

---

**FBVA-BERICHTE**

**Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt**

Nr.13

1986

---

**BULKMESSUNGEN IN WALDGEBIETEN ÖSTERREICHS**

Ergebnisse 1984 und 1985

Von St. Smidt

Copyright,  
Herstellung und Druck  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
A-1131 WIEN

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Zu beziehen auf Bestellung bei der  
Forstlichen Bundesversuchsanstalt,  
Schönbrunn, Tirolergarten A-1131 WIEN

## 1. EINLEITUNG

Niederschlagsanalysen sind in Österreich bereits seit rund 30 Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Bedeutung, die derartigen Erhebungen in den letzten Jahren beigemessen wurde, zeigt sich in der Zahl und Vielfalt der Publikationen: Ein Teil der Arbeiten beschäftigt sich mit Schadstoffkonzentrationen in Niederschlägen und Einträgen in Waldgebieten und Waldökosystemen (BERGER 1984; GLATTES et al. 1985; GLATZEL 1985; GLATZEL et al. 1983, 1983a, 1985, 1986; GLATZEL u. PUXBAUM 1983; KAZDA 1983; KAZDA 1985; KAZDA u. GLATZEL 1984; SMIDT 1982, 1983, 1983a, 1984, 1984a, 1985; SONDEREGGER 1982, 1984). Andere Untersuchungen - insbesondere im Rahmen des Österreichischen Eutrophieprogrammes - befaßten sich mit der Belastung von Binnengewässern durch Schadstoffeinträge (ANONYM 1983; DEISINGER et al. 1982; GRUBER 1985; LÖFFLER et al. 1984; HONSIG-ERLENBURG 1985; HONSIG-ERLENBURG u. SAMPL 1986; MALISSA et al. 1980, 1983, 1985; MALITZKY 1984, 1985; MOOG 1979, 1980, 1981; MÜLLER 1978; NEUHUBER et al. 1980; PSENNER 1984 und 1985; PSENNER et al. 1983, 1985; SCHULZ et al. 1984). Ein weiterer Teil der Arbeiten wurde Fragestellungen der Immissionsüberwachung gewidmet (Amt der Salzburger Landesregierung 1985; Amt der Tiroler Landesregierung 1985; CEHAK 1985; CEHAK u. CHALUPA 1985, 1985a; CHALUPA 1986; GEORGII 1965; MERTEN u. SAUERZOPF 1984; PUXBAUM et al. 1983; PUXBAUM u. WOPENKA 1984, 1984a; STEINHAUSER 1959; WEBER et al. 1984, 1985; WOPENKA 1979). Weiträumige Modellrechnungen für Europa, die auch auf Niederschlagsdaten aus Österreich basieren, sind von der OECD (1977 und 1979) bzw. der EMEP (1984) angestellt worden.

Noch vor den alarmierenden Meldungen über "Waldsterbenserscheinungen" in Mitteleuropa wurde an der Forstlichen Bundesversuchsanstalt begonnen, Ionengehalte in Regen- und Schneeproben aus Waldgebieten zu bestimmen. Nach Schnee-Stichprobenuntersuchungen im Jahre 1981 wurden ein Jahr später die ersten Dauer-Niederschlagssammler aufgestellt, die zunächst mit kleinen Auffangtrichtern (Durchmesser 12cm) ausgestattet wurden. Im Frühjahr 1983 wurden diese durch sog. Kroneis-Totalisatoren ("Bulk"-Sammler mit einem Auffangdurchmesser von 20,5cm) ersetzt, welche der internationalen Norm entsprechen und eine repräsentative Probenahme erlauben. Im Winter 1982/83 wurde ferner eine

bundesweite Schneeuntersuchung durchgeführt, bei welcher an 558 Punkten (mit dreifacher Wiederholung) Schneeproben im gesamten Bundesgebiet gewonnen und analysiert wurden (STEFAN 1983).

Die Schadstoff- bzw. Ionenbelastung von Waldökosystemen durch Verunreinigungen im Regen und Schnee stellt e i n e n von vielen möglichen Schädigungsfaktoren dar. Bei den klassischen Immissionschäden sind es fast ausschließlich trockene Depositionen, welche für die - örtlich begrenzten - Schädigungen am Wald verantwortlich gemacht werden können. Demgegenüber sind die in den letzten Jahren aufgetretenen großflächigen Waldschäden ("neuartige Waldschäden") nach den vorliegenden Angaben in der Literatur nicht/einer einzigen Ursache und auch nicht nur den Luftschadstoffen zuzuordnen. Es steht aber außer Frage, daß - je nach den standörtlichen Gegebenheiten - auch absetzbare Niederschläge, wie Regen und Schnee, durch ihre Schadstofffracht einen Beitrag zur Umwelt- und Waldbelastung liefern. Dies trifft sowohl für Immissionsgebiete als auch in geringerem Umfang für "Reinluftgebiete" zu. Dabei können sowohl erhöhte Konzentrationen als auch erhöhte Einträge zu nachteiligen Effekten am Bewuchs und am Boden führen: Beispielsweise bewirken Niederschläge mit höheren  $H^+$ -Konzentrationen eine stärkere Auswaschung aus Blättern; demgegenüber können Element- bzw. Schadstoffeinträge z.B. im Boden akkumuliert und indirekt auf das Pflanzenwachstum negativ einwirken. (In letzterem Falle spielen die mit zunehmender Seehöhe steigenden Niederschlagsmengen und die mit ihnen eingetragenen, u.U. erhöhten Ionen- bzw. Elementeinträge eine Rolle; diese Ioneneinträge errechnen sich aus dem Produkt aus Ionenkonzentration und Niederschlagsmenge). Auch der Nebel steuert in bestimmten Lagen in beträchtlichem Ausmaß zur Absetzung von Schadstoffen bei.

Die besonders in den letzten Jahren aufgetretenen Waldschäden lassen es notwendig erscheinen, nicht nur die Qualität der Luft, sondern auch die der Niederschläge in unterschiedlich belasteten Waldgebieten kontinuierlich zu messen, um auf längere Sicht auch Veränderungen der "Qualität" nasser Depositionen verfolgen zu können. Die vorliegenden Bulk-Freilandmessungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in österreichischen Waldgebieten sollen dazu einen Beitrag leisten.

Zu diesem Zwecke wurden in niederösterreichischen Waldschadensgebieten (Wienerwald: Klein-Mariazell, Mauerbach, Berndorf; ferner Zwettl, Göttweig und Wolkersdorf), in einem klassischen Immissionsgebiet (Lavanttal/Koralpe) sowie in "Reinluftgebieten" (Achenkirch, Haggen, Patscherkofel, Zillertal) Bulk-Probenahmen durchgeführt. Besonderes Augenmerk wird in den folgenden Ausführungen den Höhenprofilen Koralpe/Ktn. und Zillertal/T. gewidmet, in welchen Ionenkonzentrationen und Elementeinträge innerhalb eines Untersuchungsgebietes in Abhängigkeit von der Seehöhe untersucht werden (das "Höhenprofil Zillertal" stellt überdies ein von der Forstlichen Bundesversuchsanstalt seit 1984 bearbeitetes Untersuchungsgebiet dar, in welchem umfangreiche interdisziplinäre Untersuchungen, wie z.B. Luft-, Boden-, Bodenvegetations- und Nadelanalysen, zur Erfassung möglicher Belastungskomponenten für die Beurteilung neuartiger Baumschäden angestellt werden).

## 2. METHODIK

### Probenahmen

Die Vorgangsweise bei der Probenahme in den Jahren 1984 und 1985 war dieselbe, wie sie schon in früheren Arbeiten (SMIDT 1984) beschrieben wurde: die Gewinnung der Proben erfolgte mit Kroneis-Totalisatoren (sog. "Bulk-Sammlern") an Tagen mit Niederschlagsereignissen.

Die bereits seit 1983 installierten Probenahmeverrichtungen wurden im Mai 1984 um drei weitere Sammler im Zillertal/Tirol ("Höhenprofil Zillertal") und um einen nahe Berndorf/NÖ. ergänzt.

### Analysen

Von den Proben wurden Menge, pH-Wert und Leitfähigkeit gemessen und die Einzelproben zu Monatsmischproben vereinigt; in diesen wurden pH-Wert (Glaselektrode), Leitfähigkeit (Konduktometer), Sulfat (Thorinmethode), Nitrat und Ammonium (ionenselektive Elektroden), Chlorid (coulometrische Titration), sowie Calcium und Magnesium (Atomabsorptionsspektrometrie) bestimmt.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. IONENKONZENTRATIONEN

##### 3.1.1. Monatsmischproben

Die gewichteten Jahresmittel der Jahre 1984 und 1985 sind in Tabelle 1 angeführt. Die höchsten Ionengehalte (Leitfähigkeiten) traten in Zwettl/NÖ. auf, die niedrigsten am Schwendberg/Tirol in 1720m Seehöhe (höchstgelegener Punkt des Höhenprofils Zillertal). Das niedrigste pH-Gesamtmittel betrug 4,2 (Kl. Mariazell/NÖ.); der niedrigste pH-Wert einer Tagesprobe wurde in Achenkirch/T. mit pH=3,3 gemessen.

Der zeitliche Verlauf der pH-Werte (strichlierte Linien) und Leitfähigkeiten (durchgezogene Linien) ist in Abbildung 1 wiedergegeben.

Der Jahresgang der Leitfähigkeiten an den stärker belasteten Stationen zeigte häufig in den Winter- und Frühlingsmonaten Spitzenbelastungen. Die Bergstationen (Patscherkofel, Schwendberg, Haggen, Waldmann und Jauksattel) hingegen waren durch einen gleichmäßigeren Jahresgang gekennzeichnet.

Ein pH-Wert-Jahresgang mit einer "Amplitude" von mindestens zwei Einheiten konnte an der überwiegenden Zahl der Stationen - unabhängig von der Stärke der Ionenbelastung - beobachtet werden.

Bei einer getrennten Betrachtung der Werte aus Niederösterreich, Tirol und Kärnten ergab sich folgendes Bild:

In Niederösterreich (6 Stationen) waren die gewichteten Jahresmittel der Leitfähigkeiten im Vergleich zu denen der Meßstellen in Tirol und Kärnten hoch: Sie lagen zwischen 28,1 und 56,6  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Die pH-Jahresmittel lagen zwischen 4,2 und 5,6 (die Minima der Tagesproben zwischen 3,5 und 4,1).

Entsprechend den Leitfähigkeitswerten waren auch die Ionengehalte, verglichen mit den übrigen Stationen in Tirol und Kärnten, hoch: Die höchsten Monatswerte wurden hinsichtlich Sulfat (6,9),

Tab.1: Probenzahl (n), Niederschlagsmengen der Untersuchungsperiode (mm), minimale pH-Werte der Tagesproben, pH-Minimalwerte (pH-min.) sowie gewichtete Jahresmittel von pH-Wert, Leitfähigkeit und den Ionen Sulfat, Nitrat, Chlorid, Ammonium, Calcium und Magnesium (gerundete Werte)

a) ab 5/1984; b) bis 4/1984; c) bis 4/1985; d) bis 11/1984; e) 4-12/1984 und 1-10/1985.  
 Jahreszahlen in Klammern: weniger als 12 Untersuchungsmonate

Untersuchungsgebiet	Seehöhe	Jahr	n	mm	pH-min.	pH	Leitf. (µS/cm)	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup> mg/l	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l
NIEDERÖSTERREICH													
Berndorf a)	550m	(1984)	44	341	4,1	4,9	28,1	4,6	3,9	1,0	1,3	1,0	0,3
		1985	48	605	3,7	4,7	35,3	5,9	4,4	0,7	1,6	1,1	0,2
Göttweig	220m	1984	43	361	3,6	5,0	38,7	5,4	4,4	1,5	1,6	1,8	0,3
		1985	62	557	3,6	4,6	30,1	4,9	3,4	0,7	1,2	0,9	0,2
Kl.Mariazell b)	500m	(1984)	27	211	3,6	4,2	46,3	5,2	6,1	1,2	2,3	1,3	0,3
Mauerbach	400m	1984	86	656	3,6	4,6	37,2	5,5	4,3	1,4	1,7	1,5	0,3
		1985	106	727	3,8	4,7	31,3	4,7	3,1	0,5	1,4	0,8	0,2
Wolkersdorf	205m	1984	53	541	3,5	5,6	48,0	5,3	5,6	1,4	3,4	2,5	0,5
		1985	71	593	3,8	5,0	35,8	5,9	4,5	0,9	1,7	1,6	0,3
Zwettl b)	520m	1984	64	654	3,8	5,3	42,6	4,6	6,1	1,2	1,4	2,5	0,4
		(1985)	18	148	3,7	5,2	56,6	6,9	8,4	2,5	1,7	1,9	0,5
TIROL													
Achenkirch-Kirpl	1000m	1984	88	1070	3,7	4,8	18,6	1,9	1,9	0,6	0,4	0,5	0,2
		1985	88	1063	3,3	4,6	20,2	2,3	1,6	0,6	0,3	0,4	0,1
Achenk.-Christlum c)	1400m	(1984)	84	1079	3,6	4,8	20,1	1,8	2,4	0,7	0,4	0,4	0,1
Haggen d)	1640m	1984	97	938	3,9	5,6	16,9	1,2	1,7	0,5	0,6	1,3	0,1
		(1985)	66	914	3,8	5,5	13,4	1,3	1,4	0,5	0,4	1,0	0,1
Patscherkofel	1960m	1984	72	930	3,8	5,1	13,9	1,2	1,3	0,7	0,5	0,3	0,0
		1985	69	872	3,4	5,1	16,0	2,1	1,7	0,4	0,5	0,6	0,0

Tab.1, Fortsetzung

Untersuchungsgebiet	Seehöhe	Jahr	n	mm	pH-min.	pH	Leitf. (µS/cm)	SO4-- mg/l	NO3- mg/l	Cl- mg/l	NH4+ mg/l	Ca++ mg/l	Mg++ mg/l
Hippach a)	600m	(1984)	72	529	3,7	5,2	18,6	2,4	1,3	0,7	1,0	0,5	0,1
		1985	76	---	3,6	5,5	18,6	2,1	1,7	0,8	0,7	0,8	0,2
Schwendberg a)	1000m	(1984)	73	688	3,6	5,0	14,3	2,0	1,3	1,0	0,5	0,5	0,1
		1985	69	---	4,3	5,4	15,4	1,8	1,6	0,6	0,6	0,7	0,2
Schwendberg a)	1720m	(1984)	73	819	3,4	4,8	11,7	1,6	0,9	0,7	0,4	0,2	0,0
		1985	81	---	4,0	5,0	11,3	1,7	0,9	0,4	0,3	0,3	0,0
Jakling	407m	(1984)	45	553	4,2	5,4	35,0	4,0	1,9	0,9	1,3	2,3	0,3
		1985	56	821	4,2	5,1	32,4	6,4	2,2	0,7	1,3	1,8	0,2
Paierdorf	530m	1984	45	716	4,4	5,3	24,3	3,4	2,1	1,0	0,8	1,1	0,3
		1985	58	1051	4,3	5,2	23,8	4,7	2,1	0,8	1,0	1,4	0,3
Waldmann	1080m	1984	41	625	4,0	4,8	21,8	2,6	1,8	0,8	0,8	0,6	0,1
		1985	44	658	4,0	4,6	18,3	2,3	1,6	0,3	0,5	0,4	0,0
Jauksattel	1611m	1984	33	974	3,9	4,6	18,5	2,0	1,2	0,6	0,4	0,4	0,1
		1985	37	1100	4,1	4,6	18,4	2,5	1,2	0,4	0,4	0,5	0,1

TIROL / Höhenprofil Zillertal

KÄRNTEN / Höhenprofil Koralpe

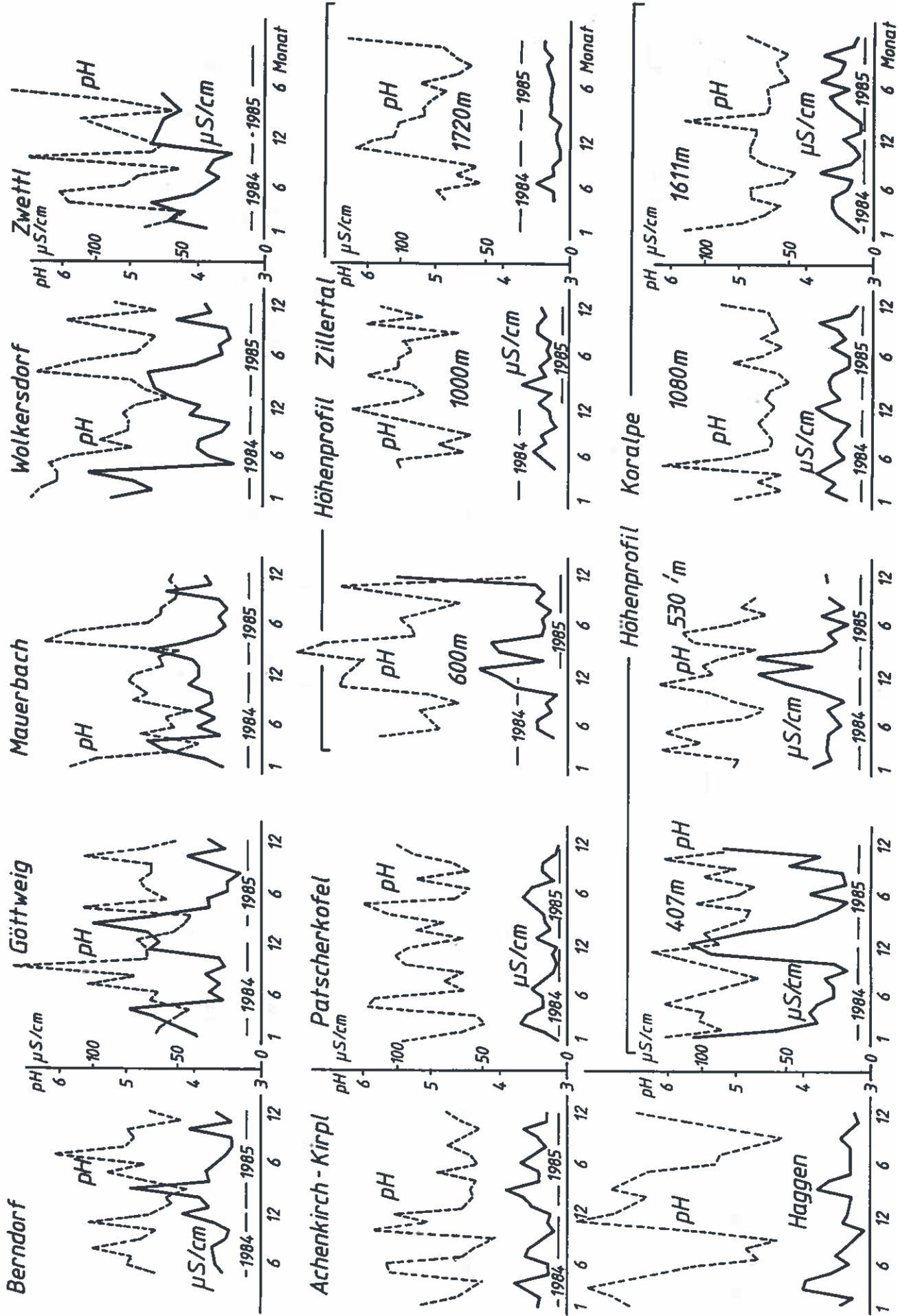


Abb.1: Zeitlicher Verlauf der Monatsmittelwerte der pH-Werte (strichlierte Linie) und Leitfähigkeiten (durchgezogene Linie)

Nitrat (8,4), Chlorid (2,5) in Zwettl und hinsichtlich Ammonium (3,4), Calcium (2,5) und Magnesium (0,5 mg Ion/l) in Wolkersdorf gefunden.

Der Vergleich der Daten der beiden Untersuchungsjahre zeigt für die meisten Meßstellen für 1985 zumeist niedrigere pH-Werte; Leitfähigkeiten und Ionengehalte variierten nicht einheitlich.

Die niedrigsten Leitfähigkeiten wurden an den 7 Tiroler Stationen gemessen, zumindest vier (über 1000m gelegene) von ihnen können, was die nassen Depositionen betrifft, als "Reinluftstationen" bezeichnet werden: Für die Meßstelle Zillertal/Schwendberg (1720m) wurde der geringste Leitfähigkeits-Jahresmittelwert aller Meßorte mit 11,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (1984) berechnet. Die Variationsbreite der Jahresmittel der pH-Werte lag zwischen 4,6 (Achenkirch-Kirpl) und 5,6 (Haggen). Die insgesamt höchsten Jahresmittel der Ionengehalte wurden in den Proben der Station Zillertal/Hippach (600m) festgestellt und betragen für Sulfat und Nitrat 2,4, Chlorid 0,8, Ammonium 1,0, Calcium 1,3 und Magnesium 0,2 mg Ion/l.

Ähnlich wie an den Niederösterreichischen Sammelstellen waren die pH-Werte (mit Ausnahme der Sammelstelle Zillertal/Schwendberg/1720m) 1985 niedriger als 1984. Die Leitfähigkeiten hingegen lagen (mit Ausnahme von Zillertal/Hippach, 600m) höher.

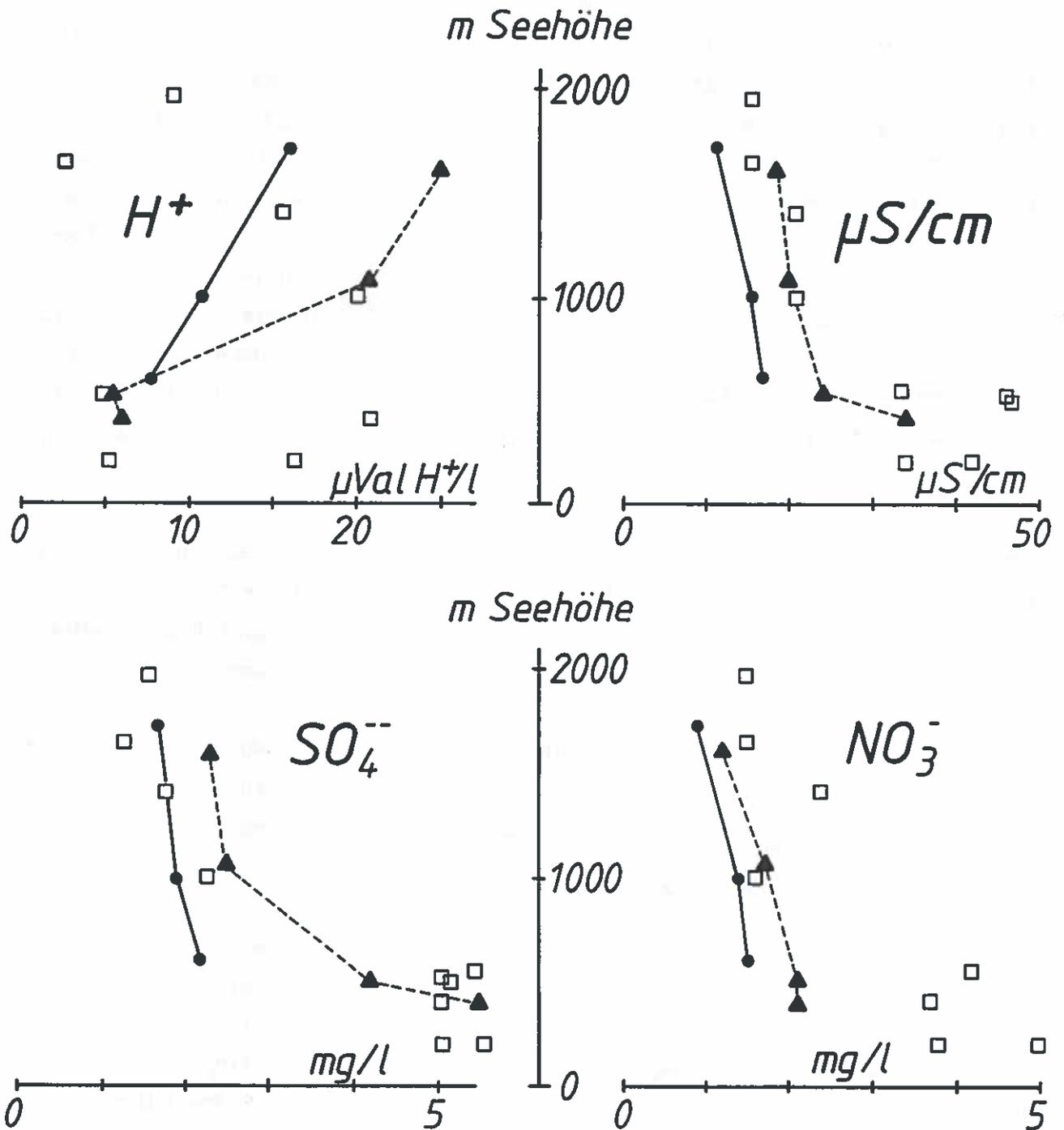
Am Höhenprofil Koralpe in Kärnten (4 Stationen) wurden in beiden Untersuchungsjahren mittlere Leitfähigkeiten zwischen 18,3 und 35,0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  berechnet, die Extremwerte der pH-Jahreswerte betragen 4,6 und 5,4.

Die insgesamt höchsten Jahresmittel an den Kärntner Sammelstellen wurden mit Ausnahme von Chlorid (1,0 mg/l in Paierdorf) in Jakling beobachtet: Sulfat 6,4, Nitrat 2,2, Chlorid 1,0, Ammonium 1,3, Calcium 2,3 und Magnesium 0,3 mg Ion/l (Jakling ist die zum Wärmekraftwerk St. Andrä am nächsten gelegene Sammelstelle im Höhenprofil Koralpe).

Wie an den Niederösterreichischen und Tiroler Stationen wurden 1985 auch im Lavanttal niedrigere pH-Mittel festgestellt; im

Abb.2:  $H^+$  -Konzentrationen, Leitfähigkeiten, Sulfat- und Nitratkonzentrationen (gewichtete Mittel 1984 u. 1985) an den Untersuchungsorten

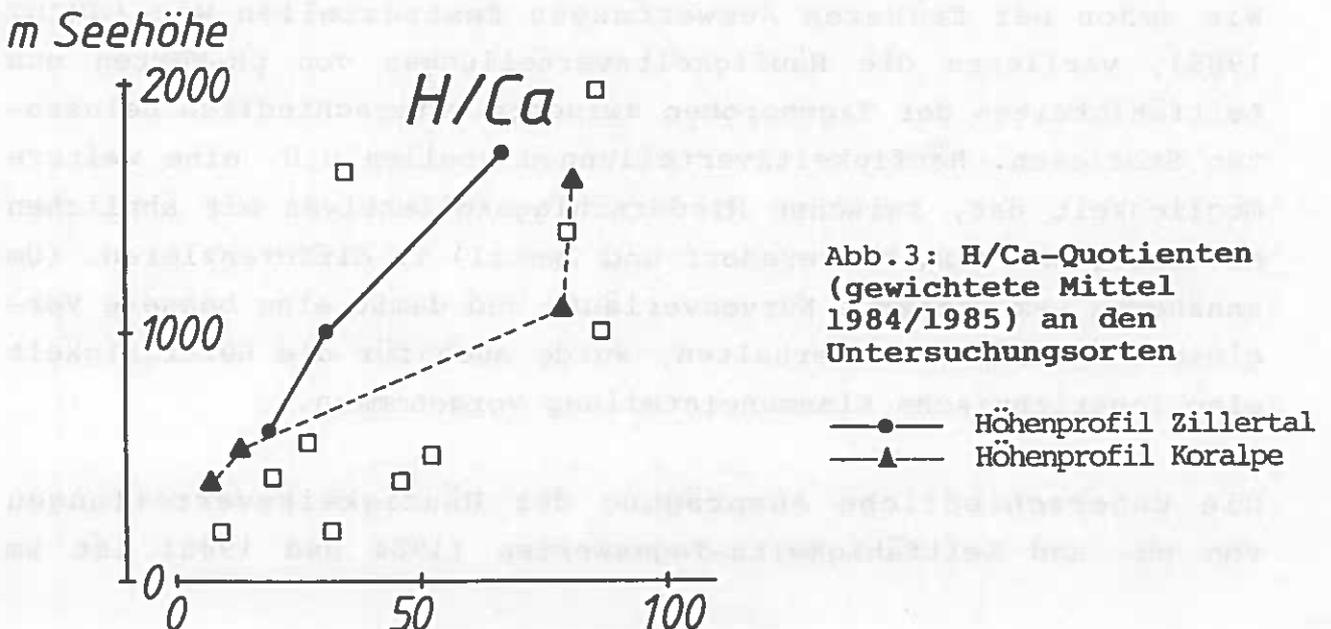
—●— Höhenprofil Zillertal;  
- -▲- - Höhenprofil Koralpe



Gegensatz zu den Tiroler Meßstellen waren jedoch auch die Leitfähigkeiten in diesem Jahr niedriger. Allerdings waren die Sulfatgehalte 1985 an drei der vier Stationen höher als 1984.

### 3.1.2. Ionenkonzentrationen in unterschiedlichen Seehöhen

Frühere Bulk-Dauermessungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt sowie die bundesweite Schneeuntersuchung 1983 haben bereits die Tendenz gezeigt, daß Niederschläge in Reinluftgebieten (bzw. größeren Seehöhen) geringere Ionengehalte aufweisen (SMIDT 1985, STEFAN 1983), was u.a. mit einem geringeren Anteil an trockener, abgesetzter Deposition (Staub) zu erklären ist. Die Auswertung der Niederschlagsdaten 1984 und 1985 ergab hinsichtlich der Leitfähigkeiten und der Ionen Sulfat und Nitrat in Analogie hierzu, daß die in größerer Seehöhe gesammelten Proben im Durchschnitt geringere Ionengehalte aufwiesen, was auch für die anderen Ionen - mit Ausnahme des Wasserstoffions - zutraf. Besonders bei den Höhenprofilen Zillertal und Koralpe kam das bei der Leitfähigkeit und dem Sulfat, weniger deutlich beim Nitrat, zum Ausdruck (Abbildung 2). Ähnlich verhielt es sich mit dem Quotienten aus Wasserstoff und Calcium (Abbildung 3): Dieser Quotient ist in emittentenfernen, wenig staubbelasteten Gebieten höher, weil dort die  $H^+$ -Ionen in den Proben durch alkalische, wie calciumhältige Stäube in geringerem Maße neutralisiert werden. Auch hier bestand eine merkliche Tendenz zur Zunahme mit der Seehöhe.



### 3.1.3. Anionenäquivalentverhältnisse

Eine Möglichkeit der Charakterisierung von Niederschlagsproben besteht darin, die Äquivalentanteile (= "zahlenmäßigen Anteile") der analysierten Anionen zu berechnen. Ihre Gegenüberstellung in verschiedenen Untersuchungsgebieten ergab im Durchschnitt beider Untersuchungsjahre folgendes Bild: An den Meßstellen in Niederösterreich betrug - mit Ausnahme von Zwettl (mit 40%) - der Sulfatanteil über 50% (53-57%), der Anteil von Nitrat war rund 1/3.

Am "Höhenprofil Zillertal" und in Achenkirch lag der Anteil von Sulfat bei rund 50%, der von Nitrat bei etwas mehr als 25%. Etwas niedriger war der Sulfatanteil am Patscherkofel und in Haggen (etwa 40%); der Nitratanteil lag an diesen beiden Stationen knapp unter 40%.

Die Proben aus dem Bereich der Koralpe waren durch den höchsten Sulfatanteil (durchschnittlich rund 60%) charakterisiert; der dem Kraftwerk St. Andrä nächstgelegene Punkt (Jakling) lag mit 66% an der Spitze; der Nitratanteil machte im Lavanttal durchschnittlich nur 25% aus.

### 3.1.4. pH-Werte und Leitfähigkeiten von Einzelereignissen

#### 3.1.4.1. Häufigkeitsverteilungen

Wie schon bei früheren Auswertungen festzustellen war (SMIDT 1985), variieren die Häufigkeitsverteilungen von pH-Werten und Leitfähigkeiten der Tagesproben zwischen unterschiedlich belasteten Stationen. Häufigkeitsverteilungen stellen u.U. eine weitere Möglichkeit dar, zwischen Niederschlagskollektiven mit ähnlichen Mittelwerten (z.B. Wolkersdorf und Zwettl) zu differenzieren. (Um annähernd symmetrische Kurvenverläufe und damit eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu erhalten, wurde auch für die Leitfähigkeit eine logarithmische Klasseneinteilung vorgenommen.)

Die unterschiedliche Ausprägung der Häufigkeitsverteilungen von pH- und Leitfähigkeits-Tageswerten (1984 und 1985) ist am

Beispiel von 10 der 17 Sammelstellen in Abbildung 4 wiedergegeben.

Abbildung 4 (oben) zeigt für die Meßstellen Patscherkofel, Wolkersdorf und Zwettl drei deutlich verschiedene Verteilungen: An der Meßstelle Patscherkofel (strichlierte Linie) traten pH-Werte zwischen 5,0 und 7,0 am häufigsten auf, während bei den beiden anderen Stationen die pH-Werte im saureren Bereich stärker vertreten waren.

Niedrigere Leitfähigkeiten kamen am Patscherkofel deutlich häufiger vor als in Wolkersdorf und in Zwettl.

Unterschiede ergaben sich auch zwischen den Meßstellen der Höhenprofile Zillertal (Abbildung 4, Mitte) und Koralpe (Abbildung 4, unten): die jeweils am tiefsten gelegenen Meßstellen (durchgezogene Linien) wiesen einen relativ höheren Anteil an alkalischeren Proben auf. Demgegenüber traten geringere Leitfähigkeiten an den höher gelegenen Stationen häufiger auf.

#### **3.1.4.2. Korrelationen zwischen gleichen Einzelereignissen an den Höhenprofilen Zillertal und Koralpe**

Schließlich wurde noch untersucht, inwieweit  $H^+$ -Konzentrationen und Leitfähigkeiten gleicher Niederschlagsereignisse an jeweils zwei Meßstellen eines Höhenprofiles miteinander korrelieren (d.h., um wieviel größer oder kleiner im Durchschnitt die  $H^+$ -Konzentration oder die Leitfähigkeit an der jeweils höhergelegenen Station war als an der tiefergelegenen).

Beim Höhenprofil Koralpe wurden nur die Werte der drei untersten Meßstellen herangezogen, da die Station Jauksattel -im Gegensatz zu den übrigen - nur dreimal monatlich beprobt werden konnte.

Im Durchschnitt wurden bei gleichen Niederschlagsereignissen im Zillertal keine wesentlichen Unterschiede der  $H^+$ -Konzentrationen zwischen den einzelnen Meßstellen beobachtet (Abbildung 5, links oben). Am Höhenprofil Koralpe wiesen die im Vergleich zur Meßstelle Waldmann (1080m) jeweils tiefergelegenen Meßstellen im Durchschnitt geringere  $H^+$ -Konzentrationen auf (Kurven 2 und 3); der Vergleich der beiden Talstationen (Jakling und Paierdorf,

Abb.4: Häufigkeitsverteilungen der pH-Werte (links) und der natürlichen Logarithmen der Leitfähigkeiten (rechts) in den Tagesproben

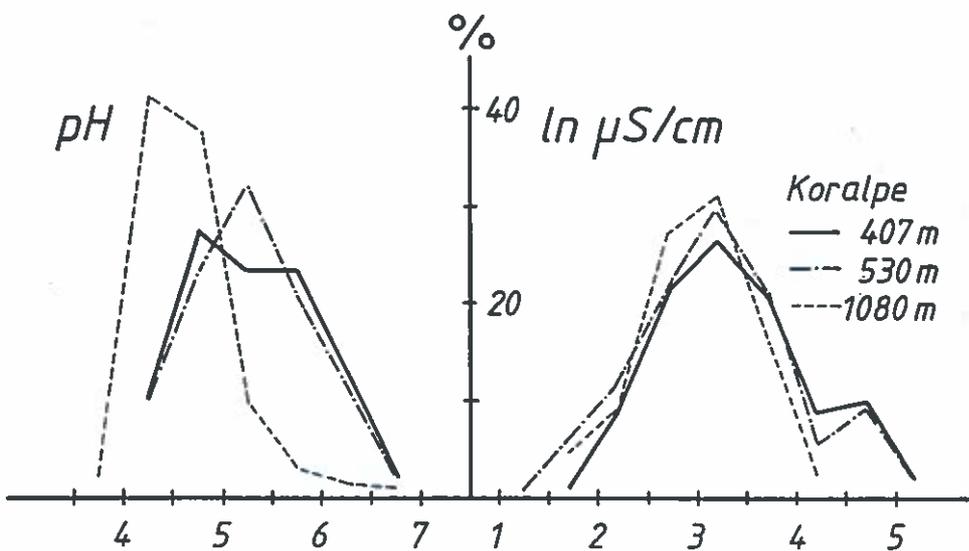
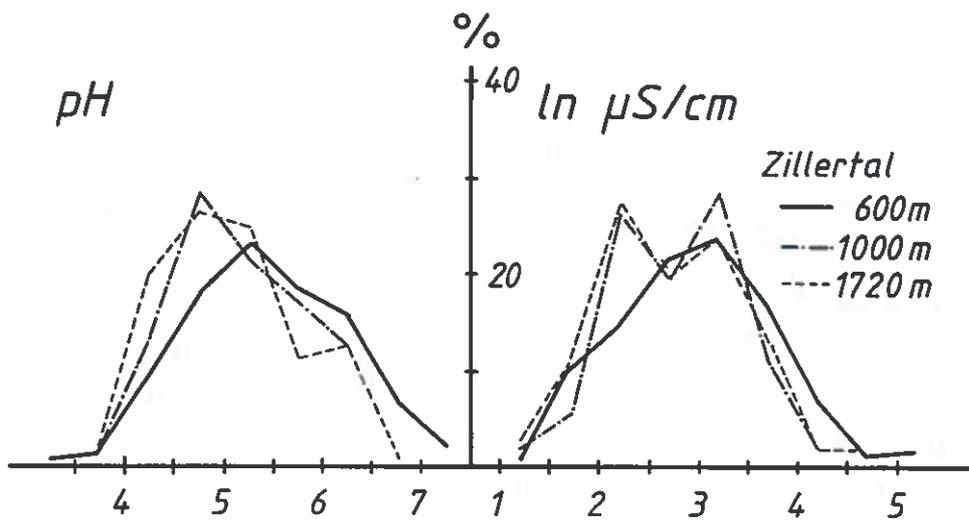
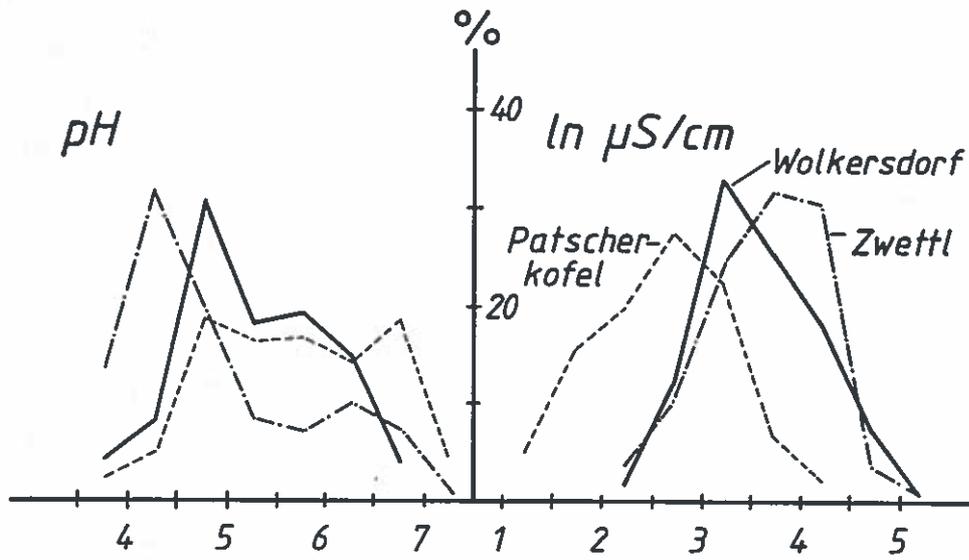
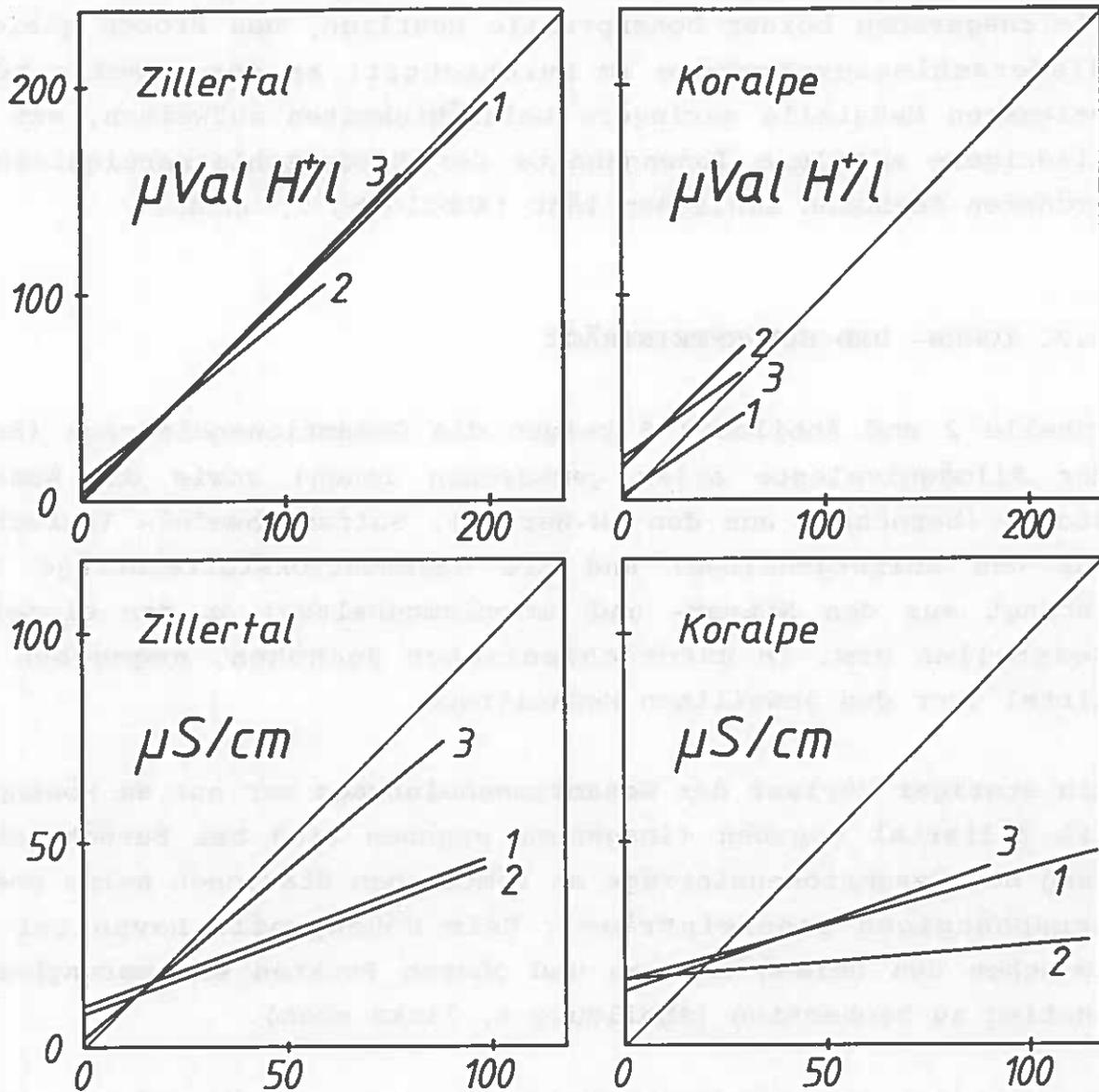


Abb.5: Vergleich gleicher Niederschlagsereignisse:

Statistische Zusammenhänge zwischen den H<sup>+</sup>-Konzentrationen ( $\mu\text{Val H}^+/\text{l}$ ; obere Hälfte) bzw. Leitfähigkeiten ( $\mu\text{S/cm}$ ; untere Hälfte) der jeweils niedriger gelegenen Meßstelle (Abszisse) mit denen der höheren (Ordinate); (Tagesproben der Jahre 1984 + 1985)



Abszisse Ordinate Korrelationskoeffizienten  
H<sup>+</sup>-Konz. Leitfähigkeit  
( $\mu\text{Val/l}$ ) ( $\mu\text{S/cm}$ )

	Abszisse	Ordinate	Korrelationskoeffizienten H <sup>+</sup> -Konz. ( $\mu\text{Val/l}$ )	Leitfähigkeit ( $\mu\text{S/cm}$ )	
Zillertal	1:	600m	1000m	$r = 0,81$	$r = 0,56$
	2:	600m	1720m	$r = 0,59$	$r = 0,53$
	3:	1000m	1720m	$r = 0,81$	$r = 0,90$
Koralpe	1:	407m	530m	$r = 0,64$	$r = 0,48$
	2:	407m	1080m	$r = 0,58$	$r = 0,25$
	3:	530m	1080m	$r = 0,34$	$r = 0,49$

Kurve 1) ergab demgegenüber für die h ö h e r gelegene Meßstelle die jeweils geringeren  $H^+$  -Konzentrationen (Abbildung 5, rechts oben).

Im Gegensatz zu den oben genannten Beispielen zeigen die Ausgleichsgeraden beider Höhenprofile deutlich, daß Proben gleicher Niederschlagsereignisse im Durchschnitt an der jeweils höher gelegenen Meßstelle geringere Leitfähigkeiten aufweisen, was auf niedrigere mittlere Ionengehalte der Niederschlagsereignisse in größeren Seehöhen schließen läßt (Abbildung 5, unten).

### 3.2. IONEN- UND ELEMENTEINTRÄGE

Tabelle 2 und Abbildung 6 zeigen die Gesamtioneneinträge (Summe der Kiloäquivalente aller gemessenen Ionen) sowie die Wasserstoff- (berechnet aus den pH-Werten), Sulfatschwefel- (berechnet aus den Sulfatgehalten) und die Gesamtstickstoffeinträge (berechnet aus den Nitrat- und Ammoniumgehalten) an den einzelnen Meßstellen bzw. in unterschiedlichen Seehöhen, angegeben als Mittel über den jeweiligen Meßzeitraum.

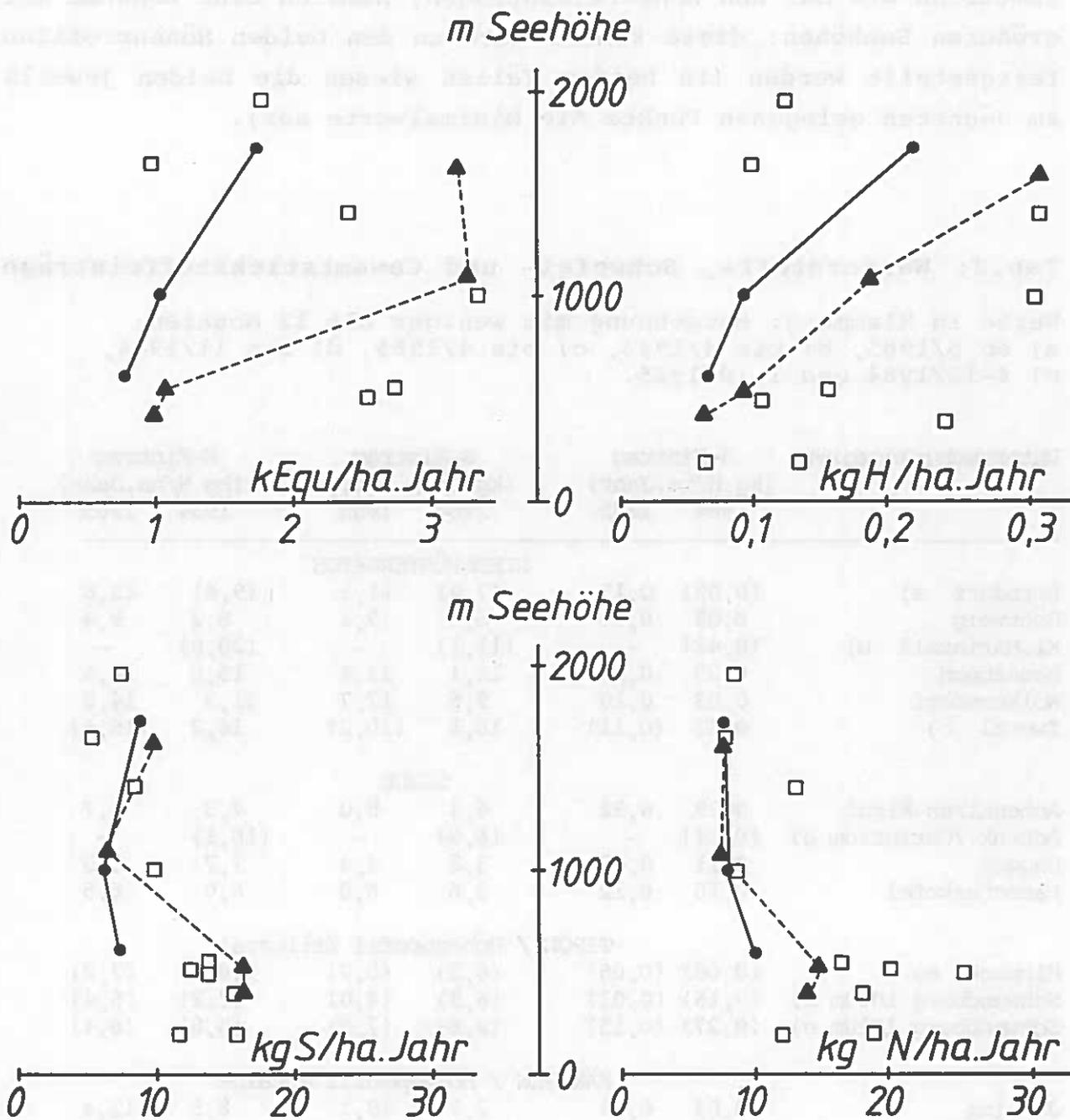
Ein stetiger Verlauf der Gesamtioneneinträge war nur am Höhenprofil Zillertal gegeben (insgesamt ergaben sich bei Berücksichtigung der Gesamtioneneinträge an sämtlichen Stationen keine seehöhenabhängigen Ioneneinträge). Beim Höhenprofil Lavanttal war zwischen den beiden unteren und oberen Punkten ein sprunghafter Anstieg zu beobachten (Abbildung 6, links oben).

Hinsichtlich der Wasserstoffeinträge war an den Höhenprofilen zwar eine deutliche Zunahme mit steigender Seehöhe festzustellen, die Werte aller Punkte lassen aber keinen einheitlichen Trend erkennen, der auf einen bestimmten Eintrag in bestimmten Seehöhen schließen ließe.

Die Sulfatschwefeleinträge nahmen im allgemeinen "nach oben" ab. Im Lavanttal zeigte aber die höchstgelegene Probenahmestelle den geringsten Schwefeleintrag. Die in 1080m und 1611m Seehöhe gelegenen zwei Stationen wiesen mit 5,5 bzw. 8,2 kg S/ha.Jahr (Mittel aus 1984 und 1985) aber deutlich geringere Einträge als die

Abb.6: Gesamtioneneinträge (Summe der gemessenen Ionenäquivalente/ha.Jahr) sowie Wasserstoff-, Schwefel- und Gesamtstickstoffeinträge (kg Element/ha.Jahr).

—●— Höhenprofil Zillertal;  
 ---▲--- Höhenprofil Koralpe



talnahen Stationen mit durchschnittlich 13,4 kg S/ha.Jahr auf. Da im Zillertal bereits an der Talstation ein Wert erreicht wurde, der nahe dem geringsten berechneten Eintragswert für Schwefel liegt, ergaben sich keine markanten Unterschiede zwischen den drei Meßstationen.

Bei den Gesamtstickstoffeinträgen ergab sich ein ähnlicher Gesamttrend wie bei den Schwefeleinträgen, nämlich eine Abnahme mit größeren Seehöhen; diese konnte auch an den beiden Höhenprofilen festgestellt werden (in beiden Fällen wiesen die beiden jeweils am höchsten gelegenen Punkte die Minimalwerte auf).

Tab.2: Wasserstoff-, Schwefel- und Gesamtstickstoffeinträge

Werte in Klammern: Berechnung mit weniger als 12 Monaten:  
a) ab 5/1985, b) bis 4/1984, c) bis 4/1985, d) bis 11/1984,  
e) 4-12/1984 und 1-10/1985.

Untersuchungsgebiet	H-Eintrag (kg H/ha.Jahr)		S-Eintrag (kg S/ha.Jahr)		N-Eintrag (kg N/ha.Jahr)	
	1984	1985	1984	1985	1984	1985
<b>NIEDERÖSTERREICH</b>						
Berndorf a)	(0,09)	0,15	(7,9)	11,1	(9,6)	12,8
Göttweig	0,09	0,14	6,6	9,1	8,2	9,4
Kl.Mariazell b)	(0,42)	-	(11,1)	-	(20,0)	-
Mauerbach	0,23	0,24	12,1	12,4	15,0	14,6
Wolkersdorf	0,03	0,10	9,6	12,7	21,3	14,8
Zwettl c)	0,13	(0,11)	10,1	(10,2)	16,2	(15,6)
<b>TIROL</b>						
Achenkirch-Kirpl	0,29	0,32	6,4	8,0	7,3	6,7
Achenk./Christlum d)	(0,31)	-	(6,9)	-	(10,1)	-
Haggen	0,11	0,08	3,8	4,4	7,7	5,9
Patscherkofel	0,16	0,12	3,6	6,0	6,0	6,5
<b>TIROL / Höhenprofil Zillertal</b>						
Hippach e)	(0,08)	(0,05)	(6,3)	(5,7)	(8,3)	(7,2)
Schwendberg 1000m e)	(0,16)	(0,03)	(6,9)	(4,0)	(7,2)	(5,4)
Schwendberg 1720m e)	(0,27)	(0,15)	(6,6)	(7,8)	(5,8)	(6,4)
<b>KÄRNTEN / Höhenprofil Koralpe</b>						
Jakling	0,04	0,09	7,7	19,1	8,5	13,4
Paierdorf	0,07	0,12	9,1	17,6	8,9	14,4
Waldmann	0,17	0,20	5,8	5,1	6,9	4,9
Jauksattel	0,28	0,33	7,0	9,3	5,8	6,2

## 4. DISKUSSION

### 4.1. IONENKONZENTRATIONEN

Auf Grund der bisherigen Messungen mit Bulk-Sammlern kann hinsichtlich der pH-Werte, Leitfähigkeiten und Ionenkonzentrationen folgendes gesagt werden:

- **Backgroundmeßstellen:** Jene Meßstellen, die weitgehend unbeeinflusst von örtlichen Emittenten sind, wiesen im Jahresdurchschnitt Leitfähigkeiten bis  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$  auf; in den Proben dieser Meßstellen betrug das pH-Mittel  $5,6 \pm 0,5$ , die Sulfat- und Nitratgehalte lagen unter  $2 \text{ mg Ion}/\text{l}$  und die der übrigen Ionen unter  $1 \text{ mg Ion}/\text{l}$  (Patscherkofel, Haggen, beide Meßstellen am Schwendberg/Zillertal).
- **Gering beeinflusste Meßstellen:** Zu diesen zählen die Stationen Achenkirch, Waldmann und Jauksattel. Sie wiesen zwar ebenfalls nur mittlere Leitfähigkeiten bis  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$  auf, die pH-Werte waren aber hier stärker abgesenkt als bei den "Backgroundmeßstellen"; die Ionengehalte lagen z.T. auch über  $2 \text{ mg}/\text{l}$  (Sulfat, Nitrat) bzw. über  $1 \text{ mg}/\text{l}$  (übrige Ionen).
- **Deutlich beeinflusste Meßstellen:** Stationen mit häufig verunreinigten Proben (Jahresmittel über  $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) bzw. mit mehr als  $2 \text{ mg}/\text{l}$  Sulfat und Nitrat bzw. deutlich mehr als  $1 \text{ mg}/\text{l}$  bei den übrigen Ionen traten an den niederösterreichischen Sammelstellen und an zwei Punkten des Höhenprofils Koralpe (Jakling und Paierdorf) auf. Die pH-Werte waren dort z.T. deutlich abgesenkt.

Den oben dargestellten Ergebnissen werden in Tabelle 3 "WADOS-" und "Bulk-"Ergebnisse anderer Dienststellen gegenübergestellt (dabei ist zu berücksichtigen, daß die Probenahme mit WADOS-Geräten eine "Wet-and dry-Probenahme" ist, bei der die sich in der regenfreien Zeit absetzenden alkalischen Stäube gesondert aufgefangen werden, wodurch die sauren nassen Depositionen in wesentlich geringerem Maße neutralisiert werden; daraus ergeben sich die stärker sauren Durchschnittswerte und die höheren  $\text{H}^+$ -Einträge). Nach der oben gegebenen Klassifizierung entsprechen

die Konzentrationen der WADOS-Proben deutlich beeinflussten Gebieten.

Tab.3: Gewichtete mittlere Konzentrationen von WADOS-Meßstationen (tages- bzw. ereignisweise Probenahme, "Wet-only-Proben") des AMTES DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (1985) und des AMTES DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1985; Meßzeitraum jeweils Oktober 1983 - September 1984), sowie Variationsbreiten der gerundeten Jahresmittel von pH-Werten und Ionenkonzentrationen in Bulk-Proben der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (monatliche Probenahme; Meßzeiträume: Wien: 1974-1979 und 1983, Retz: 1958-1980; CEHAK u. CHALUPA, 1985 und 1985a).

Meßstelle	pH-Mittel	Gewichtete mittl. Konzentrationen (mg Ion/l)			
		SO <sub>4</sub> =	NO <sub>3</sub> -	Cl-	NH <sub>4</sub> +
Kufstein/T.	4,32	3,02	2,52	0,28	1,07
Reutte/T.	4,52	1,98	1,59	0,26	0,57
Achenkirch/T.	4,61	2,49	1,90	-	0,89
Salzburg Flughafen	4,33	4,53	3,36	0,65	1,16
Haunsberg/Sbg.	4,54	3,88	2,92	0,76	1,17
St. Kolomann/Sbg.	4,23	2,93	2,35	-	0,84
Wien/Stmk.	4,4-5,1	4,3- 5,7	1,4- 2,9	0,4-0,8	0,6-1,3
Retz/NÖ.	4,3-5,4	2,9-17,4	1,2-10,3	0,3-1,5	1,7-3,0

#### 4.2. ELEMENTEINTRÄGE

Schwieriger als die Klassifizierung der Ionenkonzentrationen ist die Beurteilung der Quantitäten von Elementeinträgen, weil diese nicht nur von der (durchschnittlichen) Ionenkonzentration (also von der "Niederschlagsqualität"), sondern auch von der Niederschlagsmenge abhängig sind (darüber hinaus hängt die Bedeutung der Eintragungsmengen u.a. auch von den standörtlichen Voraussetzungen und der Empfindlichkeit der Bestockung ab). Zum Vergleich der hier dargestellten Daten (Tabelle 2) werden in Tabelle 4 jene der WADOS-Meßstellen aus Salzburg und Tirol angeführt (zur leichteren Vergleichbarkeit wurde in den Tabellen 4 und 5 einheitlich auf kg Element/ha.Jahr umgerechnet).

Während die Wasserstoff-Einträge der ganzjährig betriebenen Meßstellen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt im Jahresdurchschnitt zwischen 0,03 und 0,34 kg H<sup>+</sup>/ha.Jahr lagen, ergaben die

mit WADOS-Geräten gesammelten "Wet only"-Proben Werte bis 0,78 kg H+/ha.Jahr. Die z.T. wesentlich höheren Werte sind u.a. mit dem Prinzip dieser Probenahme zu erklären, da hierbei die alkalischen Staubdepositionen ausgeschlossen werden.

Die Sulfat-Schwefeleinträge bei den Bulk-Messungen ergaben (wieder für die ganzjährig betriebenen Meßstellen) Werte zwischen 3,6 und 19,1 kg S/ha.Jahr. Die WADOS-Ergebnisse liegen mit 7,6 - 13,2 kg S/ha.Jahr innerhalb dieser Variationsbreite.

Analog zu den Schwefeleinträgen waren die Gesamtstickstoffeinträge bei den Bulk-Messungen (4,9 bis 21,3 kg N/ha.Jahr) durch eine größere Variationsbreite gekennzeichnet als die der angeführten WADOS-Meßstellen (9,0-17,8 kg N/ha.Jahr).

Tab.4: Elementeinträge durch nasse Deposition an je drei WADOS-Meßstellen in Salzburg und Tirol  
(AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG 1985 und AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1985; Meßzeitraum Oktober 1983 - September 1984; gerundete Werte)

Meßstelle	Elementeinträge (kg Element/ha.Jahr)				
	H+	SO <sub>4</sub> -S	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Ges.-N
Salzburg Flughafen	0,40	13,1	6,6	7,6	14,2
Haunsberg/Sbg.	0,28	12,4	7,0	8,5	15,5
St.Kolomann/Sbg.	0,78	13,1	7,0	8,5	15,5
Kufstein/T.	0,62	13,2	7,0	10,8	17,8
Reutte/T.	0,34	7,6	4,0	5,0	9,0
Achenkirch/T.	0,29	10,0	5,2	8,2	13,2

Es ist bekannt, daß sich Freiland-Niederschläge deutlich von Bestandesniederschlägen ("Kronentraufproben") unterscheiden: Meist findet in der Baumkrone eine Anreicherung der Niederschläge mit Ionen statt, da die Krone die auf Grund ihres Interzeptionsvermögens abgelagerten Luftverunreinigungen wieder an das Regenwasser abgibt. EVERS (1985) hat für den Zeitraum von November 1983 - Oktober 1984 in Südwestdeutschland an 10 Meßorten Niederschlagsmessungen im Freiland und in Nadelholzbeständen durchgeführt und die Elementeinträge berechnet (diesen Daten werden jene von HÖFFGEN u. GRAVENHORST 1983 angegebenen weiteren Daten aus belasteten Gebieten der Bundesrepublik Deutschland sowie den H+ -Einträgen aus dem Wienerwald/NÖ. gegenübergestellt:

Tab.5: Variationsbreite von H-, S- und N-Einträgen an 10 Freiland- und Bestandesmeßstellen in Südwestdeutschland (EVERS, 1985) und nach Zitaten in HÖFFGEN u. GRAVENHORST (1983; Daten 1957-1975)  
1) Buchenbestand im Wienerwald/NÖ. (März bis November 1983)

Element	Einträge (kg Element/ha.Jahr)		Quelle
	Freiland	Bestand	
H	0,23-0,55	0,16-2,98	EVERS (1985)
H	0,06-1,20	0,04-3,30	HÖFFGEN u.GRAVENHORST (1983)
H	bis 3,84	bis 0,12	SONDEREGGER (1984) 1)
S	7,80-13,2	16,9-56,2	EVERS (1985)
S	1,32-28,4	6,4-136,9	HÖFFGEN u.GRAVENHORST (1983)
N	9,60-15,1	9,6-40,1	EVERS (1985)
N	1,44-30,0	2,3-40,0	HÖFFGEN u.GRAVENHORST (1983)

Laut EVERS (1985) sind im Nadelholzbestand nährstoffarme Böden mit geringer Basensättigung durch Versauerung und verstärkte Basenauslaugung gefährdet, wenn Wasserstoffeinträge im Ausmaß von 0,75 kg H<sup>+</sup>/ha.Jahr abgesetzt werden (Bestandesniederschläge können jedoch dem Boden mitunter deutlich höhere H<sup>+</sup>-Fracht zuführen als die entsprechenden Freilandniederschläge). Einträge dieses Ausmaßes wurden in Österreich jedoch nur an der Meßstelle St. Kolomann festgestellt ("Wet-only-Probenahme"); die Literaturangaben in Tabelle 5 weisen jedoch darauf, daß derartig hohe H<sup>+</sup>-Einträge sowohl im Freiland als auch unter dem Kronendach weit überschritten werden können.

Besondere Aufmerksamkeit ist auch auf die Stickstoffeinträge zu lenken, welche - bedingt durch den Anstieg der NO<sub>x</sub>-Emissionen - europaweit im Ansteigen begriffen sind. Diesbezüglich gibt EVERS (1985) an, daß 36-40 kg N/ha.Jahr (im Mittel 3-3,3 kg/ha.Monat entsprechend) bereits mehr sind, als die Bestände zur Bildung neuer Biomasse benötigen (dieser Wert ist u.a. von der Bestockung, der Alters- und Ertragsklasse abhängig; Überschüsse führen jedenfalls zur Belastung des Grundwassers und können auch die Toleranz gegenüber Frost, Trockenheit und Schädlinge vermindern). Diese Quantitäten können, wie das Beispiel aus dem Wienerwald (Exelberg) zeigt, zumindest kurzfristig besonders in Wintermonaten erheblich überschritten werden: GLATZEL et al.(1985) berechneten für den Monat Februar 1985 (die Winter-

monate bringen auf Grund der erhöhten Emissionen aus dem Wiener Raum deutlich höhere Schadstofffrachten) einen Gesamtstickstoffeintrag von rund 550 mg N/m<sup>2</sup> (5,5 kg N/ha.Monat) in ein Buchenwaldökosystem, welches aus dem östlich gelegenen Wiener Raum belastet wird (der Sulfatschwefeleintrag betrug in diesem Monat 700 mg S/m<sup>2</sup>). An den hier bearbeiteten Bulk-Meßstellen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurden die oben angegebenen Stickstoffeinträge von 36-40 kg/ha.Jahr bei weitem nicht erreicht (der Maximalwert betrug 21,2 kg N/ha.Jahr), Einträge über 40 kg N/ha.Jahr (berechnet über einen längeren Zeitraum) dürften jedoch gemäß Tabelle 5 (EVERS, 1985) eher eine Ausnahme darstellen.

Die bisher in Österreich vorliegenden Ergebnisse von Depositionsmessungen deuten darauf hin, daß Element- bzw. Schadstoffeinträge in Waldökosysteme und Gewässer zu bedeutsamen Belastungs- und Gefährdungsfaktoren werden können, wenn es auf Grund langzeitwirksamer Einträge bereits über Jahre hinweg zu einer Akkumulation von Schadstoffen gekommen ist. Es ist deshalb notwendig, sowohl in Immissionsgebieten als auch auf sonstigen gefährdeten Standorten, wie etwa den Hochlagen, die Eintragungsmessungen zu intensivieren, um die Entwicklung von kurz- und langfristig einwirkenden Depositionen repräsentativ erfassen zu können.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

An 17 Stationen in Österreich (sechs in Niederösterreich, 7 in Tirol und vier in Kärnten) wurden in den Jahren 1984 und 1985 nasse Niederschläge (Regen und Schnee) gesammelt. Im Zillertal/Tirol (drei Stationen) und im Bereich der Koralpe/Ktn. (vier Stationen) waren die Sammelgeräte in einem Höhenprofil angeordnet. Die Tagesproben wurden auf pH-Wert und Leitfähigkeit, die Monatsmischproben auf pH-Wert, Leitfähigkeit, Sulfat, Nitrat, Chlorid, Ammonium, Calcium und Magnesium analysiert.

**Ionenkonzentrationen:** Die meisten Ionen zeigten eine Abnahme der Konzentration mit zunehmender Seehöhe. An den "Backgroundstationen" wurden geringe Konzentrationen (unter 2 mg/l) und eine geringe Schwankung der Leitfähigkeitswerte (Monatsmittel bis 20  $\mu$ S/cm) beobachtet. Meßstellen im Einflußbereich von Emittenten zeigten deutlich höhere Ionengehalte. Die pH-Monatswerte schwankten an den meisten Stationen meist um rund 2 Einheiten. Die Tagesproben zeigten - je nach der Stärke der "Belastung" der Meßstelle - eine unterschiedliche Verteilung der relativen Häufigkeit von pH-Werten und Leitfähigkeiten an den einzelnen Meßstellen.

**Elementeinträge:** Auffallend war besonders an den beiden Höhenprofilen Zillertal und Koralpe der Anstieg des Wasserstoffeintrages mit zunehmender Seehöhe. Hinsichtlich der Schwefel- und Stickstoffeinträge wurde im allgemeinen ein Trend zur Abnahme mit zunehmender Seehöhe beobachtet, welcher jedoch an den Profilstationen weniger deutlich ausgeprägt war. Die Eintragsmengen waren - wie die Ionenkonzentrationen - ebenfalls von lokalen Emittenten geprägt: Schwefel- und Stickstoffeinträge erreichten an den Reinluftstationen 7,8 kg S/ha.Jahr bzw. 7,7 kg N/ha.Jahr, an den übrigen, stärker belasteten Stationen jedoch bis 19,1 kg S/ha.Jahr bzw. 21,3 kg N/ha.Jahr.

## SUMMARY

At 17 locations in Austria (6 in Lower-Austria, 7 in Tyrol and 4 in Carinthia) rain and snow samples were collected in the years 1984 and 1985. In Zillertal/Tyrol (3 locations) and in the area of the Koralpe (Carinthia, 4 locations) the samplers were placed at different altitudes. In the samples of each precipitation-event, pH-value and conductivity were measured; in the mixed event-samples of each month pH-value, conductivity, sulfate, nitrate, chloride, ammonium, calcium and magnesium were analysed.

**Ion-concentrations:** Most of the ions showed a decrease of the concentration with increasing altitude. At the background stations lower concentrations (below 2 mg ion/l) and a low variation of the conductivities (average month values up to 20  $\mu$ S/cm) were found. The monthly pH-averages varied in most of the cases between two units. The event-samples showed differing relative frequencies of the pH-values and conductivities according to the air quality at the different stations.

**Deposition rates:** Specially at the elevation-profiles in Zillertal and Lavanttal the increase of the deposition of protons with increasing altitude was remarkable. Regarding to the sulfur and nitrogen-deposition at the elevation-profiles in Zillertal and Lavanttal a decrease with increasing altitude generally was stated. The input quantities were influenced by adjacent emitters as well as the ion concentrations: sulfur- and nitrogen depositions amounted up to 7,8 kg S/ha.a and 7,7 kg N/ha.a respectively at the background stations, but up to 19,1 kg S/ha.a and 21,3 kg N/ha.a respectively at the other more polluted stations.

## 6. LITERATUR

AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG (1985): Untersuchung über die Zusammensetzung des nassen Niederschlages und des sedimentierten Staubes im Land Salzburg.- Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung des Amtes der Sbg. LReg. (Abt.7), Bd.11.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG (1985): Immissionsmessungen "Nasser Niederschlag" in Tirol (Untersuchungszeitraum Oktober 1983 bis September 1984), von H.PUXBAUM, M.PIMMINGER, A.KOVAR (Inst. f. Analyt. Chemie, Techn. Univ. Wien); I.PACK, A.WEBER (Landesforstdirektion Tirol).- Bericht 3F/85 der Abt. f. Umweltaalytik.

ANONYM (1983): Ergebnisse des Österreichischen Eutrophieprogrammes 1978-1982. Hrsg.: BMin. f. Gesundh. u. Umweltschutz und BMin. f. Wiss. u. Forschung.

BERGER F. (1984): Wie sauer sind eigentlich Regen und Schnee?- JBer. Biol. Stat. Lunz 7 (12pp).

CEHAK K. (1985): Niederschlagschemische Beobachtungen in wenig industrialisierten Gebieten Österreichs.- VDI-Berichte Nr. 560, 295-312.

CEHAK K., K.CHALUPA (1985): Observations of Various Chemical Contaminants of the Precipitation at an BAPMON Station in the Eastern Pre-Alpine Region.- Arch. Met. Geoph. Biol., Ser.B, 35, 307-322.

CEHAK K., K.CHALUPA (1985a): Beobachtungen der chemischen Beimengungen des Niederschlages in der Südost-Steiermark.- Wetter und Leben 37, 3, 133-140.

CHALUPA K. (1986): Kurzer Jahresbericht des Chemischen Laboratoriums der ZA f. Meteorologie und Geodynamik für das Jahr 1985.

DEISINGER G., J.GRUBER, W.HONSIG-ERLENBURG, E.POLZER, N.SCHULZ (1982): Österreichs Eutrophieprogramm: Eutrophierungs- und

Selbstreinigungsvorgänge an der Seenkette Hafnersee - Keutschacher See - Wörthersee.- Kärtner Inst. f. Seenforschung.

EMEP/CCC (1984): Summary Report from the chemical Co-ordinating Centre for the Second Phase of EMEP (April 1984), Unveröff. Manuskript.

EVERS F.H. (1985): Niederschlagsanalytische Untersuchungen in südwestdeutschen Waldbeständen.- In: NIESSLEIN E. und G.VOSS (Hrsg.): Was wir über das Waldsterben wissen.- Deutscher Institutsverlag, 142-147.

GEORGII, H.W. (1965): Untersuchungen über Ausregnen und Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch Wolken und Niederschlag.- Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr.100, Bd.14.

GLATTES F., S.SMIDT, A.DRESCHER, C.MAJER, F.MUTSCH (1985): Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden am Beispiel eines Höhenprofils im Zillertal/Tirol, Erste Ergebnisse.- FBVA-Berichte Nr.9.

GLATZEL G., E.SONDEREGGER, M.KAZDA (1983): Der Einfluss des sauren Niederschlages auf den Waldboden.- Allg. Forstztg. S.111-113.

GLATZEL G., E.SONDEREGGER, M.KAZDA, H.PUXBAUM (1983a): Bodenveränderungen durch schadstoffangereicherte Stammablaufniederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes.- Allg. Forstzeit-schr. 26/27, 693-694.

GLATZEL G., H.PUXBAUM (1983): Untersuchungen der Zusammensetzung von sauren Stammabläufen.- VDI-Berichte Nr.500.

GLATZEL G., M.KAZDA, L.LINDEBNER, E.SONDEREGGER (1985): Winterlicher Schadstoffeintrag in Wälder, untersucht am Beispiel des Wienerwaldes.- Wald- und Holzwirtschaft 387, 33. Jg., 226-228.

GLATZEL G., M. KADZDA (1985a): Wachstum und Mineralstoffernährung von Buche (*Fagus sylvatica*) und Spitzahorn (*Acer platanoides*) auf versauertem und schwermetallbelastetem Bodenmaterial aus dem

- Einsickerungsbereich von Stammabflußwasser in Buchenwäldern.- Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 148, 429-438.
- GLATZEL G. (1985): Die Schadstoffbelastung der Wälder des Wienerwaldes.- Vortrag bei der Wienerwaldkonferenz am 1.6.1985 in Gablitz.
- GLATZEL G., M.KAZDA, L.LINDEBNER (1986): Ist der stadtnahe Wienerwald durch Eintrag von Luftschadstoffen gefährdet? - Allg. Forstztg. 97.Jg., 97-100.
- GRUBER J. (1985): Nähr- und Schadstoffeintrag in die Seen Kärntens durch Niederschläge.- Dissertation Universitaet Graz.
- HÖFFGEN K.D., G.GRAVENHORST (1983): Untersuchung über die Deposition atmosphärischer Spurenstoffe an Buchen- und Fichtenwald.- Umweltbundesamt, Berichte 6/83, Erich Schmidt Verlag Berlin.
- HONSIG-ERLENBURG (1985): Österreichisches Eutrophieprogramm: Gewässerbelastung durch Niederschlag und diffusen Eintrag.- Projekt Kärntner Seenkette, Zwischenbericht.
- HONSIG-ERLENBURG W., H.SAMPL (1986): Zur Frage der Versauerung von Oberflächengewässern in Kärnten.- Österreichs Wasserwirtschaft, im Druck.
- KAZDA M. (1983): Schwermetalleintrag in das Buchenwaldökosystem des Wienerwaldes.- Diplomarbeit Univ. Bodenkultur.
- KAZDA M., G.GLATZEL (1984): Schwermetallanreicherung und Schwermetallverfügbarkeit im Einsickerungsbereich von Stammablaufwasser in Buchenwälder (*Fagus sylvatica*) des Wienerwaldes.- Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 147 (6), 743-752.
- KAZDA M. (1985): Untersuchung von Schwermetalldepositionsvorgängen aus Analysen fraktionell gesammelter Stammabflussproben und Jahresgang der Schwermetalldeposition in einem Buchenwaldsökosystem des stadtnahen Wienerwaldes.- Dissertation Univ. Bodenkultur Wien.

LÖFFLER H., P.ZAHRADNIK, H.BROSSMANN (1984): Forschungsprojekt "Diffuser Nährstoffeintrag in den Neusiedlersee, Untersuchung der Regenchemie".- Zoologisches Institut der Univ. Wien, Abt. Limnologie.

MALISSA H., H.PUXBAUM, B.WOPENKA (1980): Zur chemischen Zusammensetzung von urbanen Niederschlägen.- Fresenius Z. Anal. Chem. 301, 279-286.

MALISSA H., H.PUXBAUM, M.PIMMINGER (1983): Untersuchung des Nährstoffeintrages in den Neusiedlersee aus der Atmosphäre, Endbericht im Auftrag des BMin. f. Gesundh. Umweltschutz.

MALISSA H., H.PUXBAUM, E.PELL, A.KOVAR (1985): Untersuchung über die Zusammensetzung des nassen Niederschlages und des sedimentierten Staubes im Land Salzburg.- In: Schriftenreihe Luftgüteuntersuchung, Immissionsmessungen, Saurer Regen, Ergebnisse Oktober 1982 - September 1984, Amt der Salzburger Landesregierung, Abt.7.

MALITZKY G. (1984): Diffuser Nährstoffeintrag in den Lunzer Untersee unter besonderer Berücksichtigung des Niederschlages.- JBer. Biol. Stn. Lunz 7, 159-166.

MALITZKY G. (1985): Einige Beispiele für den Zusammenhang zwischen Wetterlage und chemischer Zusammensetzung des Regenwassers im Gebiet von Lunz am See, Niederösterreich.- Festschrift zum zehnjährigen Bestehen der NÖ. Umweltschutzanstalt.

MERTEN D., F. SAUERZOPF (1984): Zur chemischen Zusammensetzung atmosphärischer Niederschläge im Gebiet des Neusiedler Sees.- BFB-Berichte 45, 1-19.

MOOG O. (Hrsg.): Arbeiten aus dem Labor Weyregg, Jahresbericht 1979 (Arb.Lab.Weyregg 4/1980).- Österr. Eutrophieprogramm, Projekt Salzkammergutseen.

MOOG O.: (Hrsg.): Arbeiten aus dem Labor Weyregg, Jahresbericht 1980 (Arb.Lab.Weyregg 5/1981).- Österr. Eutrophieprogramm, Projekt Salzkammergutseen.

MOOG O.: (Hrsg.): Arbeiten aus dem Labor Weyregg, Jahresbericht 1981 (Arb.Lab.Weyregg 6/1982).- Österr. Eutrophieprogramm, Projekt Salzkammergutseen.

MÜLLER G. (Hrsg.): Arbeiten aus dem Labor Weyregg, Jahresbericht 1978 (Arb.Lab.Weyregg 3/1979).- Österr. Eutrophieprogramm, Projekt Salzkammergutseen.

NEUHUBER F., P.ZAHRADNIK, H.BROSSMANN (1980): Phosphorus and Nitrogen in Neusiedlersee.- Developments in Hydrobiology 3, 35-42.

OECD (1977): The OECD-Programme on Long Range Transport of Air Pollutants.- OECD Paris.

OECD (1979): The OECD-Programme on Long Range Transport of Air Pollutants, Measurements and Findings.- OECD Paris.

PSENNER R., P.ZADERER, U.NICKUS (1983): Erste Erfahrungen und Ergebnisse bei der Erfassung saurer Niederschläge in Tirol.- Zwischenbericht d. Abt. Limnologie Innsbruck.

PSENNER R. (1984): Saurer Regen - eine Gefahr für unsere Gewässer?- Österreichs Fischerei 37/84, 184-194.

PSENNER R. (1985): Quantifizierung diffuser Nährstoffeinträge in den Piburger See im Nord- und Zentralbereich Tirols.- Österr. Eutrophieprogramm, 3. Zwischenbericht.

PSENNER R., W.HONSIG-ERLENBURG, H.BROSSMANN (1985): Vergleichende Untersuchungen über die Akkumulation von Nährstoffen (C, N, P) und Schwermetallen (Pb, Cd) auf Laub unter dem Aspekt des Eintrages in Binnengewässer.- 72 S.

PUXBAUM H., R.ELLINGER, H.BAUMANN, B.WOPENKA (1983): Untersuchung der Schadstoffvorbelastung für Wien.- In: Luftreinhaltung, Bd.II, S.64-76. Die Luft in und über Wien, Symposium (1983). Hrsg.: H.PUXBAUM u. A.HACKL.

PUXBAUM H., B.WOPENKA (1984): Chemical composition of nucleation and accumulation mode particles collected in Vienna (Austria).- Atmos. Environ. 18, 573-580.

PUXBAUM H., B.WOPENKA (1984a): Die Anwendung von Receptormodellen zur Aerosolquellenanalyse - ein Review.- Fres. Z. Anal. Chem. 317, 278-285.

SCHULZ L., N.SCHULZ, H.SAMPL (1984): Verlauf und Ursachen der Eutrophierung in zwei Kärntner Seen (Wörthersee und Millstätter See) mit unterschiedlichen Einzugsgebieten.- Aus: Der Einfluß des diffusen Nährstoffeintrages auf die Eutrophierung der Seen; Veröff. d. Österr. Messprogr., Bd.8, Tl.1, 75-170.

SMIDT S. (1982): Untersuchungen über das Auftreten von Ozon, seine kombinierte Wirkung mit SO<sub>2</sub> auf Fichte und das Vorkommen von sauren Niederschlägen in Österreich.- Dissertation Univ. Bodenkultur.

SMIDT S. (1983): Untersuchungen über das Auftreten von sauren Niederschlägen in österreichischen Waldgebieten.- Allg. Forstztg., Informationsdienst (216.Folge).

SMIDT S. (1983a): Untersuchungen über das Auftreten von sauren Niederschlägen in Österreich.- Mitt. Forstl. Bundesvers. Anst. 150 (88S.).

SMIDT S. (1984): Analysen von Niederschlagsproben aus Waldgebieten Österreichs.- Allg. Forstztg., Informationsdienst (221.Folge), 13-15.

SMIDT S. (1984a): Analysen von Niederschlagsproben aus Waldgebieten Österreichs.- Allg. Forstztg., Informationsdienst (227.Folge).

SMIDT, S.(1986): Depositionsmessungen in verschiedenen Höhenlagen.- Beiträge zur Umweltgestaltung, Heft A 98: Alpine Umweltprobleme, Facharbeitstagung Achenkirch "Der Wald als Lebensraum", S. 88-97, Erich Schmidt Verlag.

SMIDT, S.: Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs.- Im Druck.

SONDEREGGER E. (1982): Bodenschädigung durch sauren Stammablauf in Buchenbeständen der Flyschzone.- Diplomarbeit, Univ. Bodenkultur Wien.

SONDEREGGER E. (1984): Schadstoffdeposition in einen Buchenbestand im nördlichen Wienerwald.- Dissertation, Univ. Bodenkultur Wien.

STEFAN K. (1983): Schadstoffbelastung von Schnee - Ergebnisse der bundesweiten Stichprobenuntersuchungen 1983.- Unveröffentlichte Ergebnisse.

STEINHAUSER F. (1959): Über die pH-Werte des Niederschlages, der Schneedecke und des Grundwassers in Wien.- Arch. Met. Geoph. Biokl. 9, 86-100.

WEBER J., B.PICHLER, A.VENDL, H.PUXBAUM, J.RENDL (1984): Eine Apparatur zur dynamischen Simulation des Einflusses von Luftschadstoffen auf Materialien.- In: Wiener Berichte über Naturwissenschaft in der Kunst, Bd.1.

WEBER A., I.PACK, H.GASSEBNER (1985): Nasse Deposition und Waldzustand in Tirol.- Tiroler Forstdienst 28. Jg., Dezember, 2-3.

WOPENKA B. (1979): Beitrag zur Analytik von Niederschlägen in Ballungsgebieten.- Diplomarbeit, Technische Universität Wien.

