen sowie der H-, S- und N-Einträge für die Freiland- und Kronendurchlass-Flächen. Detaillierte Ergebnisse sind **Anhang 4** zu entnehmen.

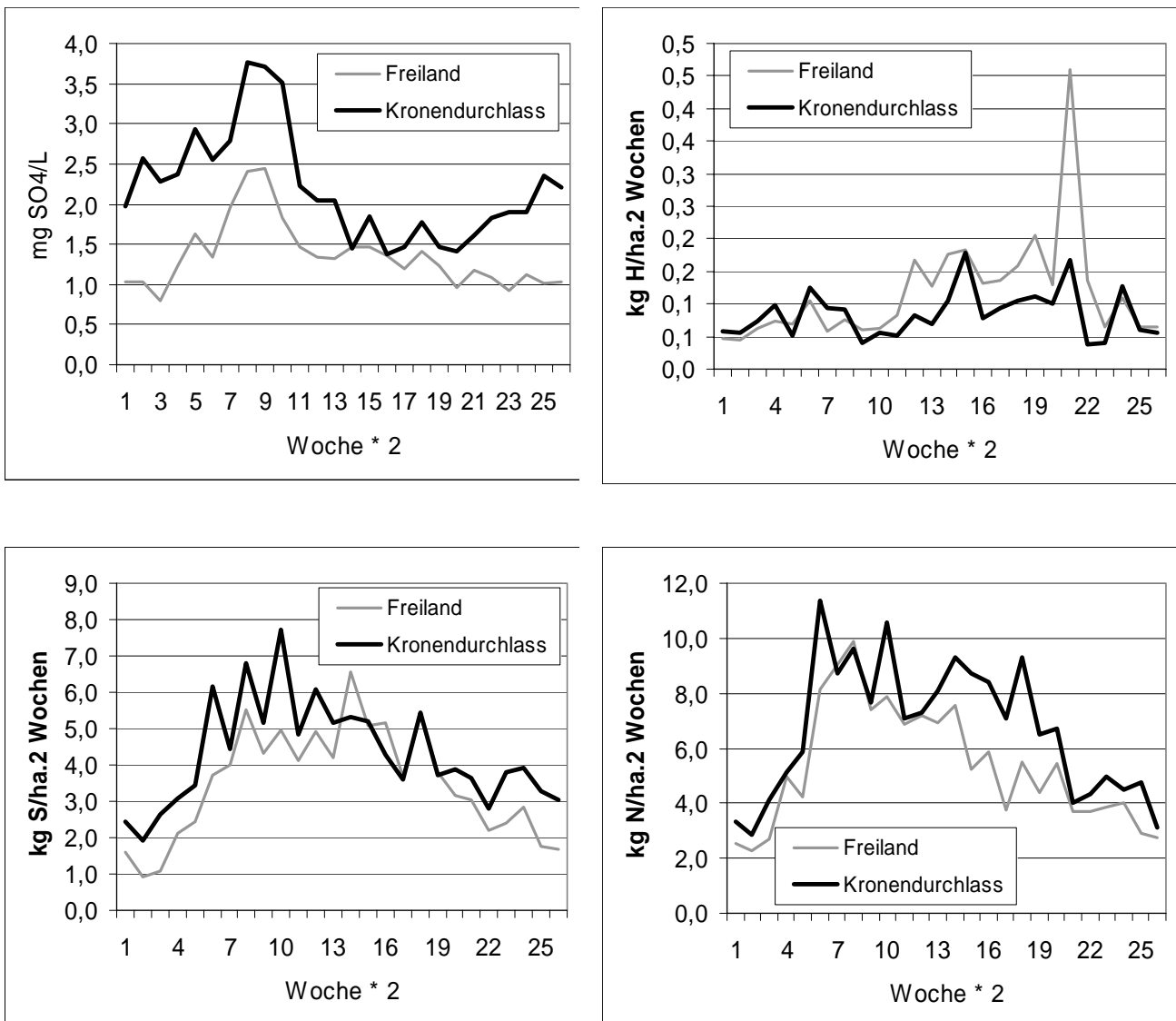


Abbildung 3.3: Jahresgang der Sulfatkonzentrationen sowie der H-, S- und N-Einträge, gemittelt über alle Flächen und Messjahre (1996-2003) in den Beprobungen 1-26 (2.-52. Woche)

Die statistische Auswertung für die einzelnen Flächen nach dem KOLMOGOROFF-SMIRNOFF-Test ergab für den Zeitraum 1996-2002 sehr unterschiedliche Periodizitäten. Die Periodizität 26 entspricht einem Jahreszyklus, da 26 Beprobungen pro Jahr durchgeführt werden. Insgesamt wurde 356 x, das sind im Mittel 56 % aller Ergebnisse, ein mehr oder weniger signifikanter Jahreszyklus festgestellt; häufig wurde dieser bei den Nitrat-, Sulfat-, Ammonium- und Calciumkonzentrationen, besonders aber bei den Protonen-, Schwefel-, Stickstoff- und Alkalieinträgen beobachtet (Smidt 2003).

3.3. Flächenmittel (1996-2003)

Die Gesamtmittelwerte der 8 Messjahre und der einzelnen Flächen sind im **Anhang 5** tabelliert. Abbildung 3.4 zeigt die Jahresmittelwerte der H-, S- und N-Freilandeinträge, aufgetragen nach der Seehöhe.

Abbildung 3.4: Abhängigkeit der H-, S- und N-Einträge (Gesamtmittelwerte) von der Seehöhe, getrennt nach Freiland- und Kronendurchlass-Niederschlägen (1996-2003)

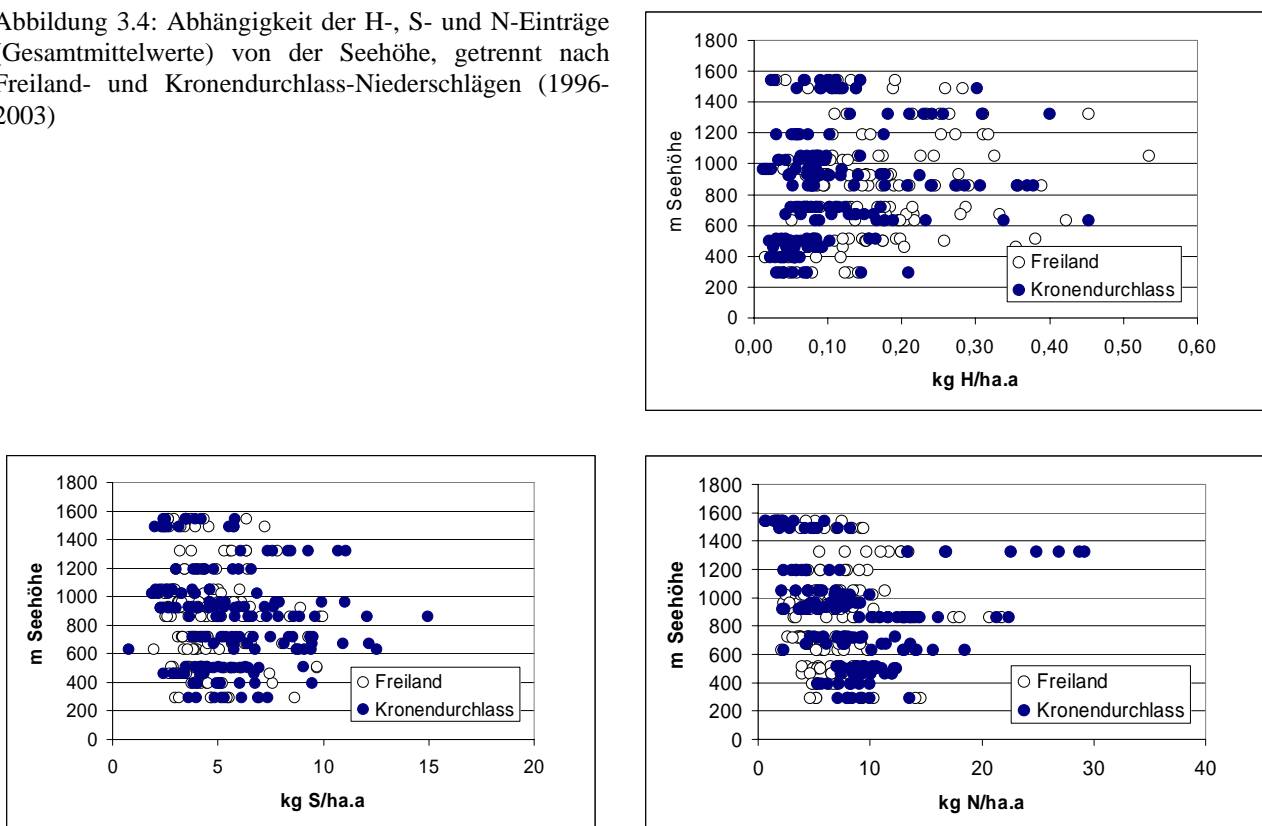


Tabelle 3.2 listet die wichtigsten Ergebnisse aus Anhang 5 auf.

Tabelle 3.2: Gesamt-Flächenmittel ausgewählter Parameter 1996-2003

Fläche	mm	pH	LF	SO4	NO3	NH4	HE	SE	NO3NE	NH4NE	NE
Freiland											
1	631	5,04	25,42	2,31	2,07	0,57	0,06	4,86	2,96	2,79	5,74
2	569	4,82	34,98	2,77	2,15	1,43	0,09	5,26	2,76	6,33	9,09
3	763	4,70	15,91	1,56	1,29	0,58	0,15	3,97	2,23	3,41	5,64
4	1128	4,74	13,59	1,12	0,95	0,50	0,20	4,24	2,43	4,39	6,83
5	936	4,76	13,14	1,23	0,95	0,37	0,16	3,84	2,01	2,66	4,68
6	722	4,69	26,75	1,67	1,59	0,85	0,15	4,03	2,60	4,75	7,35
7	770	4,69	18,24	2,12	1,90	0,53	0,16	5,46	3,30	3,19	6,49
8	636	4,50	20,28	1,77	1,80	0,71	0,20	3,77	2,59	3,53	6,12
9	695	4,60	18,94	1,91	1,90	0,69	0,18	4,43	2,99	3,74	6,74
10	953	4,87	14,15	1,20	1,70	0,46	0,13	3,82	3,67	3,37	7,04
11	1545	4,80	18,28	1,37	1,92	0,82	0,24	7,07	6,69	9,81	16,50
12	1187	4,97	12,45	1,02	1,03	0,38	0,13	4,04	2,77	3,47	6,24
13	952	4,65	17,28	1,99	1,39	0,42	0,21	6,34	2,99	3,10	6,08
14	760	5,22	17,74	1,78	1,06	0,49	0,05	4,52	1,82	2,88	4,71
15	931	4,92	12,33	1,56	1,26	0,33	0,11	4,85	2,65	2,38	5,03
16	1077	5,00	10,14	1,03	0,68	0,20	0,11	3,71	1,65	1,68	3,32
17	1467	4,79	9,48	0,76	1,17	0,35	0,24	3,72	3,88	3,97	7,85
18	1073	5,06	11,88	0,96	1,03	0,36	0,09	3,42	2,49	3,03	5,52
19	1379	4,94	10,19	0,81	1,16	0,33	0,16	3,74	3,61	3,55	7,16
20	1688	4,84	13,61	0,98	1,38	0,40	0,25	5,51	5,28	5,30	10,58
Kronendurchlass											
1	507	5,06	34,74	3,34	3,45	0,90	0,04	5,66	3,95	3,55	7,50
2	495	4,78	36,88	3,28	3,37	1,37	0,08	5,42	3,77	5,27	9,04
3	622	4,81	25,19	2,69	2,13	0,57	0,10	5,59	2,99	2,75	5,74
4	884	5,06	19,35	1,63	1,03	0,32	0,08	4,80	2,06	2,21	4,27
5	659	4,86	30,53	3,22	2,51	0,74	0,09	7,07	3,74	3,76	7,50
6	604	4,63	44,71	4,01	4,82	1,30	0,14	8,09	6,58	6,07	12,64
7	494	4,94	38,35	3,45	4,84	1,19	0,06	5,69	5,41	4,55	9,96
8	450	4,32	53,85	5,16	6,47	1,73	0,22	7,75	6,58	6,05	12,63
9	554	4,82	29,32	2,76	4,06	0,92	0,08	5,11	5,09	3,97	9,06
10	649	4,97	29,80	1,74	3,03	1,10	0,07	3,78	4,45	5,53	9,99
11	1446	4,72	17,16	1,35	2,36	0,66	0,27	6,54	7,71	7,35	15,06
12	995	4,94	13,48	1,04	0,74	0,34	0,11	3,45	1,66	2,63	4,30
13	829	4,85	26,25	2,86	2,69	0,57	0,12	7,93	5,04	3,68	8,71
14	498	4,93	39,69	4,24	3,96	0,72	0,06	7,05	4,45	2,78	7,23
15	658	4,89	25,17	2,49	3,30	0,57	0,08	5,47	4,91	2,93	7,84
16	784	5,00	14,84	1,40	0,56	0,20	0,08	3,68	0,99	1,20	2,19
17	1183	5,12	12,17	0,80	1,02	0,22	0,09	3,17	2,71	2,05	4,76
18	830	5,11	18,86	1,17	1,96	0,64	0,06	3,24	3,67	4,09	7,76
19	1102	4,94	13,73	1,01	1,08	0,26	0,13	3,71	2,69	2,21	4,90
20	1836	4,88	20,92	1,40	2,91	0,72	0,24	8,61	12,09	10,32	22,41

Der Vergleich der Stationen anhand der Rangfolge der Stationen ist in Tabelle 3.3 für einige Einträge wiedergegeben. Er zeigt, dass auf den Flächen 11 und 20 die höchsten Einträge zu verzeichnen waren (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3: Rangfolge der Eintragungshöhen der Flächen, aufsteigend in Pfeilrichtung

	HE	SE	NH4NE	NO3NE	NE
Niedrigster Wert	01	18	16	16	16
	14	17	15	04	04
	02	12	03	12	03
	18	19	14	03	12
	16	16	05	05	05
	15	10	19	19	14
	10	04	17	18	19
	07	03	04	14	17
	05	09	12	17	15
	12	05	01	02	18
	03	15	13	01	01
	09	01	18	15	13
	04	02	09	10	09
	19	07	07	09	07
	06	08	10	13	10
	17	14	08	07	02
	13	06	06	06	08
	08	11	02	08	06
	20	20	20	11	11
Höchster Wert	11	13	11	20	20

3.3.2. Freiland- bzw. Kronendurchlass-Niederschläge

Die Klassifizierung der H-, S- und N-Einträge in drei Klassen gemäß Tabelle 1.1 ergab die höchsten mittleren Einträge und die relativ höchsten Klassifizierungen für die niederschlagsreichsten Freiland-Flächen 11 (Mondsee) und 20 (Hochhädrich); unter dem Kronendach waren die Einträge auf der Fläche 20 am höchsten.

Anreicherungsfaktoren (Quotienten aus den Kronendurchlass- und Freilandniederschlägen)

Ionenkonzentrationen: Die deutlichsten Anreicherungen der Ionenkonzentrationen ergaben sich beim Kalium (mittlerer Anreicherungsfaktor 4,8) und deutliche Anreicherungen beim Sulfat, Nitrat, Ammonium, Magnesium und Calcium. In Nadelholzbeständen waren die Anreicherungsfaktoren

hinsichtlich der Konzentrationen und Einträge (mit Ausnahme der Alkalinität) deutlich größer oder etwa gleich hoch als in Laubholzbeständen.

Einträge: Der mittlere Quotient der Niederschlagshöhen betrug 0,81, das bedeutet eine Interzeption von durchschnittlich 20 %. Hinsichtlich der Einträge wurde besonders beim Kalium (Anreicherung um den Faktor 3,5) sowie beim Schwefel-, Stickstoff-, Calcium, Magnesium und eine deutliche Anreicherung festgestellt, bei den H-Einträgen hingegen eine Abreicherung. Nitratkonzentrationen sind über das Gesamtkollektiv unter dem Kronendach um rund 90 % höher als im Freiland, Ammoniumkonzentrationen hingegen nur um etwa 30 %.

Das Verhältnis der Ammonium-N- zu Nitrat-N-Einträgen beträgt über das gesamte Datenkollektiv im Freiland 1,3 und im Kronendurchlass 0,9 und ist somit generell ein Hinweis auf die bevorzugte Aufnahme von Ammonium im Kronendach. Im Vergleich dazu liegt dieser Quotient bei den österreichischen WADOS-Stationen (Gesamtmittel 1984-2001) bei 1,4, bei den deutschen Level II-Flächen (Kronendurchlass, 1996+1997; Gehrman et al. 2002) je nach Fläche zwischen 1,2 und 5,5 und an den französischen Level II bzw. RENECOFOR-Flächen (Freiland; 1993-1998, Ulrich et al. 2002) zwischen 1,3 und 2,4.

Klassifizierung der Flächen

In Tabelle 3.4 sind die relativen Klassifizierungen hinsichtlich der H-Einträge (HE), S-Einträge (SE) und N-Einträge (NE) auf der Basis der Klassifizierung in Tabelle 2.1 aufgelistet. Auch hier zeigen sich die relativ höchsten Belastungen bei den Flächen 11 und 20.

Tabelle 3.4: Klassifizierung der Flächen hinsichtlich der H-, S- und N-Einträge gemäß Tabelle 2.1 auf der Basis der 7Jahresmittel (1996-2002)

1 = sehr niedrig; 2 = niedrig, 3 = erhöht

Fläche		Höhenstufe	HE	SE	NE	Klassen summe	HE	SE	NE	Klassen summe
	Laub/Nadel		Freiland				Kronendurchlass			
1	L	1	1	1	2	4	1	2	2	5
2	L	1	1	2	2	5	1	2	2	5
3	N	2	2	1	2	5	1	2	2	5
4	N	3	2	1	2	5	1	1	1	3
5	N	2	2	1	1	4	1	2	2	5
6	N	2	3	1	2	6	2	2	3	7
7	L	1	2	2	2	6	1	2	2	5
8	N	2	2	1	2	5	3	2	3	8
9	L	2	2	1	2	5	1	2	2	5
10	N	1	2	1	2	5	1	1	2	4
11	N	2	3	2	3	8	3	2	3	8
12	N	2	2	1	2	5	2	1	1	4
13	N	2	3	2	2	7	2	2	2	6
14	N	2	1	1	1	3	1	2	2	5
15	N	2	2	2	2	6	1	2	2	5
16	N	3	2	1	1	4	1	1	1	3
17	N	3	3	1	2	6	1	1	1	3
18	N	3	1	1	2	4	1	1	2	4
19	N	3	2	1	2	5	2	1	2	5
20	N	3	3	2	3	8	3	2	3	8

Bewertung der Einträge

- **Bewertung der Mittelwerte 1996-2003 anhand der Critical Loads:** Unter Zugrundelegung des Kriteriums „Artenverschiebung“ für die Stickstoffeinträge kann auf den „Laubholz-Flächen“ (Flächen 1, 2, 7 und 9) mit durchschnittlichen Freiland- und Kronendurchlasseinträgen unter $10 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ eine negative Beeinflussung weitestgehend ausgeschlossen werden, bei den „Nadelholzflächen“ allenfalls auf der Fläche 20 mit durchschnittlich $22 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die Säureinträge von $0,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ sind allenfalls auf der weniger gut gepufferten Fläche 17 (Jochberg) / Freiland (Grundgestein: Gneis, Glimmerschiefer) als kritisch anzusehen.

- **Bewertung der sauren Einträge durch das BFH:** Die sauren Einträge (Summe der Sulfat-, Ammonium- und Nitrateinträge) der Messjahre 1996-1999 wurden in einer Auswertung des Federal Research Centre for Forestry and Forest Products (BFH; 2002) für einige der österreichischen Level II Flächen Critical Loads dargestellt. Sie liegen zwischen 600 und über 2400 mol_c ha⁻¹ a⁻¹. Für eine Fläche wurde eine geringe Überschreitung (< 600 mol_c ha⁻¹ a⁻¹) konstatiert, für die übrigen keine Überschreitung. Im Mittel ergab sich auf 33 % der 226 ausgewerteten europäischen Level II Flächen eine Überschreitung.

3.3.2. Stammablaufmessungen (Fläche 9)

Die Ionengehalte in den Stammabflussproben waren deutlich höher als jene der Freilandproben. Die Unterschiede zu den Kronendurchlassproben waren jedoch im Gesamtmittel gering. Sulfat- und Ammoniumkonzentrationen waren auch gegenüber dem Kronendurchlass erhöht, Calciumkonzentrationen und pH-Werte hingegen leicht abgesenkt. Tabelle 3.5 gibt die Jahresmittel der Stammabflussmessungen 1996-2003 wieder.

Tabelle 3.5: Jahresmittelwerte (nicht mengengewichtet) der Leitfähigkeit (LF), Alkalinität und Ionenkonzentrationen (mg Ion L⁻¹) auf der Fläche 9 (1996-2003; insgesamt 101 Probenahmen)

JAHR	pH	Zahl der Proben	LF	Alkalinität	Cl	NO3	SO4	Na	NH4	K	Mg	Ca
1996	5,45	15	32,45	91,11	1,09	4,93	4,34	1,62	1,10	3,40	0,55	1,37
1997	5,39	13	38,62	74,33	0,63	3,88	2,33	0,99	1,58	4,54	0,44	1,12
1998	5,20	12	28,06	98,94	0,72	3,55	2,63	0,69	1,31	3,26	0,62	0,86
1999	5,19	13	37,68	103,61	1,08	6,73	5,40	0,13	1,63	5,32	0,53	1,94
2000	5,66	11	46,80	93,50	0,65	8,78	5,00	0,22	2,71	5,79	0,43	2,41
2001	5,80	11	51,44	114,95	0,64	8,30	6,88	0,21	2,25	8,64	0,62	3,23
2002	5,86	13	35,30	82,79	0,36	4,07	2,32	0,12	1,18	2,45	0,37	3,10
2003	5,59	13	68,09	134,92	0,77	10,74	4,24	0,22	3,17	7,58	0,63	5,05

3.3.3. Vergleichsdaten von Jahreseinträgen aus Österreich, Deutschland und Frankreich

Bandbreiten

Zum Vergleich wurden die minimalen und maximalen Jahreswerte von Einträgen mit jenen der österreichischen WADOS-Stationen (Details siehe Smidt 2003) und Level II Flächen in Deutschland und Frankreich gegenübergestellt (Tabelle 3.6). Die Protoneneinträge erreichten, verglichen mit Österreich, auf den deutschen und französischen Flächen – vor allem unter dem Kronendach – wesentlich höhere Werte. Die Schwefel- Freilandeinträge lagen, abgesehen von den

extrem hohen WADOS-Werten aus Steyregg in den 80er Jahren und einem extrem hohen Wert an der Station Nassfeld – im Bereich der beiden anderen Länder. Unter dem Kronendach erreichten die Schwefeleinträge auf Level II Flächen in Deutschland Werte von über $70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Bei den Stickstoff-Freilandeinträgen waren die Werte im Allgemeinen mit den anderen Werten vergleichbar; die extrem hohen Wet-Only-Einträge wurden in Steyregg bis Ende der 80er Jahre registriert.

Vergleich der Gesamtmittel

Auf den Level II Flächen in Deutschland bzw. auf den RENECOFOR-Flächen in Frankreich wurden im Gesamtmittel höhere Schwefel- und Stickstoffeinträge als in Österreich gemessen. Die Protoneneinträge waren nur in Deutschland höher als in Österreich (Tabelle 3.6, unten).

Tabelle 3.6: Bandbreiten von Jahreswerte an Mess-Stellen in Österreich, Deutschland und Frankreich (Details siehe Smidt 2003)

Land	Jahr	H-Eintrag ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	S-Eintrag ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)	N-Eintrag ($\text{kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$)
Österreich, Level II (1996-2002)	Freiland	0,02 – 0,53	1,92 – 9,96	1,71 – 6,38
	Kronendurchlass	0,01 – 0,45	1,95 – 14,95	0,66 – 29,16
Österreich 1) (1983-2001)	Wet only	0,00 – 0,84	1,20 – 32,79	2,30 – 36,07
Deutschland 2) (1995)	Freiland	0,02 – 1,18	4,2 – 16,2	6,3 – 24,2
	Kronendurchlass	0,00 – 3,11	5,5 – 75,6	7,8 – 40,5
Deutschland 3) (1991 – 1996)	Freiland	0,07 – 0,47	3,1 – 11,8	5,5 – 15,1
Deutschland, Level II (Mittel 1996+1997) 4)	Freiland	0,01 – 0,71	2,79 – 12,42	NH ₄ : 2,79 – 12,42 / NO ₃ : 2,55 – 7,61
	Kronendurchlass	0,00 – 2,19	3,05 – 26,20	NH ₄ : 3,05 – 26,20 / NO ₃ : 3,11 – 17,89
Frankreich 5) (1993-1998)	Freiland	0,01 – 0,27	1,6 – 10,8	1,7 – 20,0
Frankreich 6) (1997-2001)	Freiland	0,02 – 1,37	2,85 – 13,84	NH ₄ : 1,43 – 13,75 / NO ₃ : 1,60 – 7,56
	Kronendurchlass	0,02 – 5,35	2,98 – 34,26	NH ₄ : 0,49 – 16,70 / NO ₃ : 0,19 – 14,10

- 1) Kalina; pers. Mitt.
- 2) Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1997: 65 Level II Mess-Stellen
- 3) Umweltbundesamt Berlin 1997; 8 Bulk-Stationen
- 4) Gehrman et al. 2001, 89 Level II Stationen
- 5) Ulrich et al. 2002; 18 MERA bzw. CATAENAT Stationen
- 6) Ulrich 2003: Datenblätter
- 7) Haußmann; pers. Mitt.

Die Gegenüberstellung der „Landesmittel“ der fünf gemeinsamen Messjahre (1997-2001) ergab die höchsten H-, S- und N-Einträge in Deutschland, insbesondere die N-Einträge waren dort markant höher als in Österreich und Frankreich (Smidt 2003).

Tabelle 3.7: Gesamtmittel der H-, S- und N-Einträge auf Level II Flächen in Österreich, Deutschland und Frankreich 1997-2001 (Details siehe Smidt 2003)

Land und Zahl der Flächen		Gesamtmittel 1997-2001		
		H-Eintrag (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	S-Eintrag (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)	N-Eintrag (kg N ha ⁻¹ a ⁻¹)
Österreich (n=20)	Freiland	0,14	4,30	7,17
	Kronendurchlass	0,11	5,38	8,67
Deutschland (n=91) 1)	Freiland	0,18	5,98	10,75
	Kronendurchlass	0,17	10,0	17,71
Frankreich (n=15) 2)	Freiland	0,09	5,85	8,08
	Kronendurchlass	0,07	8,82	9,75

- 1) Haußmann; pers. Mitt.
2) Ulrich 2003; pers. Mitt.

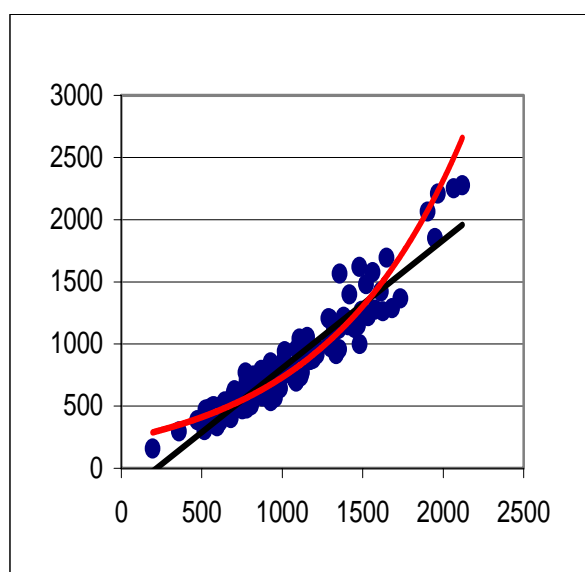
3.4. Vergleich der Niederschlagshöhen

In Abbildung 3.6 sind die Jahresniederschläge an den Level II Flächen gemeinsam mit jenen der ZAMG-Vergleichsstationen für die Jahre 1996-2002 angeführt. Einzelwerte wurden im Bericht über die Messjahre 1996-2002 (Smidt 2003) angegeben.

Gegenüberstellung Freiland- und Kronendurchlass-Niederschläge (1996-2002)

Die Gegenüberstellung der Jahresniederschläge der 20 Flächen ist in Abbildung 3.5 wiedergegeben. Der Korrelationskoeffizient betrug 0,94. Im Gesamtdurchschnitt ergab sich für Laubholzbestände ein Faktor Freiland/Kronendurchlass von 1,30 und für Nadelholzbestände einer von 1,22.

Abbildung 3.5:
Gegenüberstellung der Freilandniederschläge (x-Achse) und der Kronendurchlass-Niederschlagshöhen (y-Achse) auf den 20 Level II Flächen (1996-2002)



Vergleich mit ZAMG-Werten (1996-2002)

Die Gegenüberstellung der Freilandniederschläge mit den Ombrometerwerten der nächstgelegenen Stationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) ergab im gesamten Durchschnitt Abweichungen von rund 6 % bzw. 64 mm geringere Niederschlagshöhen im Freilandniederschlag gegenüber den Ombrometerwerten des ZAMG. Die Differenzen einzelner Jahreswerte zwischen den ZAMG-Stationen und den nächst gelegenen Level II Flächen waren jedoch mitunter beträchtlich und lagen je nach Station und Jahr zwischen -353 mm und +610 mm (Smidt 2003). Der Korrelationskoeffizient der Jahreswerte betrug 0,90 (Abbildung 3.6).

Vergleich der Niederschlagshöhen 1996-2002 mit 2003

2003 war in Österreich durch eine extreme Sommerhitze und Niederschlagsarmut charakterisiert. Abbildung 3.7 zeigt das Niederschlagsdefizit im Frühjahr und Sommer des Jahres 2003 gegenüber dem Mittel der Jahre 1996-2002 auf den Level II Flächen.

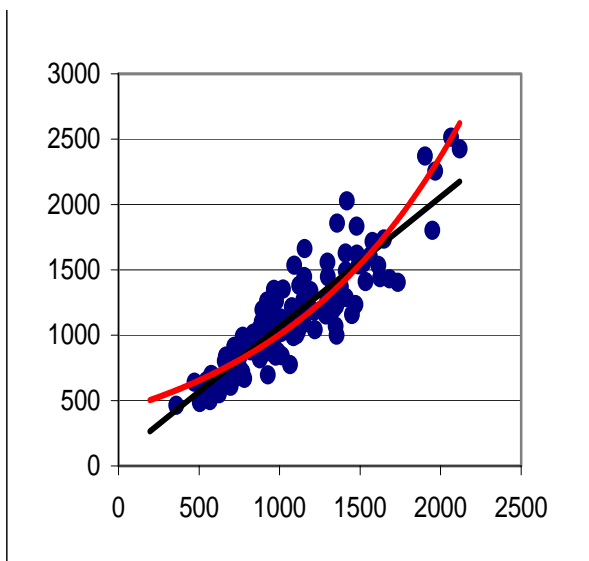


Abbildung 3.6:
Gegenüberstellung der Niederschlagshöhen (Jahreswerte) auf den 20 Level II Freilandflächen (x-Achse) und den nächstgelegenen ZAMG-Stationen (y-Achse)

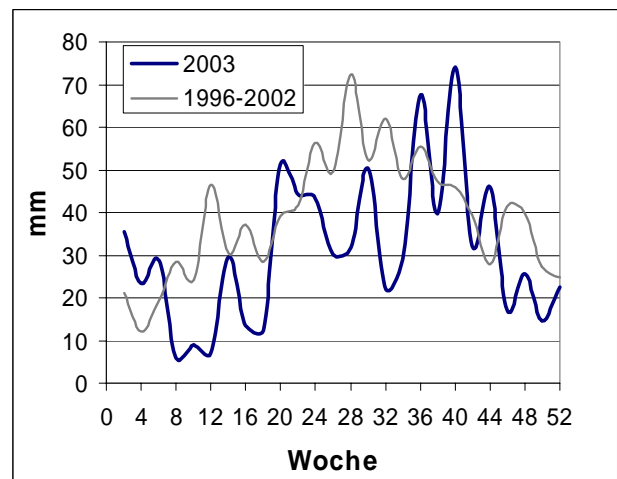


Abbildung 3.7:
Vergleich der Niederschlagshöhen 2003 mit dem Mittel 1996-2002 unter Einbeziehung der 20 Level II Flächen (Freiland)

4. Ergebnisse der Ozonmessungen mit Passivsammlern

Die Periodenmittel von Klausen, Murau und Stolzalpe (Referenzstation für Murau) sind in Abbildung 4.1 wiedergegeben.

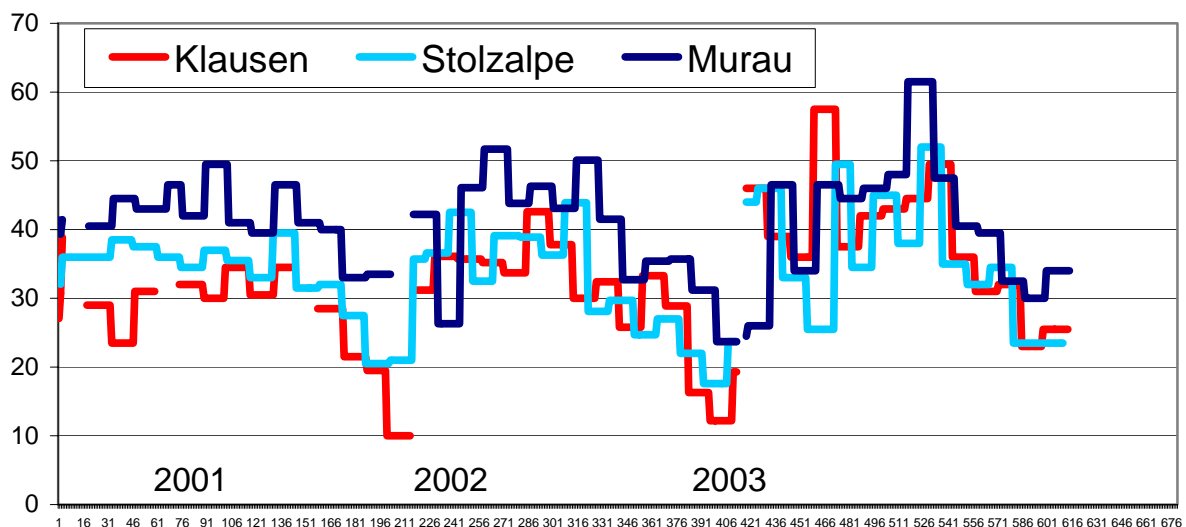


Abbildung 4.1: Ozon-Periodenmittel, gemessen mit Passivsammlern.

Fläche 9 (Klausen-Leopoldsdorf)

Innerhalb der gemeinsamen Messzeiträume wurden mit den Passivsammlern in den drei Messjahren Gesamtmittel zwischen 27 und 39 ppb registriert. Diese Werte lagen 9-12 ppb unter den Referenzwerten, die an der etwa 10 km entfernten Referenzstation Forsthof registrierend gemessen wurden (Tabelle 3.8). Die höchsten Werte traten 2003 auf.

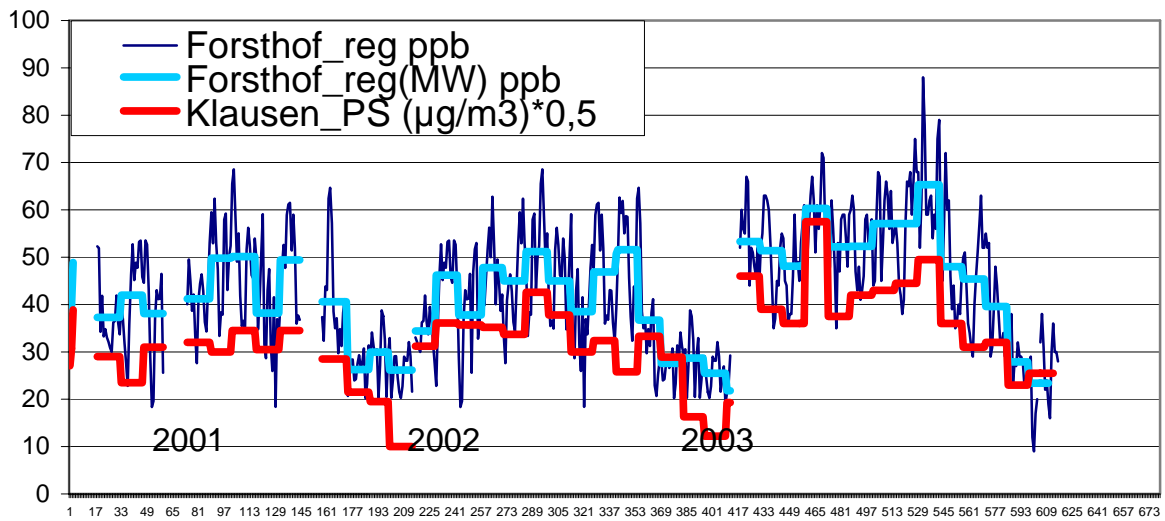


Abbildung 4.2: Ozonkonzentrationen auf der Fläche Klausen und an der Referenzstation Forsthof

Fläche 16 (Murau)

Innerhalb der gemeinsamen Messzeiträume wurden mittlere Werte zwischen 39 und 41 ppb gemessen. Diese Werte unterschieden sich im Mittel kaum von den Referenzwerten der registrierenden Messungen auf der Stolzalpe (vgl. Abbildung 4.3).

Die Passivsammlermessungen an der Referenzstation Stolzalpe ergaben im Mittel um 6-7 ppb niedrigere Werte als jene der registrierenden Messungen. Auch bei diesen Stationen traten die höchsten Gesamtmittel 2003 auf.

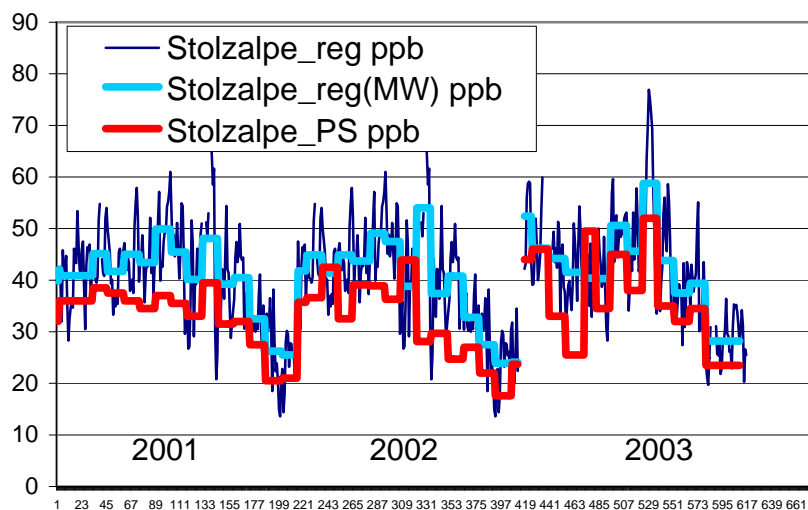


Abbildung 4.3: Ozonkonzentrationen an der Station Klausen und an der Referenzstation Forsthof

Tabelle 3.8: Mittlere Ozonkonzentrationen (ppb) an den Flächen Klausen und Murau sowie Mittelwerte der Vergleichsstationen in denselben Messperioden

	2001 (20.3. – 17.10.)	2002 (9.4. – 22.10.)	2003 (21.4. – 30.10.)
Klausen, Passivsammler	27,1	30,7	38,9
Forsthof, registrierend	39,1	39,9	49,0
Murau, Passivsammler	41,4	39,4	41,4
Stolzalpe, registrierend	40,0	39,6	42,2
Stolzalpe, Passivsammler	33,0	32,1	35,9

Eine direkte Einschätzung der Gefährdung aufgrund der aktuellen Ozongrenzwerte des Ozongesetzes, die auf dem AOT40 beruhen, ist anhand der Passivsammlerwerte nicht möglich. Die Ozonkonzentrationen lassen jedoch auf eine Überschreitung des Grenzwertes der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (1989; 30 ppb für das 8-Stundenmittel bzw. für die Vegetationsperiode) und damit auf ein Konzentrationsniveau schließen, das auf die Vegetation schädigend wirken kann. Auch der – heute nicht mehr aktuelle – Tagesmittelgrenzwert der WHO (1987) von 32,5 ppb wird an beiden Referenzstationen rund 140 x pro Jahr überschritten.

Literatur

- Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (2001): <http://www.ooe.gv.at/umwelt/luft/saurenrg/>.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2002: Level II Dauerbeobachtungsflächen – Teil des forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland und in Europa. Informationsbroschüre.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2003: Forstliches Umweltmonitoring für den Wald der Zukunft. Informationsbroschüre.
- Federal Research Centre for Forestry (BFH) 2002: The condition of forests in Europe. 2002 Executive Report. ISSN 1020-587X.
- Gehrmann J., Andreae H., Fischer U., Lux W., Spranger T. (2001): Luftqualität und atmosphärische Stoffeinträge an Level II-Dauerbeobachtungsflächen in Deutschland. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.).
- Haußmann T. (2003): Daten aus dem Level II Netz der Bundesrepublik Deutschland (Datenträger).
- Kalina M. & Puxbaum H. (1996a): Verteilung der nassen Deposition von Niederschlagsinhaltsstoffen in Österreich - Dokumentation der Daten für 1993. Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie, Bericht 2/96.
- Kalina M. & Puxbaum H. (1996b): Verteilung der nassen Deposition von Niederschlagsinhaltsstoffen in Österreich - Dokumentation der Daten für 1994. Technische Universität Wien, Institut für Analytische Chemie, Bericht 5/96.
- Limbeck A., Kalina M. & Puxbaum H. (1998): Verteilung der nassen Deposition von Niederschlagsinhaltsstoffen in Österreich. Technische Universität Wien, Inst. f. Analytische Chemie, Bericht 1/98.
- Meszaros E. (1974): On the spring maximum of the concentration of trace constituents in atmospheric precipitation. *Tellus* 26 (3), 402-406.
- Neumann M. & Themessl R. (1995): Neue Ansätze zur Überwachung des Waldzustandes in Österreich. *Österr. Forstztg.* 1/1995, 19-20.
- Neumann M. & Smidt S. (1997): Niedrige Schadstoffeinträge in Österreichs Wälder. *Allg. Forstztg.* 10/1997, 53-54.
- Neumann M., Schnabel G., Gärtner M., Starlinger F., Fürst A., Mutsch F., Englisch M., Smidt S., Jandl R. & Gartner K. (2001): Waldzustandsmonitoring in Österreich – Ergebnisse der Intensivbeobachtungsflächen (Level II). FBVA-Berichte 122.
- Österreichische Akademie der Wissenschaften (1989): Luftqualitätskriterien Ozon. Bundesministerium Umwelt, Jugend und Familie.
- Smidt S. (1997): ICP Forests Level II: Ergebnisse der Depositionsmessungen 1996. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 1/1997.
- Smidt S. (1998a): ICP Forests Level II: Ergebnisse der Depositionsmessungen 1996. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 2/1998.

- Smidt S. (1998b): Luftverunreinigungen an österreichischen Waldmessstationen. Ergebnisse 1991-1997. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht Immissionen 1/1998.
- Smidt S. (1999): ICP Forests Level II: Ergebnisse der Depositionsmessungen 1996-1999. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 1/2000.
- Smidt S. & Englisch M. (1998): Die Belastung von österreichischen Wäldern mit Luftverunreinigungen. CBl. f. d. ges. Forstwesen 115 (4), 229-248.
- Smidt S., Block J., Jandl R. & Gehrmann J. (1999): Trends von Luftschadstoffkonzentrationen und -depositionen an Waldmessstationen in Österreich und Deutschland. CBl. f.d. ges. Forstwesen 116 (3), 193-209.
- Smidt S. (2001): Depositionsmessungen auf den Level II Flächen. Ergebnisse 1996-2000. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 1/2001.
- Smidt S. (2002): Depositionsmessungen auf den Level II Flächen. Ergebnisse 1996-2001. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 1/2002.
- Smidt S. (2003): Depositionsmessungen auf den Level II Flächen. Ergebnisse 1996-2002. Institut für Immissionsforschung und Forstchemie, Bericht ICP-DEP 1/2002.
- Tsakovsky S., Puxbaum H., Simeonov V., Kalina M., Löffler H., Heimburger G., Biebl P., Weber A. & Damm A. (2000): Trend, seasonal and multivariate modelling study of wet precipitation data from the Austrian Monitoring Network (1990-1997). J. Environ. Monit. (2), 424-431.
- Ulrich E., Lanier M. & Combes D. (1998): RENECOFOR – Depots atmospheriques, concentrations dans les brouillards et dans les solutions du sol (sou-reseau CATAENAT). Rapport scientifique sur les annes 1993-1996. Office National des Forets, Department des Recherches Techniques. ISBN 2-84207-134-4.
- Ulrich E., Coddeville P., Lanier M. & Combes D. (2002): Retombees atmospheriques humides en France entre 1993 et 1998. Office National des Forets; Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie; Ecole des Mines de Douai, Departement Chimie et Environnement. ISBN 2-86817-582-1.
- Ulrich E. (2003) : Daten aus dem französischen RENECOFOR-Messnetz (Datenträger).
- UN-ECE (1998): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. 4th Edition. Programme Coordinating Centre: Federal Research Centre for Forestry and Forest Products, Hamburg.
- WHO (1987): Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series No. 23, Kopenhagen.