

MITTEILUNGEN  
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT  
WIEN

(früher „Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs“)

150. Heft

1983

---

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS AUFTRETEN VON SAUREN  
NIEDERSCHLÄGEN IN ÖSTERREICH

ODC 425.1 (436)

Investigations about the Occurence of Acid Precipitation  
in Austria

Recherches en matière de précipitations acides  
en Autriche

von

Stefan SMIDT

Herausgegeben  
von der

Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien  
Kommissionsverlag: Österreichischer Anragerverlag 1141 Wien

Copyright by  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
A-1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-0779-X

Herstellung und Druck  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
A-1131 Wien

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung .....	5
2. Methodik .....	12
2.1. Probenahmen .....	12
2.1.1. Allgemeines .....	12
2.1.2. Schneeprobenahme .....	13
2.1.3. Regenprobenahme .....	13
2.2. Analysen .....	14
2.2.1. Elektrolytische Leitfähigkeit .....	14
2.2.2. pH-Wert .....	15
2.2.3. Sulfat .....	17
2.2.4. Chlorid .....	17
2.2.5. Nitrat .....	18
2.2.6. "Freie Säure" .....	18
2.2.7. Metallische Kationen .....	18
2.3. Untersuchungsgebiete für Niederschlagsprobenahmen .	18
2.3.1. Schneeprobenahmegebiete und Entnahmetermine	19
2.3.2. Regenprobenahmegebiete und Sammelzeiträume .	21
3. Ergebnisse .....	24
3.1. Ergebnisse der Schneedanalysen .....	24
3.1.1. Brixlegg .....	24
3.1.2. Patscherkofel, Inntalboden und Achental ....	24
3.1.3. Hochfilzen .....	39
3.1.4. Mürtal- und Murtalboden .....	39
3.1.5. Pöls - Aichfeld - Murboden .....	47
3.1.6. Gebiete des Tannen- und Kiefernsterbens in Niederösterreich .....	57
3.1.6.1. Wienerwald .....	57
3.1.6.2. Wald- und Weinviertel.....	58
3.1.6.3. Gesamtbeurteilung der Stichproben aus Niederösterreich .....	58
3.2. Ergebnisse der Regenganalysen .....	68

	Seite
3.2.1. Hall/Tirol und Patscherkofel .....	68
3.2.2. Brixlegg .....	68
3.2.3. Raum Altenmarkt/Tr. ....	68
4. Besprechung der Ergebnisse .....	74
4.1. Gesamtergebnis .....	74
4.2. Bewertung der Methodik .....	74
4.2.1. Probenahme .....	76
4.2.2. Analytik .....	76
4.3. Diskussion .....	79
5. Zusammenfassung .....	82
6. Literatur .....	85
7. Verzeichnis der Abkürzungen .....	88

## 1. EINLEITUNG

Wenn reines Wasser mit dem  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Luft (0,03%) im Gleichgewicht steht, weist es einen pH-Wert von 5,6 auf ("natürlicher pH-Wert"). Niederschläge mit einem tieferen pH-Wert bezeichnet man als sauer.

Durch Lösung von  $\text{CO}_2$  im Wasser entsteht in geringen Mengen (0,1%) Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), die in Hydrogencarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{pK}=6,37$ ) und weiter in Carbonat ( $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{pK}=10,25$ ) dissoziiert. Daraus resultiert eine  $\text{H}^+$ -Konzentration (Protonenkonzentration) von  $10^{-5,6}$  Molen  $\text{H}^+$  pro Liter bzw. 2,5 Mikroäquivalenten  $\text{H}^+$ /Liter.

### Literaturübersicht

Bereits seit dem 18. Jahrhundert ist die Verunreinigung von Niederschlägen durch Schwefelverbindungen und andere Komponenten aus der Literatur bekannt (HALES, 1727). Der Begriff "Saurer Regen" ("acid rain") wurde schon 1872 von SMITH geprägt, der bereits 20 Jahre zuvor Niederschlagsanalysen durchführte. Seither erschien eine Fülle von Arbeiten, die von COWLING (1982) in einem historischen Rückblick zusammengestellt wurden. SMITH (1981) zitiert in seinem Buch "Air Pollution and Forests" Autoren, die den Einfluß von Sauren Niederschlägen auf den forstlichen Nährstoffzyklus bearbeiteten, SEUFERT (1981) faßt in seiner Diplomarbeit Literatur über die Wirkungen von Sauren Niederschlägen auf Ökosysteme zusammen.

### Entstehung

Saure Niederschläge haben ihren Ursprung im Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) und Stickstoffoxiden (" $\text{NO}_x$ -Verbindungen"). Ihre Quellen sind neben S- und N-hältigen Energieträgern die Verhüttung schwefelhaltiger Erze, Abgase aus der Erdölverarbeitung und aus verschiedenartigen chemischen Prozessen (Umweltbundesamt, 1980). Der Anteil an natürlich entstandenen S- und N-Verbindungen (Vulkanausbrüche, Mikroorganismenaktivität, Brände, Blitze etc.) wird dagegen relativ gering eingeschätzt (REHFUESS, 1981).

Die genannten Verbindungen werden nach ihrem Ausstoß im Niederschlagswasser gelöst und in verdünnte Schwefel- und Salpetersäure umgewandelt. Ferner

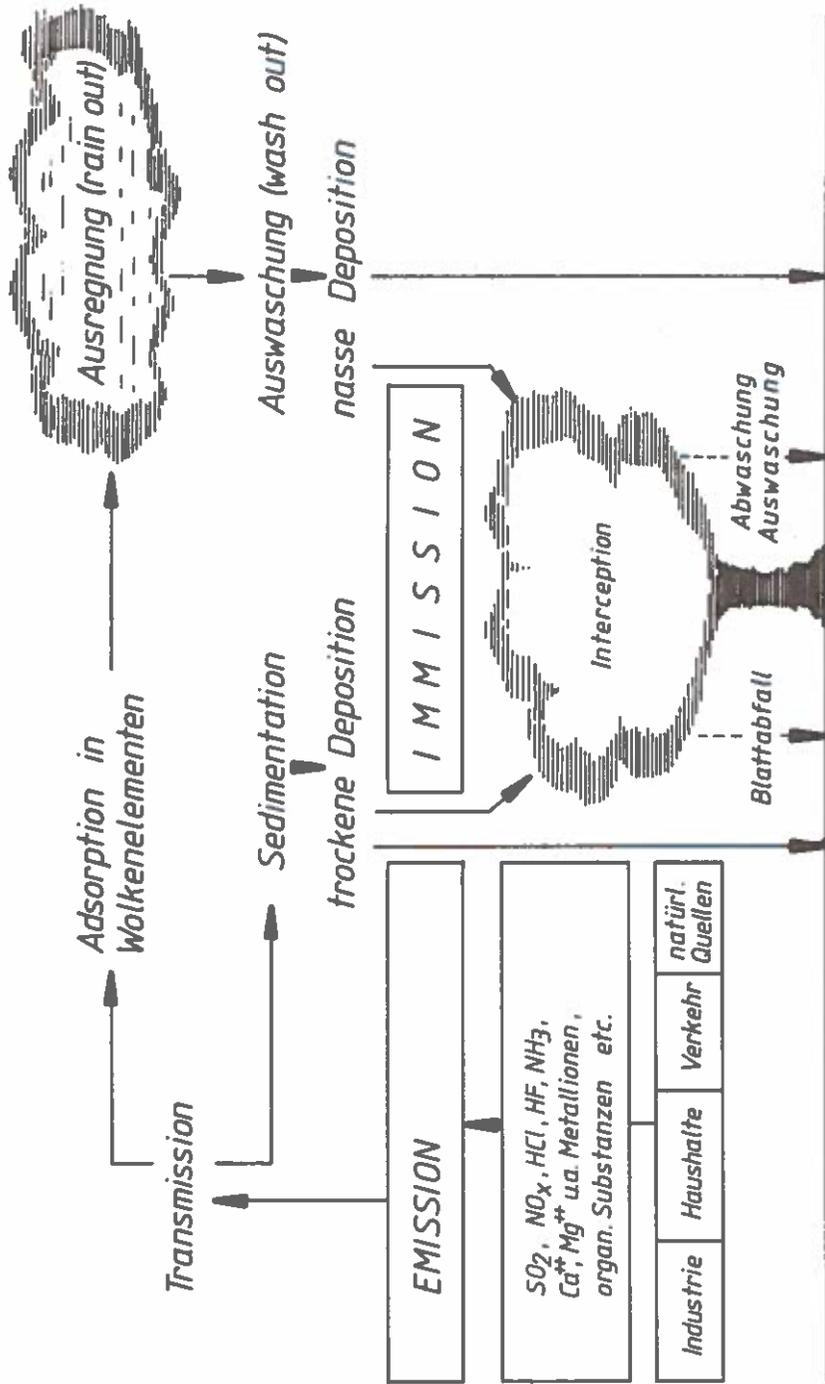


Abb. 1: Emission, Transmission und Immission von Luftverunreinigungen

können auch Fluorwasserstoff und Chlorwasserstoff zur Erhöhung der  $H^+$ -Konzentration beitragen (nicht zu vernachlässigen ist jedoch die Protonenfracht des reinen Wassers, die bei einem Jahresniederschlag von 1000 mm 25g  $H^+$  pro Hektar und Jahr ausmacht; dies entspricht einer Menge an  $H^+$ -Ionen, die nach Dissoziation von etwa 1,1 kg reiner Schwefelsäure freigesetzt wird).

Alkalische Ionen wie etwa Calcium, Magnesium und Ammonium bewirken eine Absenkung der  $H^+$ -Konzentration. Andere toxische Komponenten (Schwermetalle, Pestizide u.a.) beeinflussen den Säuregrad nur unwesentlich.

Abb. 1 weist in vereinfachter Form auf die Kausalitätskette Emission - Transmission - Immission von Luftverunreinigungen hin.

Nach der Emission kommt es je nach klimatischen Bedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lichteinstrahlung etc.) und der Gegenwart weiterer Luftverunreinigungen zu vielfältigen chemischen Reaktionen (Oxydationen/Reduktionen, Reaktion mit Wasser, Verschiebung ins saure bzw. alkalische Milieu, Radikalbildung u.a.m.). Während der Transmission werden die Schadstoffkomponenten in der Atmosphäre verdünnt und verteilt. Dabei werden sie z.B. in den Wolkenelementen absorbiert und können mehrere hundert Kilometer weit verfrachtet werden, ehe sie durch Ausregnung wieder zu Boden gelangen.

Sedimentation, Adsorption an der Erdoberfläche sowie das Auswaschen durch Niederschläge führen zu einer ständigen Selbstreinigung der Atmosphäre. Der schädigende Einfluß der Immissionen wird dadurch nicht wesentlich verringert, sondern nur verlagert: Die zunächst als Gas, Aerosol oder Grobstaub vorliegenden Schadstoffe werden an der Erdoberfläche angereichert und können dort verschiedene Wirkungen ausüben.

#### Wirkungen Saurer Niederschläge auf Waldökosysteme

Die Bandbreite der möglichen Wirkungen Saurer Niederschläge auf Waldökosysteme wurde von ULRICH (1981, 1982) und REHFUESS (1981) eingehend erörtert.

Abb. 2 gibt die Zusammenhänge in stark vereinfachter Wirkung wieder.

Die Ursache der Gefährdung der Stabilität von Waldökosystemen ist durch

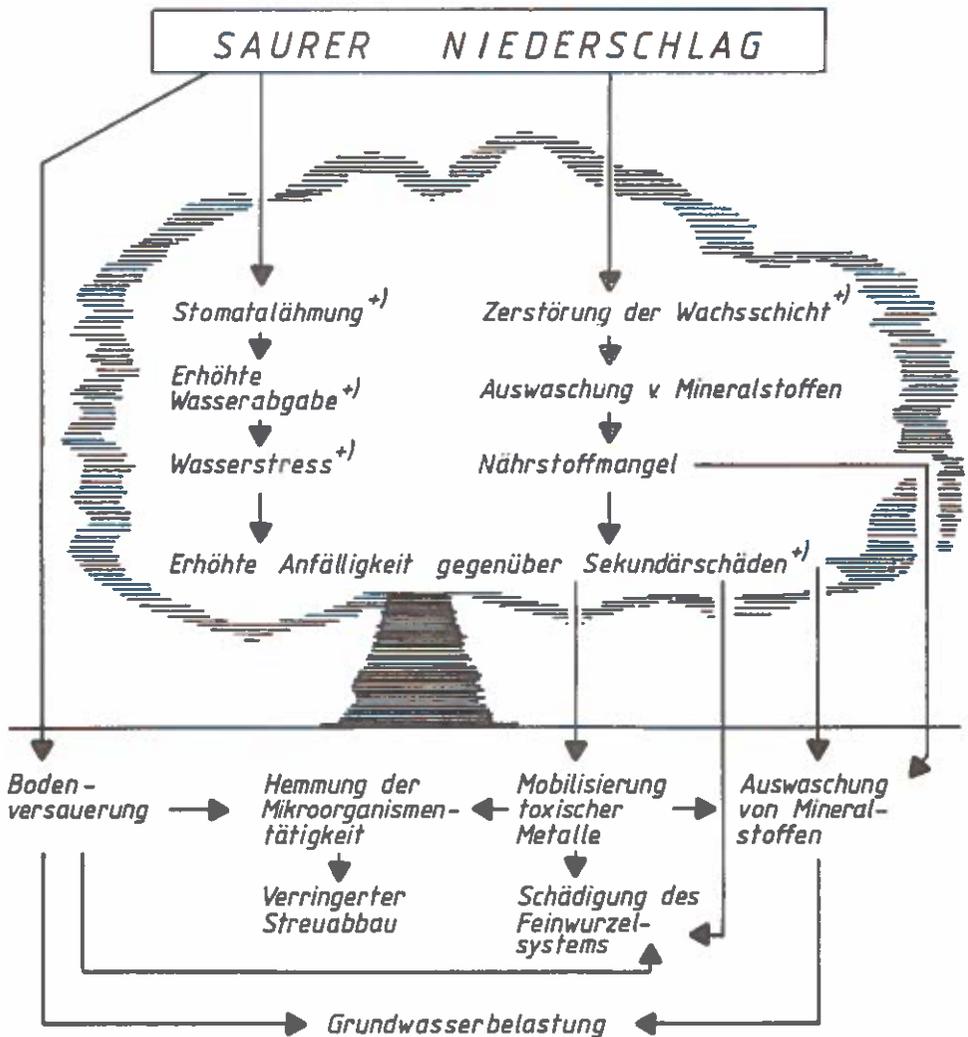


Abb.2: Mögliche Wirkungen von Sauren Niederschlägen auf Waldökosysteme

+ ) Wirkungen, die auch durch gasförmige Luftverunreinigungen hervorgerufen werden können

eine Reihe von Teilaspekten begründet: Einerseits können Wirkungen saurer Komponenten an und in oberirdischen Pflanzenteilen einsetzen, andererseits sind solche in mannigfaltiger Form auf den Boden möglich. Da einige Komponenten der Luftverunreinigungen für die Pflanzen essentiell sind (z.B. Schwefel- und Stickstoffverbindungen, Spurenelemente), können grundsätzlich auch positive Effekte (Eutrophierung) eintreten. Zahlreichen Aussagen zufolge scheint jedoch die schädigende Wirkung zu überwiegen.

### Direkte Wirkungen

Nach ULRICH (1981) und COWLING und DOCHINGER (1981) bewirken Saure Niederschläge je nach ihrer Zusammensetzung und der Beschaffenheit der Oberfläche eine Ab- und Auswaschung von Nährelementen sowie die Schädigung des oberflächlichen Pflanzengewebes. Als Folge davon kommt es zu Stoffwechselstörungen und Zell- bzw. Gewebeschädigungen (z.B. an den Spaltöffnungen), die Empfindlichkeit gegenüber Sekundärschädigungen steigt. Es ist jedoch festzuhalten, daß das tatsächliche Ausmaß der Wirkung Saurer Niederschläge bis jetzt noch nicht bekannt ist, da sehr verschiedenartige Einflußgrößen (individuelle Variabilitäten der Bäume, Standortsunterschiede, andere Streßfaktoren) addierenden oder minimierenden Einfluß haben können.

### Indirekte Wirkungen auf den Boden

Durch die Wirkung Saurer Niederschläge kann die Pufferkapazität so weit beansprucht werden, daß es zur Versauerung kommt. Als Folge werden, analog zur direkten Wirkung an oberirdischen Pflanzenteilen, Nährelemente wie etwa Calcium, Magnesium und Kalium ausgewaschen. So bewirkt nach SONDEREGGER (1981) der abgesenkte pH-Wert des Stammablaufes der Rotbuche insbesondere Calcium- und Magnesiumverluste im Boden des Stammabflußbereiches. Gleichzeitig mit den Hauptnährstoffen werden toxische Elemente (Schwermetalle) und Aluminium mobilisiert, wobei letzteres in besonderem Maße für das Absterben von Feinwurzeln verantwortlich gemacht wird (ULRICH, 1981). Dies hat negative Folgewirkungen zur Konsequenz: Erhöhte Disposition für Krankheiten und damit steigende Attraktivität für Schädlinge und eine Einschränkung der physiologischen Regulationsfähigkeit, um nur die wichtigsten zu nennen. Absenkungen des Boden-pH-wertes und erhöhte Konzentrationen an gelösten

Schwermetallionen beeinträchtigen darüber hinaus das Wachstum und die Aktivität der Bodenmikroorganismen und verzögern damit den Streuabbau. Dabei ist jedoch anzumerken, daß Bodenversauerung nicht nur durch atmosphärischen Säureeintrag verursacht werden kann. So etwa kann verringerter Streuabbau auch durch Rodung (Brandrodung), langanhaltende Trockenperioden oder durch Lichtmangel in zu dichten Nadelholzkulturen hervorgerufen werden (ULRICH, 1981).

#### Wirkung auf Süßwasserökosysteme

Die besonders in Kanada und Skandinavien in den letzten Jahren beobachtete Versauerung von Flüssen und Seen führte zu einem starken Rückgang und in zahlreichen Fällen sogar zum Absterben ganzer Fischpopulationen (OVERREIN et al., 1980). Man macht hierfür neben den Sulfat- und Nitrationen das in Lösung gegangene Aluminium verantwortlich.

#### Wirkung auf Bauwerke

Azidifizierte Niederschläge bewirken an Gebäuden Korrosion von Kalkstein durch Umwandlung in leichter löslichen Gips. Unterhalb eines pH-Wertes von 4,3 werden Beton und Metalle (z.B. von Kupfer und Eisen) beschleunigt gelöst.

#### Bisherige Untersuchungen von Niederschlägen

Ober Niederschlagsanalysen liegt heute eine bereits unüberschaubare Fülle von Publikationen vor. Da eine Rezension auch nur der wichtigsten Arbeiten den Rahmen dieser Darstellung sprengen würde, seien zwei wichtige Zusammenstellungen sowie einzelne wichtige Arbeiten aus dem europäischen Raum angeführt:

Der Band "Proceedings of the First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem" (1976) umfaßt eine Zusammenstellung von 85 Publikationen mit folgenden Themenkreisen:

Atmosphärischer Transport, Chemismus und Niederschlag; Saurer Niederschlag und aquatische Ökosysteme; Saurer Niederschlag und Forstböden; Saurer Niederschlag und forstliche Vegetation.

Die Ergebnisse des norwegischen Forschungsprojektes "Acid Precipitation -

Effects on Forest and Fish" ("SNSF-Projekt", 1980) sind in 145 Kurzbeiträgen zusammengefaßt und in folgende Abschnitte gegliedert: Zusammenfassende Darstellungen; Transport und Deposition; Vegetation und Boden; Wasserqualität; Wasserlebewesen; Spezielle Beiträge. Einige der Mitautoren dieser Zusammenstellung lieferten auch Beiträge zu Symposium "Effects of Air Pollutants on Mediterrean and Temperate Forest Ecosystems" (1980).

Im europäischen Raum werden im Rahmen des OECD-Programmes "The OECD-Programme on Long Range Transport of Air Pollutants" (1977) in 11 Ländern über 70 Meß- bzw. Sammelstellen betreut und u.a. pH-Wert, Sulfat, Nitrat, Chlorid und mehrere Kationen bestimmt. Mit Hilfe meteorologischer Daten werden diese Ergebnisse in mathematischen Modellen für großräumige Depositionskalkulationen hochgerechnet.

An anderen europäischen Stationen konnte von KAYSER et al. (1974) und GEORGII (1981) eine deutliche Tendenz zur pH-Wert-Abnahme nachgewiesen werden, die auf den in diesen Jahren gestiegenen Brennstoffverbrauch zurückgeführt wird; analoge Ergebnisse werden auch aus den Vereinigten Staaten berichtet (LIKENS, 1976; COGBILL, 1976).

GONThER und KNABE (1976) führten Schwefel- und Säureniederschlagsmessungen im Ruhrgebiet durch. Unter dem Kronendach von Fichte, Kiefer und Eiche wurden trotz erheblicher Interceptionsverluste signifikant höhere Anteile von Wasserstoffionen als auf den Kontrollmeßstellen (Freiflächen) gefunden.

Von KLOCKOW et al. (1978) wurde der Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der Elektrolytzusammensetzung von Niederschlägen beleuchtet.

WOPENKA (1979) bzw. MALISSA et al. (1980) untersuchten urbane Niederschläge im Wiener Raum. Die Stadtatmosphäre bewirkte eine Erhöhung des Sulfat-, Calcium- und Ammoniumgehaltes, dagegen eine Absenkung der  $H^+$ -Konzentration.

Im Fichtelgebirge (Bayern, BRD) wurden Schneeproben auf Zink, Cadmium, Blei und Kupfer geprüft. Damit konnte der Schwermetalleintrag gut verfolgt und eine Differenzierung desselben nach dem Geländeprofil gezeigt werden (SCHRIMPF 1980).

Die von SMIDT (1982) im Rahmen einer Dissertation durchgeführten Schnee- und Regenanalysen in Waldregionen des österreichischen Bundesgebietes sind

Gegenstand der anschließenden Darstellung. Sie hat zum Ziel, Hinweise auf das Auftreten "Saurer Niederschläge" in Immissionsgebieten, aber auch in Regionen ohne unmittelbaren Immissionseinfluß zu liefern. Die Qualität der Niederschläge soll dabei anhand ausgewählter Meßgrößen beurteilt und verglichen werden.

## 2. M E T H O D I K

### 2.1 PROBENAHEME

#### 2.1.1. A l l g e m e i n e s

Für die Niederschlagsprobenahme stehen grundsätzlich zwei Varianten zur Auswahl:

- das Auffangen des fallenden Niederschlages in Sammelgefäßen und
- das Einsammeln von Schnee über dem Boden.

Für beide Varianten gelten gemeinsame Gesichtspunkte der Ortswahl, der Weiterbehandlung der Proben und der Analysen.

Entscheidend für den Modus der Probenahme ist die Art der Fragestellung. Von ihr hängt es ab, ob

- die trockene Deposition (dry deposition),
- die nasse Deposition (wet deposition bzw. wet only deposition) oder
- Gesamtdeposition (bulk deposition)

erfaßt werden soll. Im vorliegenden Fall wurde die Gesamtdeposition erfaßt, weil sie jene Form ist, die letztendlich auf das Ökosystem Wald einwirkt.

#### Probenahmeort

Die wesentliche Voraussetzung für die Gewinnung aussagekräftiger Niederschlagsproben ist die Wahl eines für den Untersuchungsraum repräsentativen Standortes, bei dem lokale Fremdeinflüsse ausgeschaltet sein müssen. Darunter versteht man z.B. Straßenstaub und Streusalz, aber auch nachträgliche Kontamination durch Vogelekrementen.

Bei der Werbung frisch gefallenen Schnees ist innerhalb kleinerer Untersuchungsareale die Probenahme in einem flächendeckenden Rasterfeld von Vorteil; die Abstände richten sich nach Zahl und Größe der Emittenten und dem Untersuchungsziel.

#### Probenahme- und Aufbewahrungsgefäße

Auffang- und Aufbewahrungsgefäße müssen chemisch inert sein; Kunststoffbehältnisse aus Polyäthylen sind hierzu am besten geeignet.

#### Expositionszeit

Es ist von Einfluß auf die Meßergebnisse, wie lange die Niederschläge vor der Probenahme bzw. der Analyse an der Luft exponiert waren. Längere Expositionszeiten lassen den Eintrag von Verunreinigungen erwarten, u.U. ist auch mikrobieller Abbau etwa von Nitrat oder Verflüchtigung von  $\text{NH}_3$  möglich. Zur Vermeidung dieser Einflußmöglichkeiten sollen demnach die Proben möglichst kurz exponiert sein.

#### Weiterbehandlung der Proben

Beim Ein- und Umfüllen der Proben sowie bei ihrer Lagerung ist zu beachten, daß "Kontaminationen" (z.B. durch Hautkontakt oder Laborluft) vermieden werden. Die Lagerung soll bei 4°C erfolgen, aber auch Tiefrieren ist möglich.

#### 2.1.2. Schneeprobe

Unter Verwendung von Gummihandschuhen wurden 1- bzw. 2-Liter-Polyäthylenflaschen vor dem Befüllen gründlich mit Schnee gespült. Von der Schneedecke wurde (zur Vermeidung des Eintrages von Bodenpartikeln) bis etwa 5 cm über dem Boden ein Gesamtprofil entnommen.

Die Proben wurden nach dem Auftauen über ein Faltenfilter (Schleicher u. Schüll 595 1/2) von Grobverunreinigungen getrennt und bis zur Analyse tiefgefroren bzw. sofort analysiert.

#### 2.1.3 Regenprobe

Die Regenprobenahme erfolgte wöchentlich in einem 1-Liter Rexglas welches

in einer Höhe von ca. 1,5 m über dem Erdboden aufgestellt war. Die Weiterbehandlung der Proben erfolgte wie bei den Schneeproben.

## 2.2. ANALYSEN

### 2.2.1. Elektrolytische Leitfähigkeit

Die elektrolytische Leitfähigkeit der Niederschlagsproben ist ein Indikator für ihren Gesamtionengehalt. Die Messung erfolgte mit einem Philips-PW 9501 -Konduktometer bei 20°C.

Die Leitfähigkeit eines Salzes oder einer Säure ergibt sich aus der Summe der Ionenäquivalentleitfähigkeiten. Einige Beispiele hierfür sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Ionenäquivalentleitfähigkeiten einiger Ionen in unendlich verdünnter Lösung (NASER, 1974)

Kation	$\Omega^{-1}\text{cm}^2 \text{Val}^{-1}$	Anion	$\Omega^{-1}\text{cm}^2 \text{Val}^{-1}$
$\text{H}^+$	315	$\text{OH}^-$	174
$\text{Na}^+$	43,5	$\text{F}^-$	46,6
$\text{K}^+$	64,6	$\text{Cl}^-$	65,5
$\text{NH}_4^+$	64	$\text{NO}_3^-$	61,7
$1/2 \text{Mg}^{++}$	45	$1/2 \text{SO}_4^{--}$	68,3
$1/2 \text{Ca}^{++}$	51		

Aus ihr ist ersichtlich, daß der Gehalt an  $\text{H}^+$ -Ionen die Leitfähigkeit am stärksten beeinflußt; dieser wirkt sich jedoch erst unterhalb eines pH-Wertes von etwa 5,5 merklich aus. Zur Orientierung wurden die Leitfähigkeiten einiger Säuren und Salze bestimmt und wie folgt zusammengestellt:

**Elektrolytische Leitfähigkeiten einiger Säuren und Salzlösungen  
verschiedener Normalität**

	$10^{-5}N$	$10^{-4}N$	$10^{-3}N$	$10^{-2}N$
HCl	5,3	26,3	> 300	> 300
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	15,5	200	> 300	> 300
HNO <sub>3</sub>	1,0	11,5	> 300	> 300
NaCl	7,0	18,8	124	> 300
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	8,5	30,6	245	> 300
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	7,4	23,5	218	> 300
NaF	11,5	24,7	156	> 300
NaNO <sub>3</sub>	1,5	11,5	113	> 300
KCl	1,8	15,5	145	> 300
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4,1	28,1	275	> 300
KNO <sub>3</sub>	1,4	14,2	131	> 300
CaCl <sub>2</sub>	3,0	25,2	251	> 300

Die Leitfähigkeitsmessung gibt eine rasche Orientierung über den Verschmutzungsgrad einer Niederschlagsprobe mit Elektrolyten; sie ist im Gelände einsetzbar. Dabei ist freilich zu bedenken, daß verschiedene Ionen die Leitfähigkeit unterschiedlich beeinflussen.

### 2.2.2. p H - W e r t

Da das in reinem Wasser gelöste CO<sub>2</sub> eine Absenkung des pH-Wertes von 7,0 auf 5,6 bewirkt (OVERREIN et al., 1980), wurde der pH-Wert (aktuelle Azidität) in zwei Stufen gemessen: einmal mit CO<sub>2</sub> und einmal nach Austreiben des CO<sub>2</sub>: Die Probe wurde in einem geschlossenen Polyäthylengefäß zur schnelleren Gleichgewichtseinstellung der Elektrode vor der Messung mit einem Tropfen gesättigter KCl-Lösung versetzt und der pH-Wert der CO<sub>2</sub>-haltigen Probe ("pH<sub>1</sub>") gemessen. Dann wurde mindestens fünf Minuten lang Stickstoff eingeleitet (s. Abb.3) und der pH-Wert ("pH<sub>2</sub>") nochmals abgelesen.

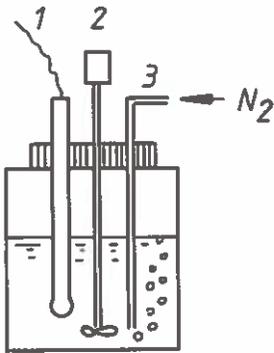
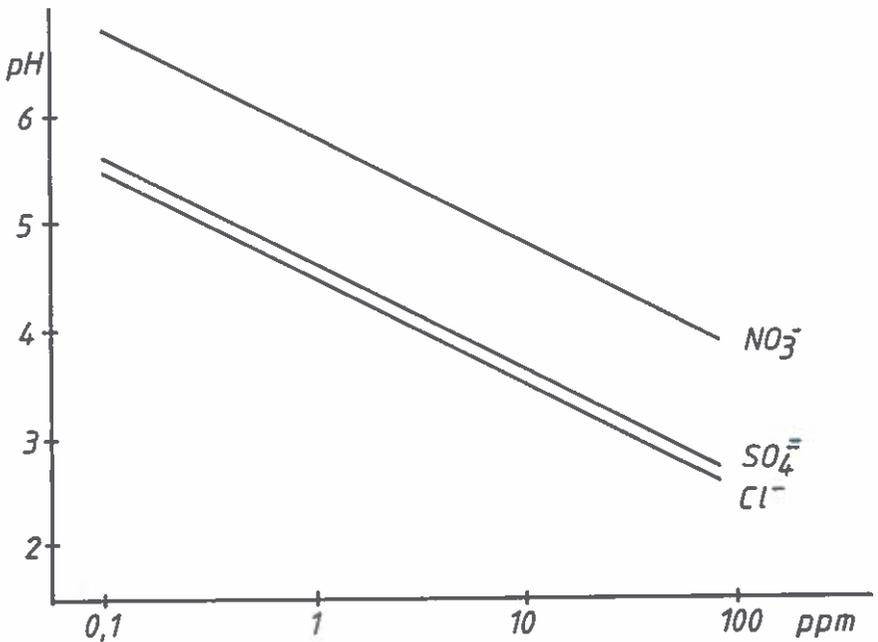


Abb.3: Vorrichtung zur Herstellung und Messung von  $\text{CO}_2$ -freien Niederschlagsproben

- 1: pH-Einstabmeßkette
- 2: Rührwerk mit Elektromotor
- 3: Kapillare zum Einleiten von Stickstoff

Bei der Betrachtung der pH-Werte ist zu berücksichtigen, daß das ungepufferte Niederschlagswasser schon nach der Aufnahme sehr geringer Mengen von  $\text{H}^+$ - (oder auch  $\text{OH}^-$ -) Ionen sehr leicht seinen Säuregrad ändern kann (siehe hierzu die folgende Abbildung).



Die pH<sub>1</sub>-Messung ist eine einfache Prüfmethode für den aktuellen Säuregehalt, die auch im Gelände einer schnellen Orientierung dienen kann.

Die pH<sub>2</sub>-Messungen lassen sich nur im Labor durchführen. Durch das Dissoziationsverhalten der Kohlensäure (s. Abschn. 1.1.) bzw. den prozentuell geringen Anteil ihrer H<sup>+</sup>-Ionen bei niedrigeren pH-Werten bringt das Meßergebnis erst oberhalb eines pH-Wertes von etwa 4,0 deutliche Differenzen (Erhöhungen) im Vergleich zu den CO<sub>2</sub>-hältigen Proben.

Allzugroße Bedeutung soll der pH-Messung allerdings nicht beigemessen werden, da sie nur über die aktuelle H<sup>+</sup>-Konzentration, nicht aber über den Grad der Verunreinigung und die sich daraus ergebende potentielle Schädigungswirkung Auskunft gibt.

Wichtiger ist vielmehr die Erfassung derjenigen Ionen, die aus den vornehmlich emittierten Luftverunreinigungen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, HF, Metallionen u.a.) entstanden sind. Abgesehen von der stets vorhandenen Kohlensäure sind es fast ausschließlich die starken Säuren, die zur Erhöhung des Säuregrades im Niederschlag beitragen. Neben diesen sind es - je nach dem Untersuchungsgebiet und der Fragestellung - verschiedene Metallionen (Ca, Mg, K, Na, Schwermetalle), deren Analyse in den Niederschlägen vorwiegend von Interesse sind.

### 2.2.3. S u l f a t

Die Sulfatbestimmung erfolgte modifiziert nach RABER et al. (1976): 20ml Probe wurden mit 3 Tropfen Wasserstoffperoxid (30%-ig) versetzt, eine Spatelspitze stark sauren Ionenaustauschers (Dowex 50W x 8, 20-50 mesh) zugegeben und 10ml der überstehenden Lösung nach Zugabe von Bariumchloranilat (0,1g) weiter gemäß Vorschrift analysiert.

### 2.2.4. C h l o r i d

Der Chloridgehalt wurde mit dem nach dem Prinzip der coulometrischen Titration arbeitenden Chloridometer der Firma Buchler (Modell

4-2500) bestimmt.

#### 2.2.5. N i t r a t

Die Nitratkonzentration wurde mittels des Orion-Ionenmeters, Modell 801 A, mit einer ionenspezifischen Elektrode (Zweistabmeßkette Nr.9307 und 9202) ermittelt.

#### 2.2.6. "F r e i e S ä u r e"

Um eine zusätzliche Information über den Säuregrad zu erhalten, wurde der Begriff "Gehalt an freier Säure" eingeführt und als jener Prozentanteil definiert, zu dem die Summe der Anionen Sulfat, Chlorid und Nitrat in der  $H^+$ -Form vorliegen. Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$\% \text{ Freie Säure} = \frac{\mu\text{Val } H^+ / l \cdot 100}{\text{ppm } SO_4^{2-} \cdot 21,0 + \text{ppm } Cl^- \cdot 28,4 + \text{ppm } NO_3^- \cdot 16,3}$$

#### 2.2.7. M e t a l l i s c h e K a t i o n e n

Calcium- und Magnesiumkonzentrationen wurden nach Zugabe von  $La_2O_3$  in  $HCl$  und  $H_2SO_4$ , Zink direkt aus der Niederschlagsprobe mit einem Atomabsorptionsspektrophotometer der Firma Perkin Elmer (Modell 103) bestimmt.

### 2.3. UNTERSUCHUNGSGEBIETE FÜR NIEDERSCHLAGSPROBEN (Abb.4)

Die Auswahl der Probenahmeorte erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

- Gebiete, die relativ klein sind, in welchen aber zahlreiche Industriebetriebe und sonstige Emittenten vorhanden sind und wo Emissionen mit Sicherheit anzunehmen sind (z.B. Brixlegg/Tirol);
- Gebiete, die kein eigentliches Immissionsgebiet darstellen, aber im Einflußbereich eines solchen stehen könnten (Patscherkofel, Achental);
- Gebiete, die keine Großindustrie aufweisen und nicht als Immissionsgebiete gelten (Wienerwald, Wald- und Weinviertel).

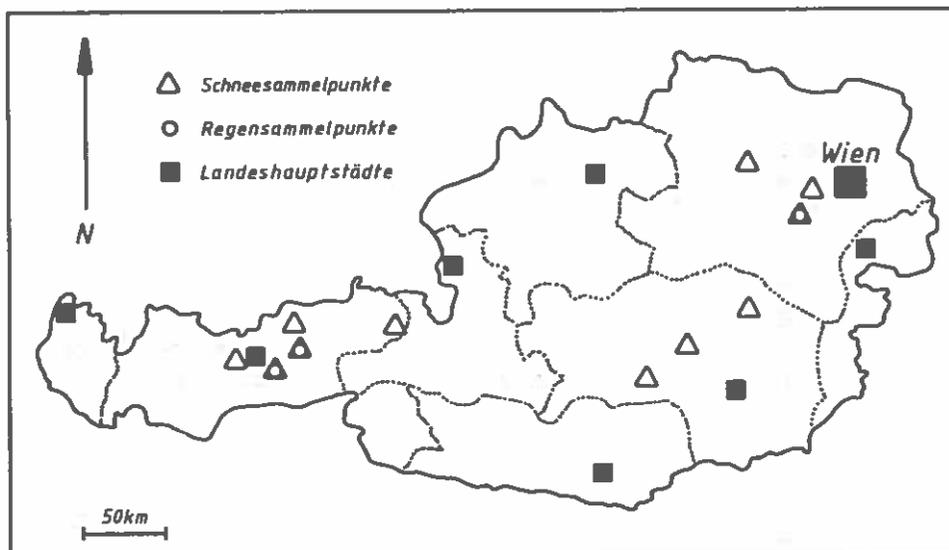


Abb.4: Lage der Untersuchungsgebiete für Schnee- und Regenprobenahmen

### 2.3.1. Schneeprobenaahmegebiete und Entnahmetermine (Tab.1)

Der Raum Brixlegg zählt zu den ältesten Rauchschadensgebieten Tirols. In der unmittelbaren Umgebung des Hauptemittenten (Kupferhütte des Montanwerkes Brixlegg) gibt es noch kleinere gewerbliche und industrielle Betriebe, z.B. die Glasfabrik Kramsach.

Das untere Innental (und vermutlich auch ein Teil des Patscherkofels) ist wegen zahlreicher Industriebetriebe und durch Emissionen aus Innsbruck ein stark belastetes Immissionsgebiet.

Das Achenental, in dem es keine Industriebetriebe gibt, stellt eine Verbindung zwischen Tirol und der Bundesrepublik Deutschland dar, wodurch es als Austauschschleuse für Luftverunreinigungen fungieren könnte.

Im Einflusbereich des Magnesitwerkes Hochfilzen war es in erster Linie das Schwefeldioxid, welches Schädigungen an Nadelhölzern hervorrief (STEFAN u.POLLANSCHÖTZ, 1967).

Tab.1: Schneeprobenahmegebiete und Entnahmetermine

Untersuchungsgebiet	m Seehöhe	Datum der Probenahme	Probepunkte Nr.	(Tab.)	cm Schneedecke	Alter der Schneedecke (Tage)
Brixlegg/Tirol	500- 700	17.11.1981	1-30	3	5-25	3
Patscherkofel/Tirol	560-1950	18.11.1981	1- 4	4	10-30	> 4
Inntalboden/Tirol	500- 600	18.11.1981	5-18	4	5-25	4
Schwarz/Hochpitzberg/Tirol	550-1000	17. 3.1981	16a-d	4	10-30	?
Achentalboden/Tirol	800- 950	18.11.1981	19-25	5	15-30	> 4
Achental/Tirol	950-1600	28./29.4. 1981	26-35	5	50-80	?
Hochfilzen/Tirol	850- 950	19.11.1981	1-17	6	30-40	4
Mürztal/Murta/Stmk.	480- 980	28.12.1981	1-14	7	10-30	9
Pöls/Aichfeld/Murboden/Stmk.	700- 900	28.12.1981	1-10,16-22	8	5-30	9
		29.12.1981	11-15,23-41	8	5-30	10
Wienerwald/NÖ.	500- 700	18.12.1981	1- 8	10	15-20	3
		19.12.1981	9-20	10	15-30	4
		28. 1.1981	1-22	10	10-35	3
Waldviertel/Weinviertel/NÖ.	250- 850	15.12.1981	1-12	11	2-15	> 1
		20. 1.1982	13-35	11	10-25	12

Zwischen Semmering und Knittelfeld/Stmk. tragen im Mürz- und MurtaI vorwiegend metallverarbeitende Industriezweige zur Belastung der Luft bei (Mürzzuschlag, Kapfenberg, Leoben etc.).

Der Raum Aichfeld - Murboden ist z.B. durch das Steirische Gußstahlwerk, das Wärmekraftwerk Zeltweg sowie durch die Papierfabrik Pöls ein bedeutsames Immissionsgebiet.

Neben anderen Waldgebieten Österreichs ist der Wienerwald vom Tannensterben betroffen. Demgegenüber wurde Kiefernsterben nur im niederösterreichischen Raum (Wald- und Weinviertel) festgestellt (TOMICZEK, 1982).

### 2.3.2. Regenprobenahmegebiete und Sammelzeiträume (Tab.2)

Die Auswahl der Probenahmepunkte in Hall/Tirol und am Patscherkofel (Abb.5) erfolgte in drei Höhenstufen zwischen 570m und 1400m Seehöhe. Die Punkte Nr.2 und 3 entsprachen dabei den Schnee-Entnahmepunkten Nr.2 und 1 (Abb.17).

Die drei Sammelpunkte im unmittelbaren Einflußbereich der Kupferhütte Brilegg (Abb.6, Nr.4-6) waren entlang der Südwest - Nordostachse angeordnet, die Punkte 4 und 5 lagen in entgegengesetzter Richtung etwa gleich weit vom Werk entfernt.

Fünf weitere Punkte wurden im südlichen Wienerwald (Raum Altenmarkt/Tr., NÖ., Abb.7, Nr.7-11) in einem Umkreis von rund 7km in unterschiedlichen Höhenstufen (470m - 1000m) ausgewählt.

Tab.2: Regenprobenahmegebiete und Sammelzeiträume

Untersuchungsgebiet (Sammelstelle Nr.)	m Seehöhe	Probenahmezeitraum
Hall/Tirol, BFI-Gebäude (1)	560	9.6. - 3.9.1981
Patscherkofel, Heiligwasser (2)	1133	9.6. - 3.9.1981
Patscherkofel, Klimahaus (3)	1954	9.6. - 3.9.1981
Brixlegg/Tirol, 250m nordöstl.d.Kupferhütte (4)	530	8.7. -30.9.1981
Brixlegg/T., 350m süd- westl.d.Kupferhütte (5)	530	8.7. -30.9.1981
Brixlegg/T., 1500m südwestl.d.Kupferhütte (6)	530	8.7. -30.9.1981
Klein-Mariazell/NÖ., 1000m südwestl.d. Hirschensteines (7)	500	15.8. -3.10.1981
Klein-Mariazell/NÖ., 1000m westl.der Kirche (8)	500	17.7. -3.10.1981
Thenneberg/NÖ., Doppelhof (9)	470	17.7. -3.10.1981
Thenneberg/NÖ., 500m nordöstl.d. Mittagskogels (10)	680	17.7. -3.10.1981
Thenneberg/NÖ., Hocheck (11)	1000	17.7. -3.10.1981

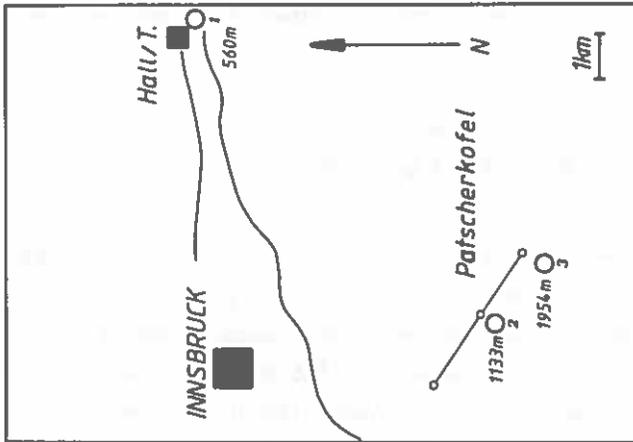


Abb. 5: Lage der Regensammelungspunkte in Hall/T. und am Patscherkofel

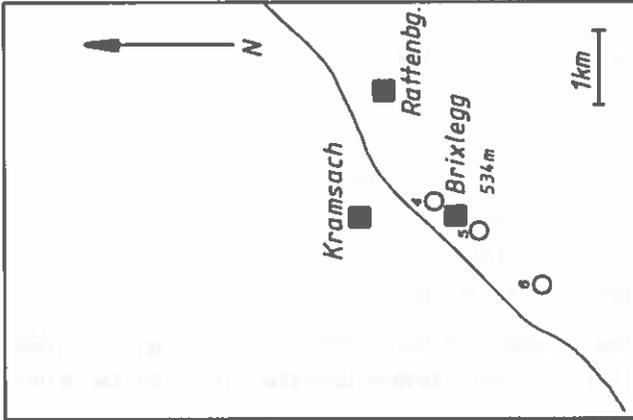


Abb. 6: Lage der Regensammelungspunkte in Brixlegg/T.

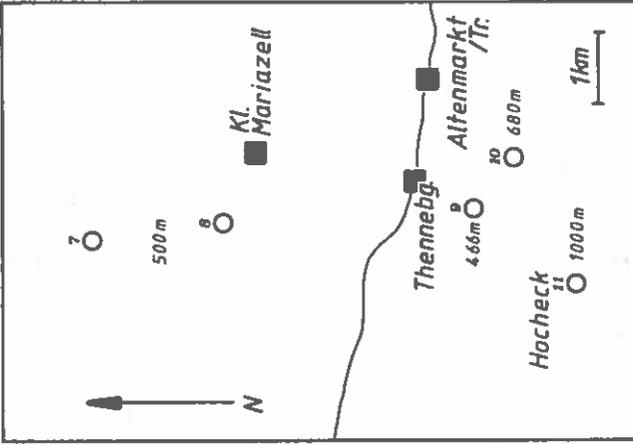


Abb. 7: Lage der Regensammelungspunkte im Raum Altenmarkt/Tr. (NÖ.)

### 3. E R G E B N I S S E

#### 3.1. ERGEBNISSE DER SCHNEEANALYSEN

##### 3.1.1. B r i x l e g g (Tab.3, Abb.8-16)

Die Verteilung der geprüften Ionengehalte in den Schneeproben der Umgebung der Kupferhütte Brixlegg entsprach weitgehend den in diesem Gebiet im Sommerhalbjahr 1975 erhobenen Hauptwindrichtungen aus N-NO (28%) und W-SW (11%): die elektrolytische Leitfähigkeit sowie die die Sulfat-, Chlorid- und Nitratgehalte waren im Bereich des Talbodens an der SW - NO-Achse deutlich erhöht, wobei sie in SW-Richtung, also in Richtung der vorherrschenden Zuwehung, langsamer absanken als nach Nordosten. Die  $pH_1$ -Werte wichen entlang der NO - SW-Achse weniger als eine halbe pH-Einheit von der des reinen Wassers (5,6) ab und waren nur im Randbereich des Probenahmerasters deutlich abgesenkt. Die in der weiteren Umgebung sehr häufig erniedrigten pH-Werte wurden im Nahbereich des Hauptemittenten offenbar weitgehend durch alkalische Ionen neutralisiert. Darauf deuten die dort meist sehr hohen Leitfähigkeitswerte hin. Noch deutlicher wird dies durch die  $pH_2$ -Werte hervorgehoben.

Die in Inntalnähe (siehe auch Abschnitt 3.1.2.) allgemein niedrigen Säuregrade und relativ hohen Anionengehalte hatten weiter einen nur geringen Anteil an "freier Säure" zur Folge, der erst mit zunehmender Entfernung vom Inntalboden (etwa in Richtung Patscherkofel) wieder anstieg.

##### 3.1.2. P a t s c h e r k o f e l , I n n t a l b o d e n u n d A c h e n t a l (Tab.4 u.5, Abb.17-20)

Im Bereich Innsbruck - Vill - Patscherkofel/Klimahaus waren bei sehr geringer elektrolytischer Leitfähigkeit und dementsprechend niedrigen Ionengehalten die  $pH_1$ - und  $pH_2$ -Werte durchwegs um mehr als eine halbe Einheit tiefer als die "Normalwerte" (5,6 bzw. 7,0). Abb.20 zeigt am Höhenprofil zwischen Innsbruck (Olympiastadion) und dem Patscherkofel (Klimahaus) den deutlichen Trend zur Abnahme der Anionengehalte bei

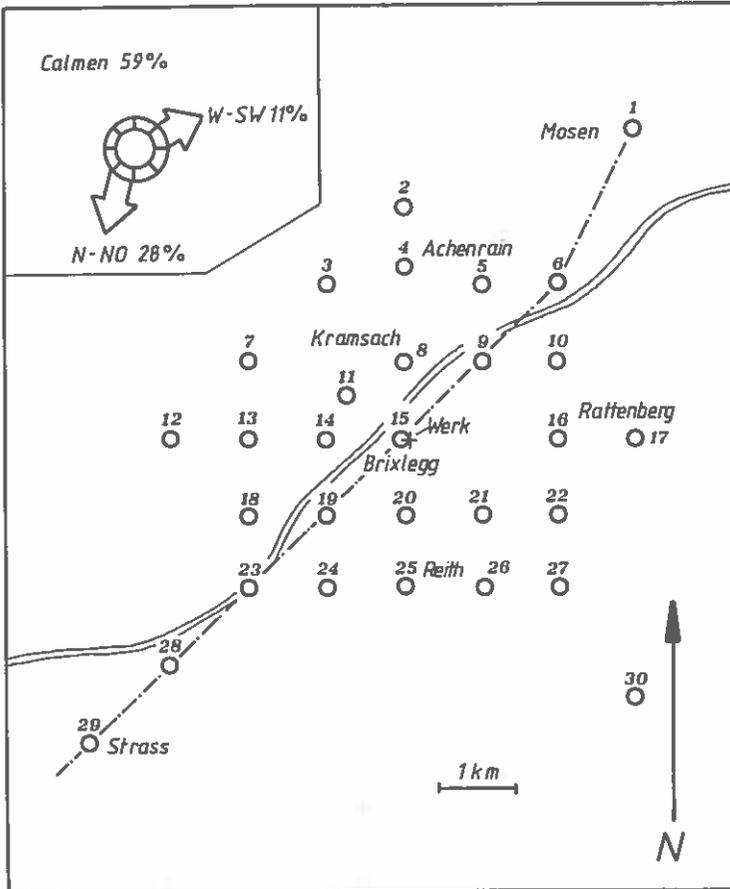


Abb.8: Lage der Schnee-Entnahmepunkte in der Umgebung der Kupferhütte Brixlegg/Tirol mit Windhäufigkeit bzw. Hauptwindrichtungen (Österr.Bundesinst.f. Gesundheitswesen, 1978)

----- Schnittachse zu Abb.16

Tab.3: Ergebnisse der Schneeanalysen aus der Umgebung  
der Kupferhütte Brixlegg/Tirol

Probe Nr.	Leitfähigkeit µS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ppm <sup>-</sup> Cl <sup>-</sup>	ppm <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%Freie Säure	ppm <sup>+</sup> Zn <sup>+</sup>
1	22,9	5,50	6,77	2,4	5,3	<u>3,2</u>	1,1	0,05
2	19,0	5,14	6,80	2,0	1,9	3,0	5,0	0,05
3	17,5	4,92	4,97	2,6	1,9	2,5	8,1	0,05
4	38,2	5,70	7,03	3,4	7,7	3,0	0,6	0,05
5	24,9	5,50	6,57	2,8	3,9	2,3	1,5	0,06
6	31,2	5,80	6,90	5,6	5,0	2,9	0,5	0,10
7	27,2	<u>4,10</u>	<u>4,24</u>	7,3	1,3	2,9	33,4	0,05
8	61,0	5,94	7,02	5,0	19,2	2,5	0,2	0,10
9	<u>99,0</u>	<u>6,05</u>	<u>7,40</u>	6,0	<u>35,6</u>	2,0	0,1	0,32
10	19,4	5,20	6,22	3,4	2,7	2,6	3,3	0,05
11	13,1	5,14	5,30	1,5	2,0	<u>1,8</u>	6,2	0,05
12	20,3	4,90	4,93	2,1	2,2	3,2	7,9	0,05
13	30,0	5,85	7,00	5,4	4,1	2,9	0,5	0,05
14	44,0	5,20	6,37	5,0	12,3	2,8	1,3	0,06
15	65,3	5,75	7,07	4,6	21,6	1,9	0,2	0,10
16	13,2	5,27	5,60	3,0	1,3	2,1	4,0	0,05
17	13,8	5,51	6,45	2,7	1,3	2,4	2,3	0,05
18	77,0	5,92	6,90	24,4	8,2	2,7	0,2	0,05
19	51,9	5,90	6,80	6,8	13,9	2,7	0,2	<u>0,43</u>
20	62,0	5,80	7,25	<u>26,5</u>	4,7	1,9	0,2	0,05
21	12,1	5,52	6,70	1,1	1,3	2,0	3,3	0,05
22	11,9	4,95	4,92	<u>0,5</u>	1,6	<u>1,8</u>	13,2	0,05
23	71,7	5,75	6,56	7,5	18,0	3,1	0,2	0,24
24	32,2	5,67	6,70	8,6	2,3	2,7	0,7	0,15
25	17,1	5,45	5,62	2,4	1,2	2,5	2,8	0,05
26	18,2	5,97	<u>7,40</u>	4,1	1,3	2,4	0,7	0,05
27	14,2	4,64	5,52	0,8	<u>0,9</u>	1,9	31,2	0,05
28	72,0	<u>6,05</u>	7,15	6,6	18,7	2,6	0,1	0,10
29	32,0	5,98	7,20	5,1	3,7	2,4	0,4	0,05
30	<u>11,8</u>	4,65	4,60	0,8	<u>0,9</u>	1,9	30,5	0,05

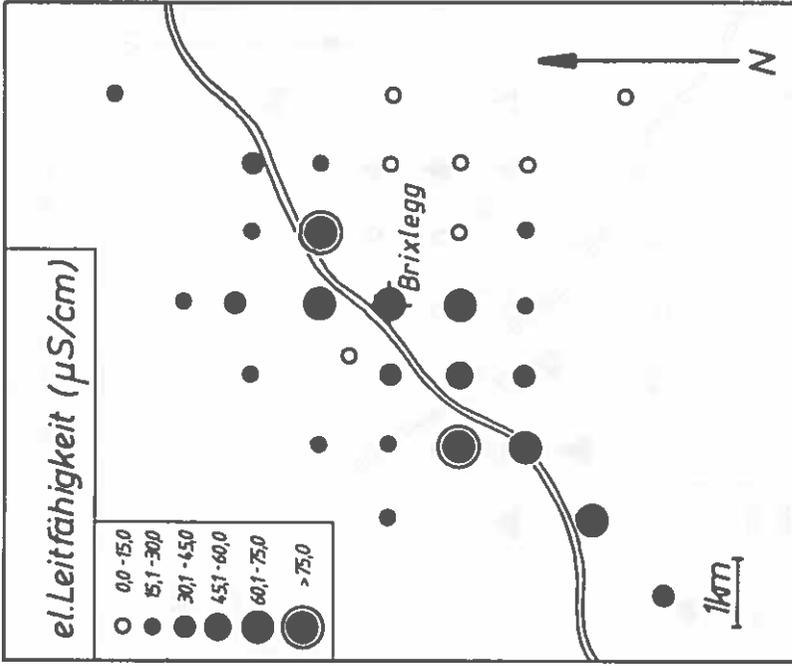


Abb. 9: Leitfähigkeitswerte der Schneeproben aus Brixlegg

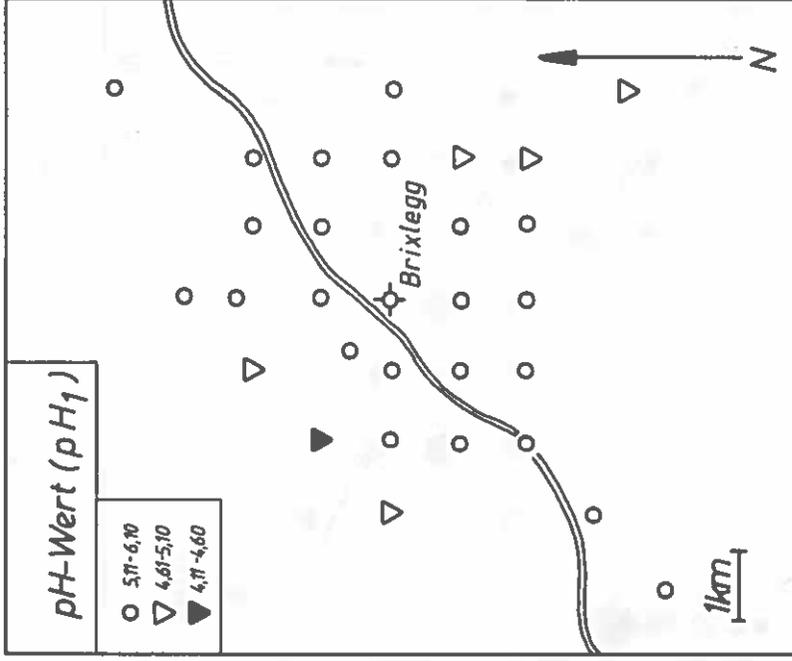


Abb. 10:  $\text{pH}_1$ -Werte der Schneeproben aus Brixlegg

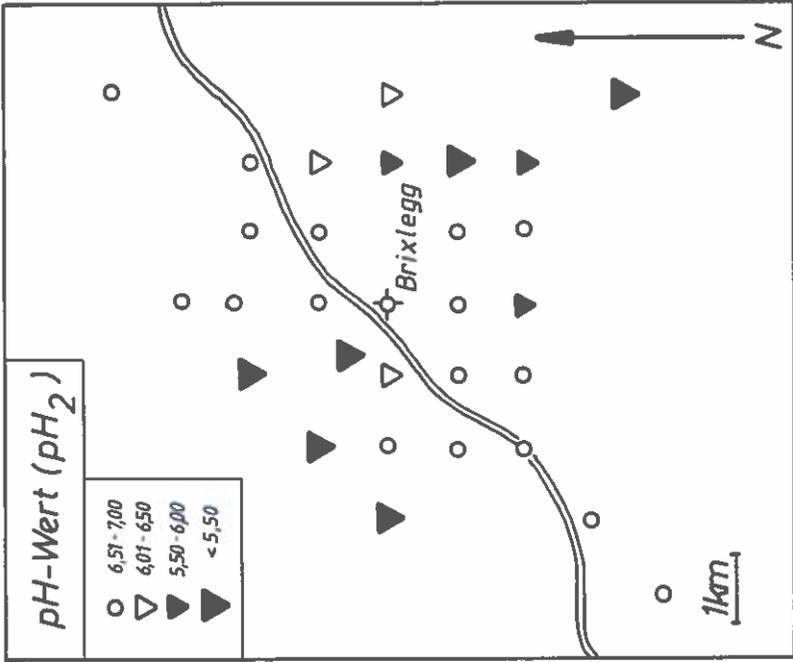


Abb. 11:  $\text{pH}_2$ -Werte der Schneeproben aus Brixlegg

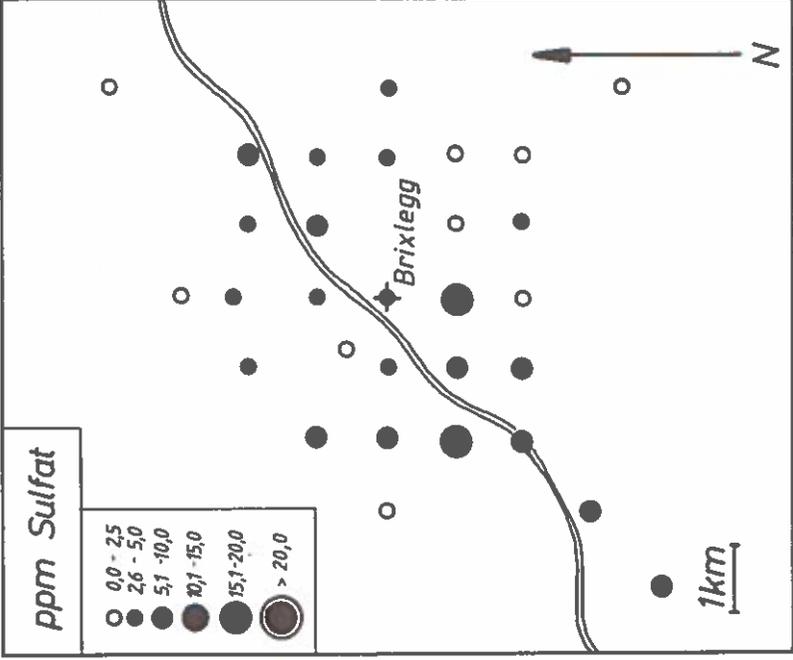


Abb. 12: Sulfatgehalte der Schneeproben aus Brixlegg

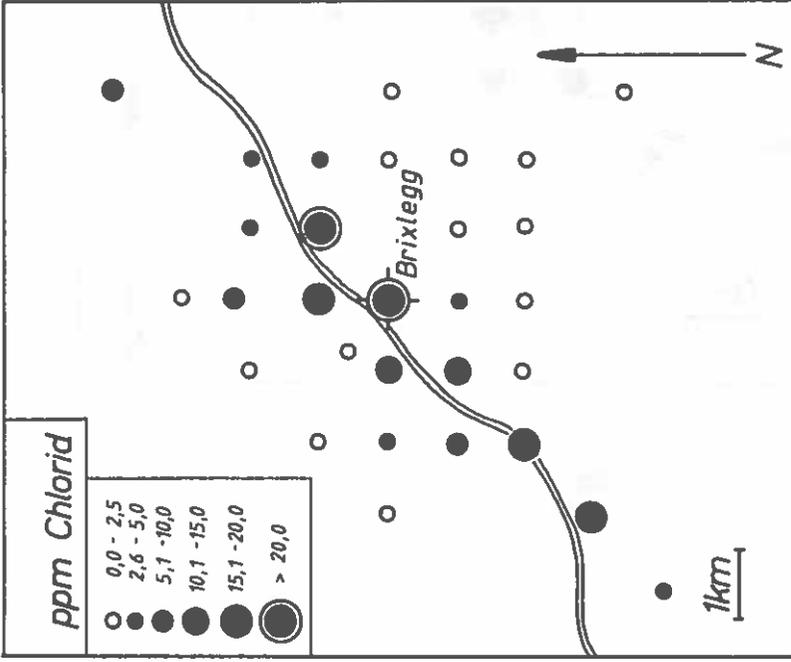


Abb. 13: Chloridgehalte der Schneeproben aus Brixlegg

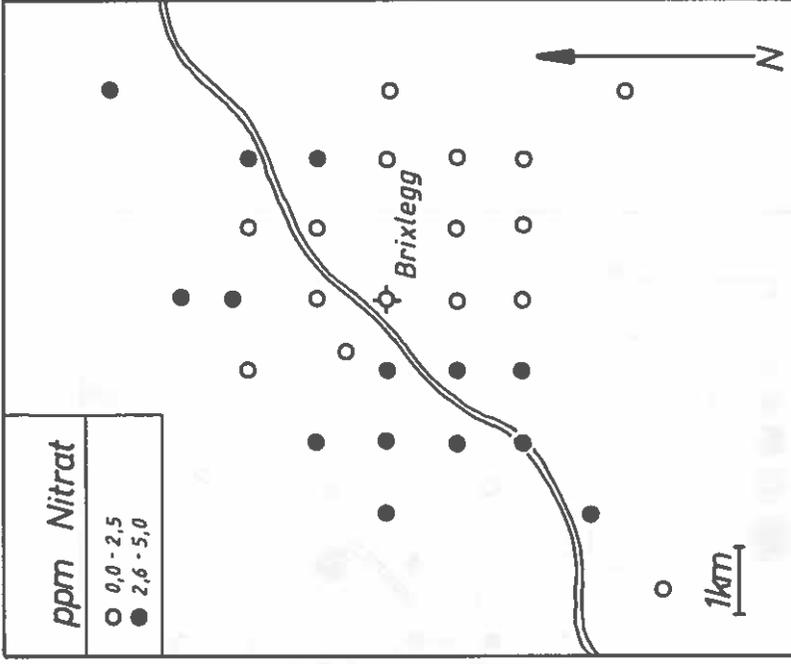


Abb. 14: Nitratgehalte der Schneeproben aus Brixlegg

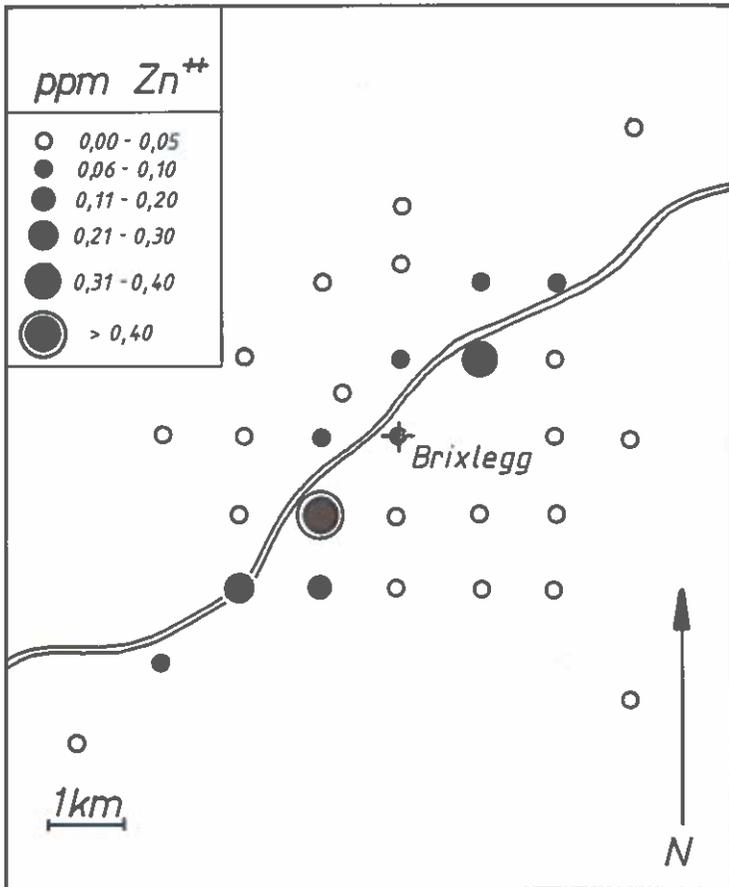


Abb.15: Zinkgehalte der Schneepröben aus Brixlegg

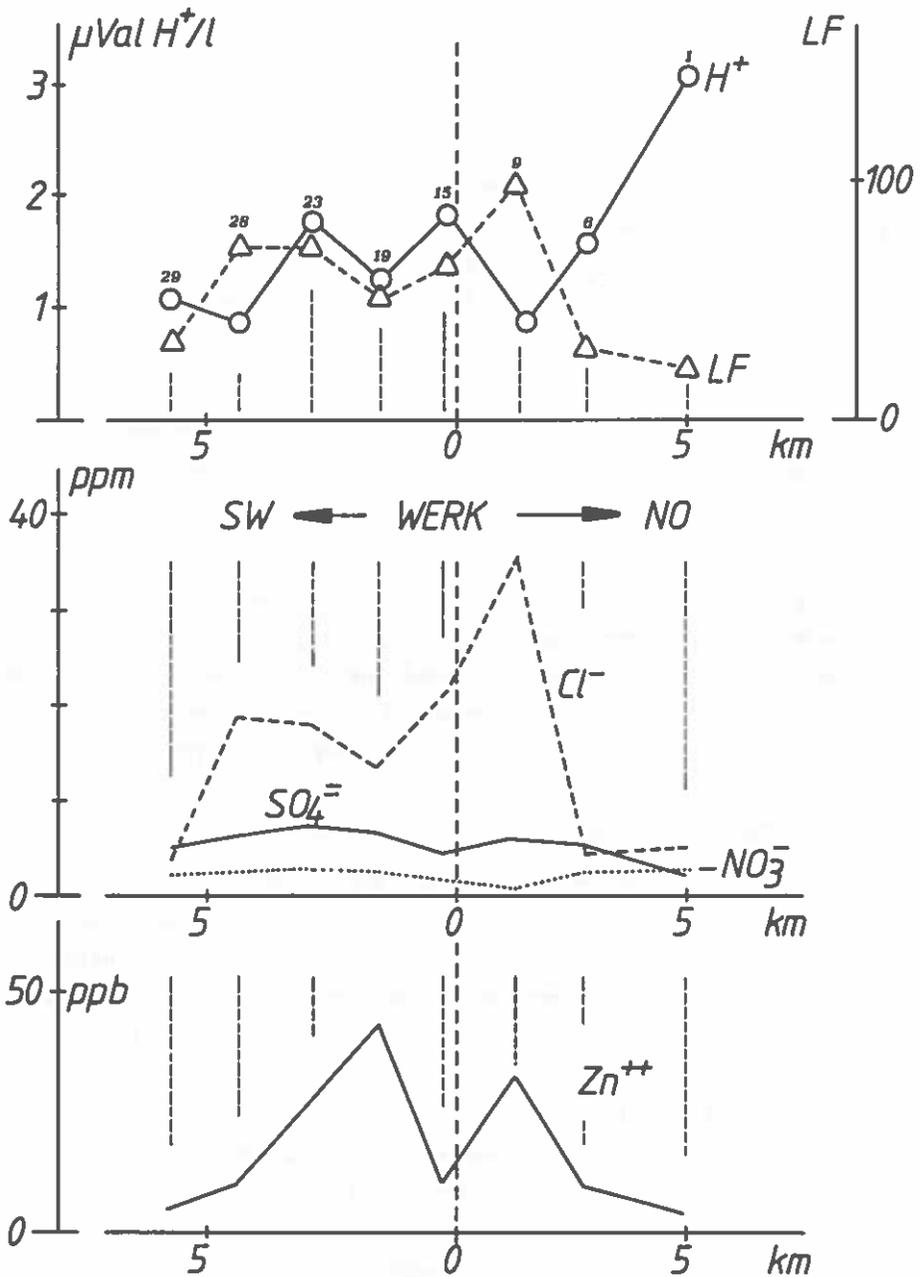


Abb.16: Verlauf der Analysenwerte in Südwest- und Nordostrichtung vom Montanwerk Brixlegg

gleichzeitiger Zunahme der  $H^+$ -Konzentration mit steigender Seehöhe. Als Folge dieses Trends erhöhte sich auch der Gehalt an "freier Säure" in Richtung Klimahaus.

Die Proben aus dem Inntalboden zeigten oftmals durch erhöhte Sulfat-, Chlorid- und Nitratgehalte stark angehobene Leitfähigkeitswerte; beide pH-Werte waren nur gelegentlich abgesenkt:  $pH_1$  fünfmal (Proben Nr.8, 10, 11, 16a und 16b),  $pH_2$  viermal (Proben Nr.7, 8, 10 und 11) in 14 Proben. Der durchschnittliche Gehalt an "freier Säure" war hier von allen Untersuchungsgebieten am geringsten ( $\bar{x} = 5,2\%$ ).

Die südlich von Schwaz im Januar 1981 genommenen Proben (Nr.16a-d) wiesen im Vergleich zu den Proben vom Patscherkofel geringere  $pH_1$ -Absenkungen und nur einen schwachen Trend zur pH-Zunahme mit steigender Seehöhe auf.

Die 17 Stichproben aus dem Achenal zeigten im allgemeinen sehr niedrige oder nur schwach erhöhte Leitfähigkeitswerte bei nur fallweise angehobenen Ionengehalten, aber durchwegs niedrige  $pH_1$ - und  $pH_2$ -Werte (im Mittel um rund eine pH-Einheit unter den Proben des Inn-ales). Die zum ersten Probenahmetermin nur im Talboden geworbenen Proben (Nr.19 - 25) wiesen dabei deutlich höhere Leitfähigkeiten und Ionengehalte auf, während die gemittelten  $pH_1$ -Werte nicht stark differierten (4,41 gegenüber 4,52 zum zweiten Termin).

In Übereinstimmung mit anderen Ergebnissen der Niederschlagsanalysen konnte auch im Nahbereich des Inn-ales nachgewiesen werden, daß es sehr oft gerade die stark verunreinigten Proben waren, die "natürliche" pH-Werte aufwiesen. Demgegenüber zeigten Proben aus "Reinluftgebieten" wiederholt abgesenkte pH-Werte. Letztere sind mit größter Wahrscheinlichkeit auf das Fehlen alkalischer Komponenten ( z.B. aus Grobstaubanteilen) zurückzuführen, da auch in diesen Proben geringe Mengen an sauren Anionen gefunden wurden. Es muß demnach angenommen werden, daß ein meßbarer Anteil der "Versauerung" von der Vorbelastung der Wolke herrührt. Dies wird durch die Beobachtung gestützt, daß im Rahmen von Langzeitmessungen am Patscherkofel/Klimahaus zwar keine gasförmigen  $SO_2$ -Immissionen meßbar waren, jedoch Sulfat sowie pH-Absenkungen in Niederschlägen registriert wurden (SMIDT, 1982).

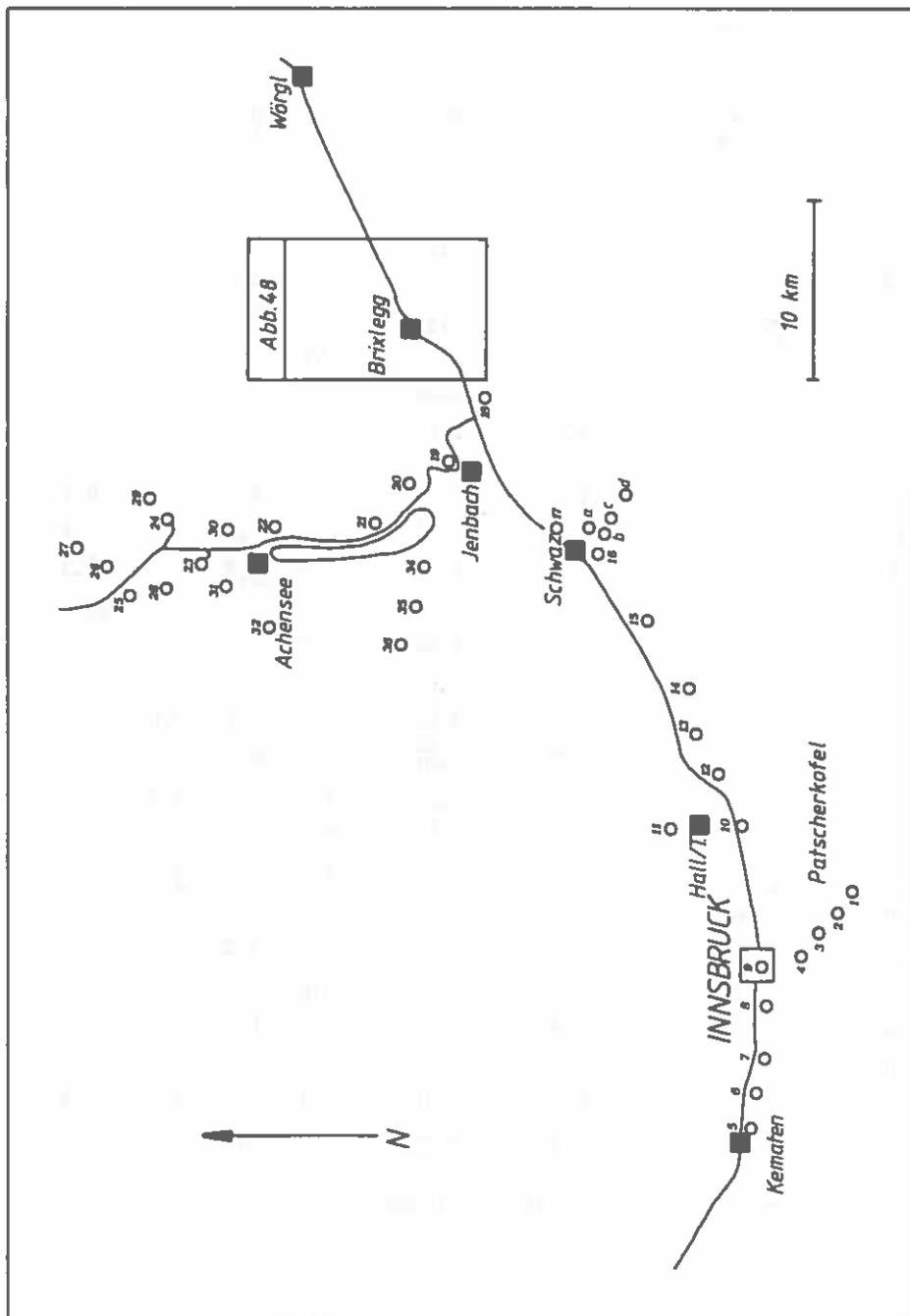


Abb. 17: Lage der Schnee-Entnahmepunkte am Patscherkofel, im Inntalboden und im Achenal

Tab.4: Ergebnisse der Schneeanalysen vom Patscherkofel  
und dem Inntalboden

Probe Nr.	Leitfähigkeit µS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm SO <sub>4</sub>	ppm Cl	ppm NO <sub>3</sub>	%Freie Säure
1	7,7	4,65	<u>4,60</u>	0,5	<u>0,5</u>	<u>1,2</u>	<u>50,6</u>
1a 1)	8,6	<u>4,56</u>	-	0,5	0,8	-	-
2	9,5	4,99	<u>5,42</u>	0,6	0,8	1,3	18,1
2a 1)	<u>7,5</u>	4,87	-	0,6	0,6	-	-
3	10,2	4,84	4,86	<u>0,4</u>	<u>0,5</u>	1,5	30,7
4	<u>14,3</u>	<u>5,10</u>	5,24	<u>2,2</u>	<u>2,0</u>	<u>2,3</u>	<u>5,7</u>
5	30,5	<u>6,20</u>	<u>7,30</u>	5,8	4,2	2,3	<u>0,2</u>
6	20,3	<u>6,20</u>	7,28	4,2	1,5	2,1	0,4
7	<u>72,5</u>	5,65	6,50	5,8	<u>22,9</u>	1,8	0,3
8	18,5	4,50	4,54	0,1	2,8	1,8	<u>28,5</u>
9	27,8	5,40	6,67	4,0	6,4	<u>1,5</u>	1,4
10	19,4	4,66	4,65	2,1	3,5	2,0	12,4
11	20,6	4,39	<u>4,52</u>	3,5	1,8	2,0	25,9
12	51,0	5,52	6,57	7,4	9,6	2,0	0,7
13	53,1	5,70	6,82	9,0	8,1	2,3	0,4
14	37,2	5,60	6,82	8,3	5,5	2,1	0,7
15	60,9	5,70	6,57	<u>13,3</u>	8,5	<u>3,0</u>	0,4
16	47,9	5,81	6,80	11,3	6,7	2,9	0,3
16a 2)	8,5	<u>4,35</u>	-	0,8	0,2	-	-
16b 2)	8,8	5,00	-	<u>0,0</u>	0,4	-	-
16c 2)	6,6	5,40	-	0,7	<u>0,0</u>	-	-
16d 2)	<u>5,6</u>	5,80	-	0,1	0,9	-	-
17	27,5	6,10	7,30	7,1	1,4	2,1	0,4
18	33,8	5,82	6,96	8,9	2,8	2,5	0,5

1) Mittelwert aus jeweils 9 Wiederholungen  
(Proben vom Januar 1981)

2) Probenahme: Januar 1981

Tab.5: Ergebnisse der Schneesanalysen vom Achantal

Probe Nr.	Leitfähigkeit μS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%Freie Säure
19	23,3	4,63	<u>4,60</u>	2,3	3,1	2,6	<u>13,1</u>
20	<u>30,0</u>	4,40	4,45	<u>2,8</u>	<u>4,5</u>	<u>3,5</u>	16,3
21	20,0	4,42	4,46	2,2	2,2	2,6	25,2
22	18,0	4,40	4,45	1,4	1,1	2,3	40,6
23	14,7	4,55	4,55	0,5	1,2	1,9	37,3
24	20,7	4,21	4,25	2,1	1,4	2,6	48,8
25	22,0	4,23	4,25	2,8	1,6	2,6	40,2
26	5,2	4,65	4,35	1,1	<u>0,4</u>	1,1	42,7
27	13,0	<u>4,00</u>	<u>4,20</u>	1,7	1,2	2,2	94,7
28	5,1	4,71	4,85	0,7	0,4	1,0	46,0
29	7,6	4,26	4,48	0,3	0,5	1,3	<u>100,0</u>
30	7,3	<u>4,98</u>	6,55	<u>0,2</u>	0,5	1,4	25,4
31	9,2	4,44	4,80	1,0	0,7	1,2	60,1
32	<u>5,0</u>	4,60	4,94	0,5	0,5	1,0	62,7
33	6,1	4,85	6,48	0,6	0,8	<u>0,6</u>	31,3
34	8,4	4,08	4,45	0,6	<u>0,4</u>	1,2	<u>100,0</u>
35	0,4	4,64	5,05	0,3	0,5	0,9	65,1

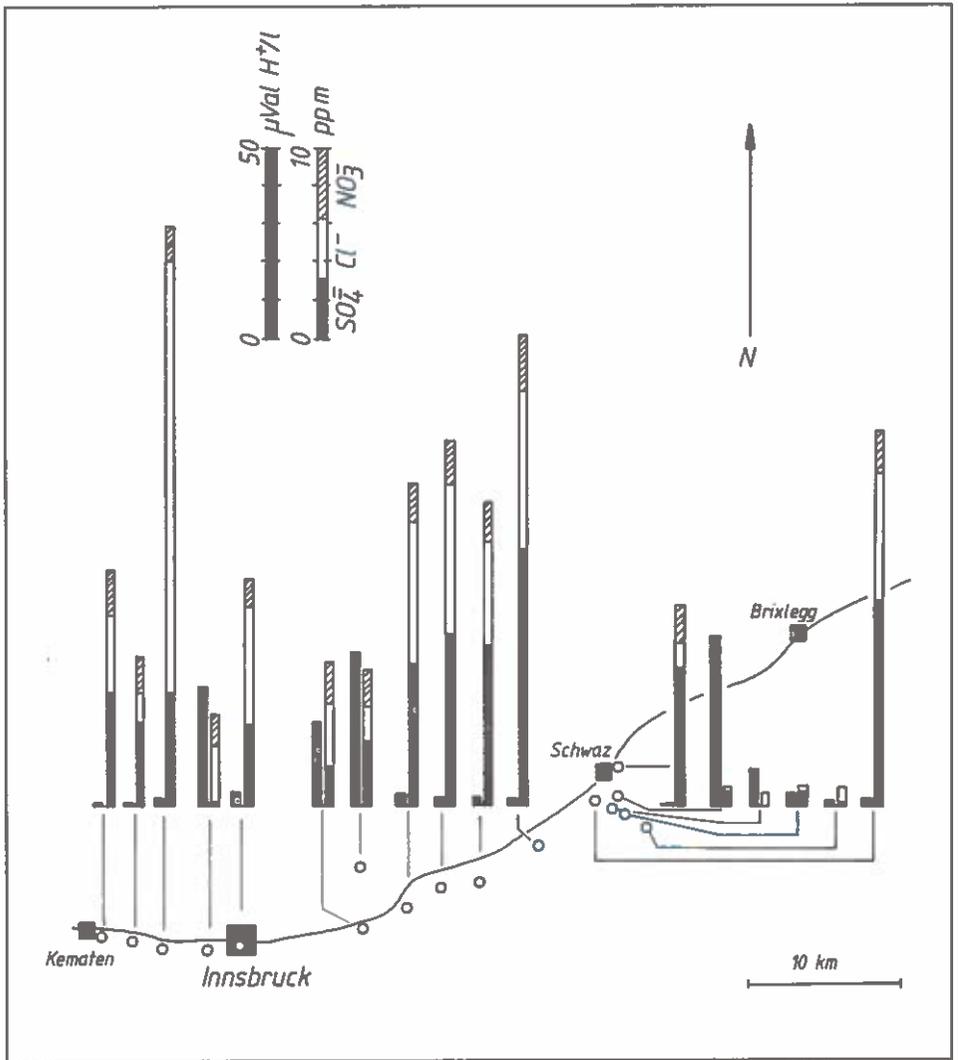


Abb.18:  $\text{H}^+$ -Konzentrationen (abgeleitet vom  $\text{pH}_j$ -Wert), Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen der Schneeproben aus dem Inntalboden und vom Hochpillberg

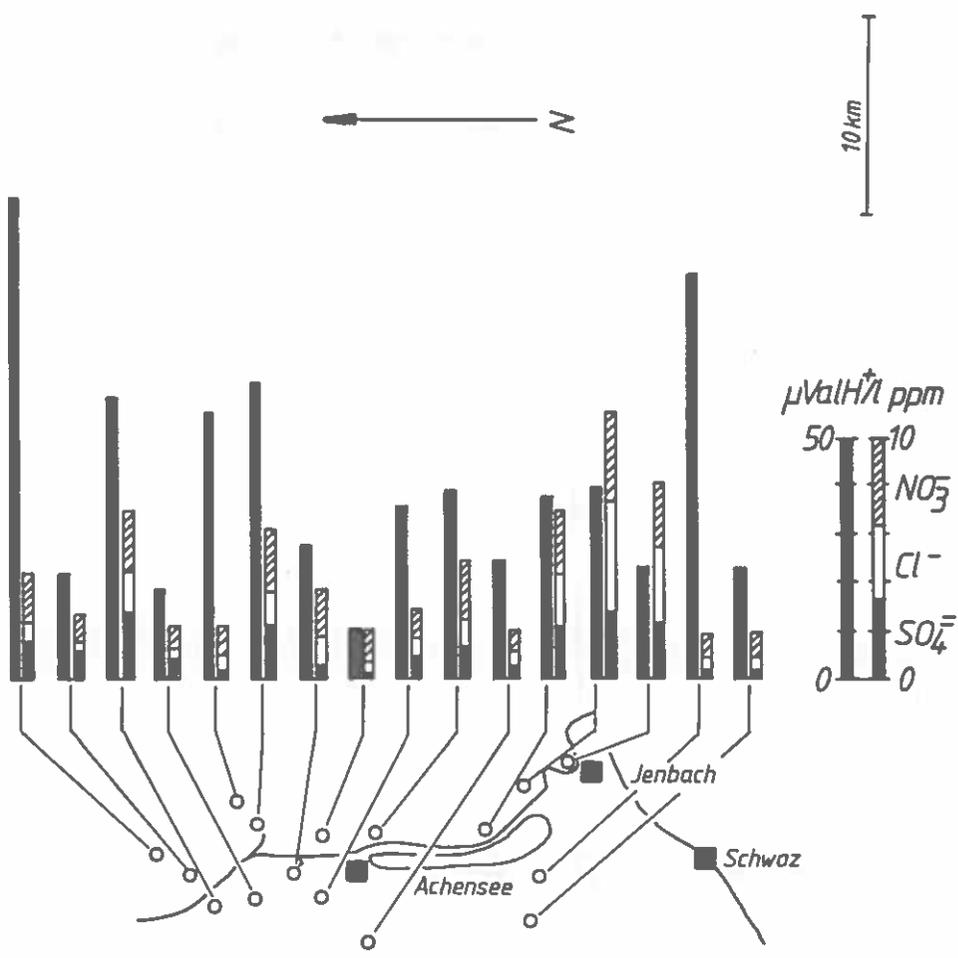


Abb.19:  $\text{H}^+$ -Konzentrationen (abgeleitet vom  $\text{pH}_1$ -Wert), Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen der Schneeproben aus dem Achental

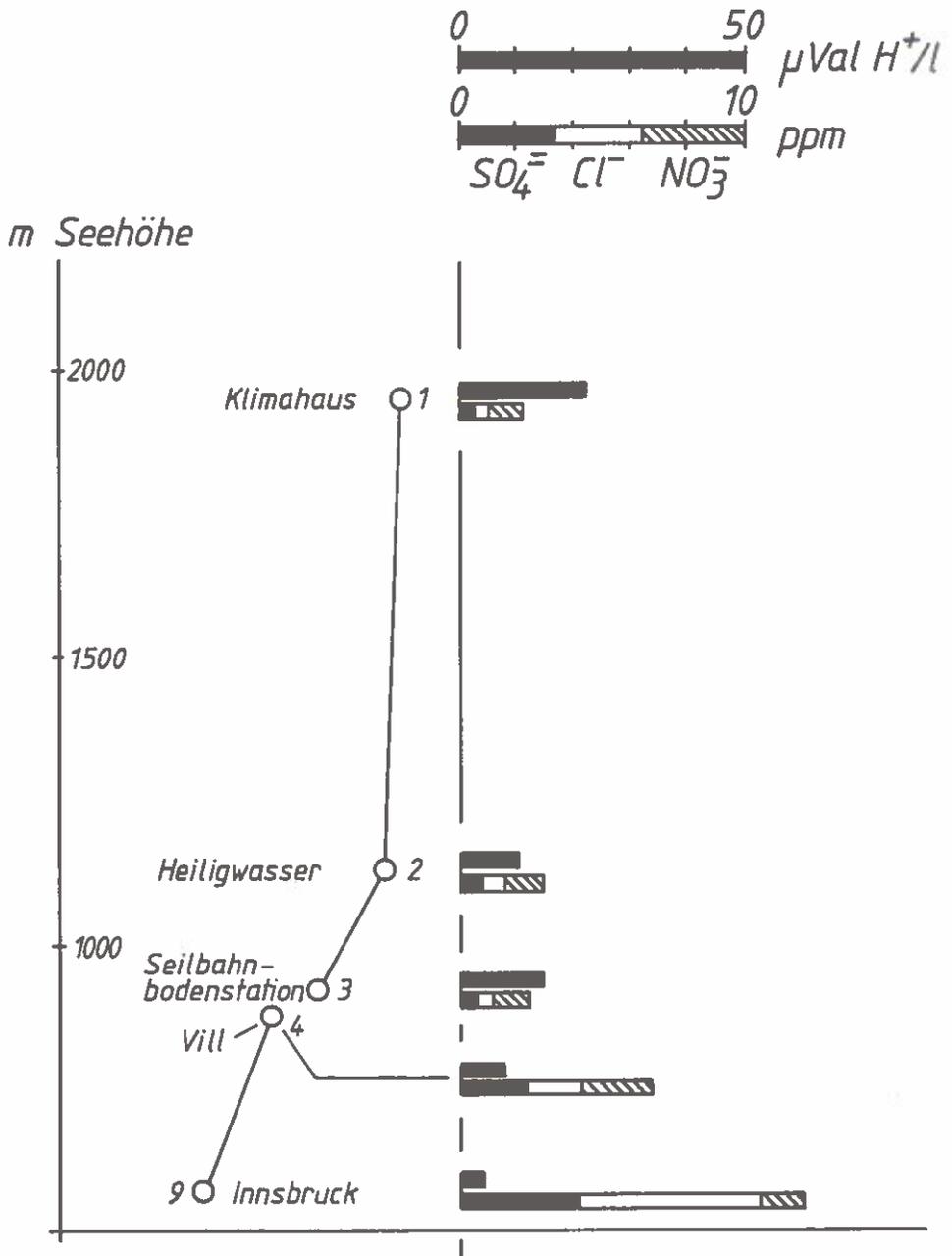


Abb.20:  $\text{H}^+$ -Konzentration (abgeleitet vom  $\text{pH}_1$ -Wert), Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen der Schneeproben aus dem Bereich des Patscherkofels

### 3.1.3. H o c h f i l z e n (Tab.6, Abb.21 - 24)

Im Nahbereich des Magnesitwerkes und entlang von drei Talausgängen war ein charakteristischer, nach den verschiedenen Talrichtungen etwas verschobener und unterschiedlich ausgeprägter Trend erkennbar:

Zunächst zeigt sich ein Anstieg vom Werk aus bis in eine Entfernung von 1 - 2 Kilometern Luftlinie, dann bis etwa nach vier Kilometern ein Absinken und schließlich - vermutlich durch den Einfluß anderer (kleinerer) Emittenten - wieder ein leichter Anstieg.

Die  $\text{pH}_1$ - und  $\text{pH}_2$ -Werte waren mit Ausnahme des Punktes Nr.9 durchwegs mehr oder weniger stark erniedrigt, dabei war die Absenkung im Bereich der maximalen Magnesium- und Calciumwerte am geringsten. Die Anteile an "freier Säure" entsprachen dabei deutlich den jeweiligen pH-Absenkungen. Die Leitfähigkeiten der untersuchten Proben waren leicht erhöht und nicht sehr breit gestreut.

Die Sulfatgehalte, die zwischen 0,8 und 6,7ppm (Mittelwert: 2,8ppm) lagen, waren zum Teil erhöht, die mittleren Magnesium- und Calciumgehalte betragen 0,42 bzw. 0,51ppm. Die  $\text{Mg} : \text{SO}_4$  - Quotienten, die beim Vorliegen von reinem Magnesiumsulfat rund 0,40 sein müßten, lagen zwischen 0,63 und 0,07, wobei in 15 von 17 Fällen der Quotient von 0,40 unterschritten wurde.

### 3.1.4. M ü r z t a l - u n d M u r t a l b o d e n (Tab.7, Abb.25)

Die Stichproben aus diesem Untersuchungsgebiet zeigten für der Mürztal leicht abgesenkte, für das Murtal beinahe "natürliche" pH-Werte; die Differenz der Mittelwerte (4,78 gegenüber 4,96) ist jedoch als nicht erheblich anzusehen. Im Gesamtdurchschnitt waren bei 80% aller dieser Proben  $\text{pH}_1$ -Absenkungen um mehr als eine halbe Einheit gemessen worden. Das Gesamtmitel ( $\text{pH}_1 = 4,85$ ) weist auf eine schwache Absenkung hin.

Die elektrolytische Leitfähigkeit der Stichproben lag bei den Proben aus dem Murtal um rund  $10\mu\text{S}/\text{cm}$  höher als bei denen aus dem Mürztal; fallweise waren sie leicht erhöht (den höchsten Wert hatte die Probe aus dem Stadtbereich Leoben, Punkt Nr. 10).

Die Anionenkonzentrationen dieser Mürztal- und Murtalproben waren deutlich geringer als etwa jene im Inntalbereich (Mittelwerte:

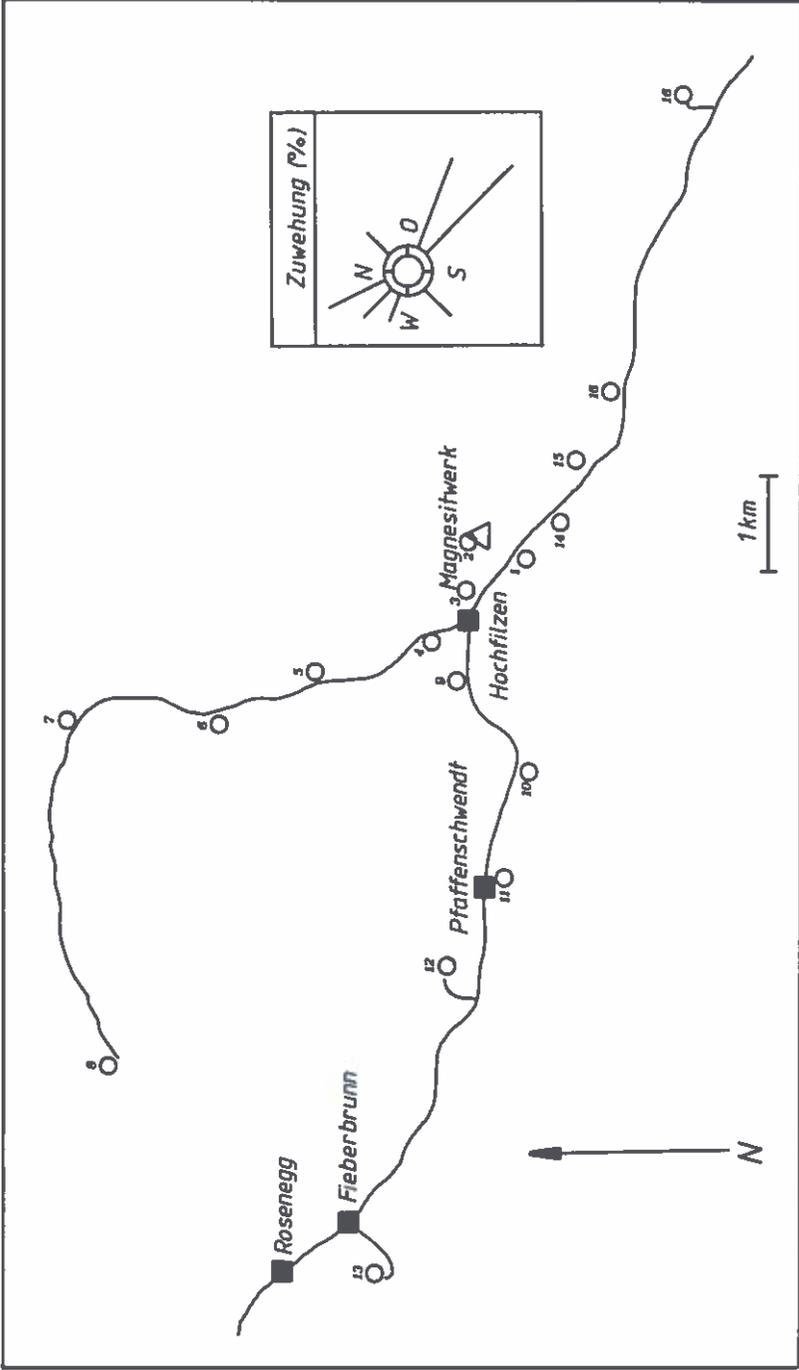


Abb.21: Lage der Schnee-Entnahmepunkte in der Umgebung des Magnesitwerkes Hochfilzen mit der Verteilung der Zuwehung (nach STEFAN u.POLLANSCHUTZ, 1967)

Tab.6: Ergebnisse der Schneeanalysen aus der Umgebung des Magnesitwerkes Hochfilzen/Tirol

Probe Nr.	Leitfähigkeit μS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm-SO <sub>4</sub>	ppm-Cl <sup>-</sup>	ppm-NO <sub>3</sub>	%Freie Säure	ppm-Mg <sup>++</sup>	ppm-Ca <sup>++</sup>
1	13,1	4,63	4,45	1,6	1,5	2,1	21,2	0,11	0,43
2	10,7	4,63	4,68	1,4	0,6	1,9	30,3	0,17	0,43
3	15,4	4,86	5,00	4,4	1,1	2,2	8,7	0,67	0,43
4	19,0	4,75	4,87	5,1	1,2	2,6	9,7	0,84	0,64
5	15,4	4,46	4,55	3,0	1,2	2,4	25,5	0,29	0,46
6	15,2	4,42	4,40	2,9	0,6	2,1	33,9	0,11	0,21
7	15,7	4,30	4,36	3,4	1,0	2,3	36,5	0,19	0,39
8	20,8	4,21	4,20	3,7	1,4	2,7	38,2	0,19	0,50
9	20,0	5,57	6,75	6,7	1,1	2,5	1,3	1,69	0,68
10	20,6	4,65	4,66	3,1	2,0	3,4	12,6	1,06	0,39
11	21,6	4,18	4,25	2,0	1,0	2,6	58,6	0,20	0,39
12	16,4	4,39	4,55	0,8	1,6	2,1	42,2	0,22	0,50
13	25,7	4,05	4,22	2,4	1,2	4,5	56,5	0,16	0,57
14	24,6	4,15	4,26	1,6	1,8	3,0	53,0	0,19	0,57
15	17,6	5,14	5,60	2,1	1,9	2,4	5,3	0,64	0,68
16	20,6	4,29	4,55	1,1	1,1	2,9	50,5	0,17	0,61
17	20,4	4,28	4,46	1,9	1,1	2,6	46,2	0,17	0,75

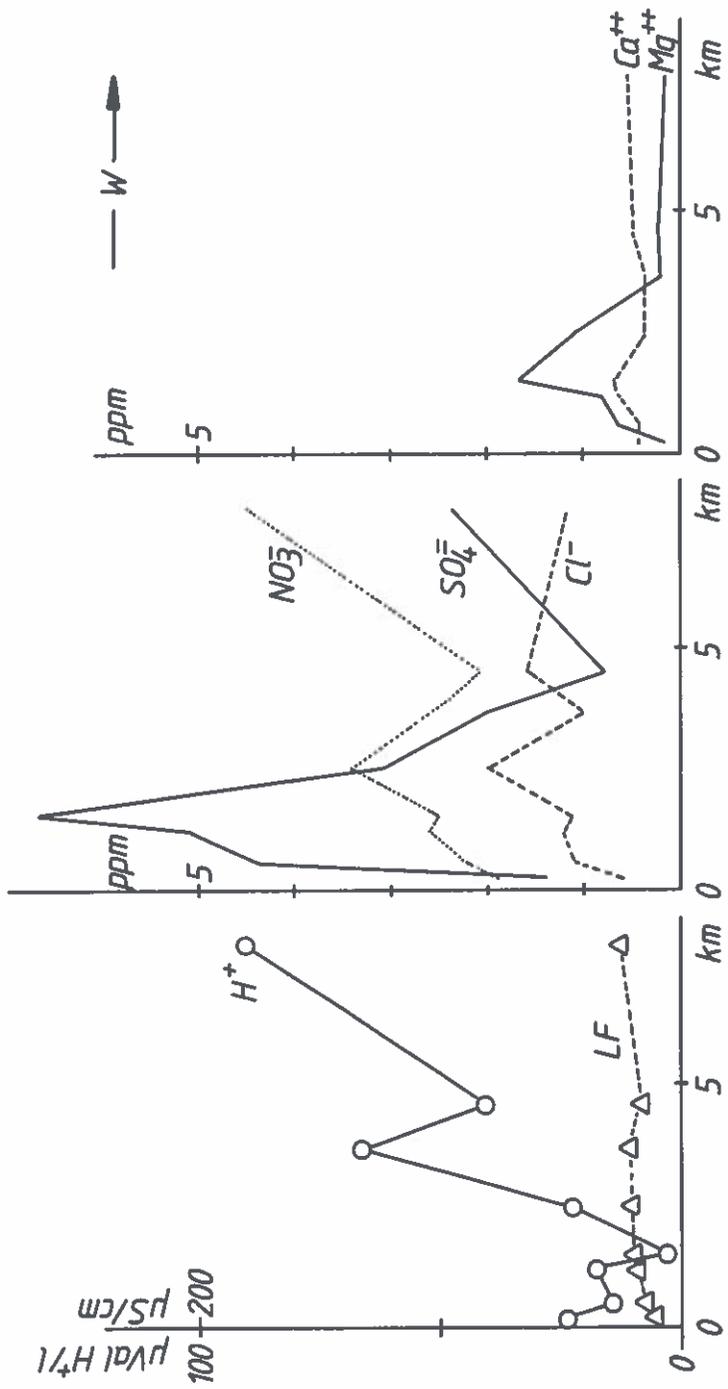


Abb.22: Verlauf der Analysenwerte aus Hochfilzen/Tirol in Richtung Westen vom Werk

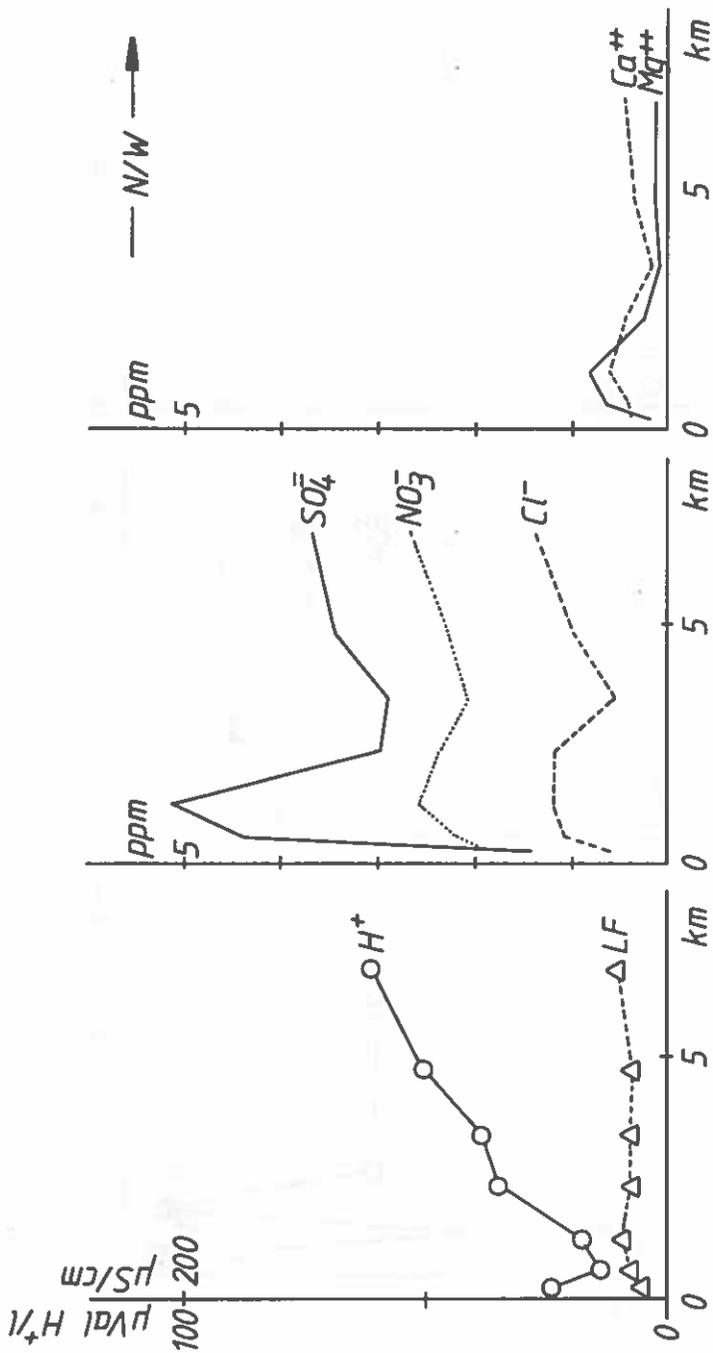


Abb.23: Verlauf der Analysenwerte aus Hochfilzen/Tirol in Richtung Norden bzw. Westen vom Werk

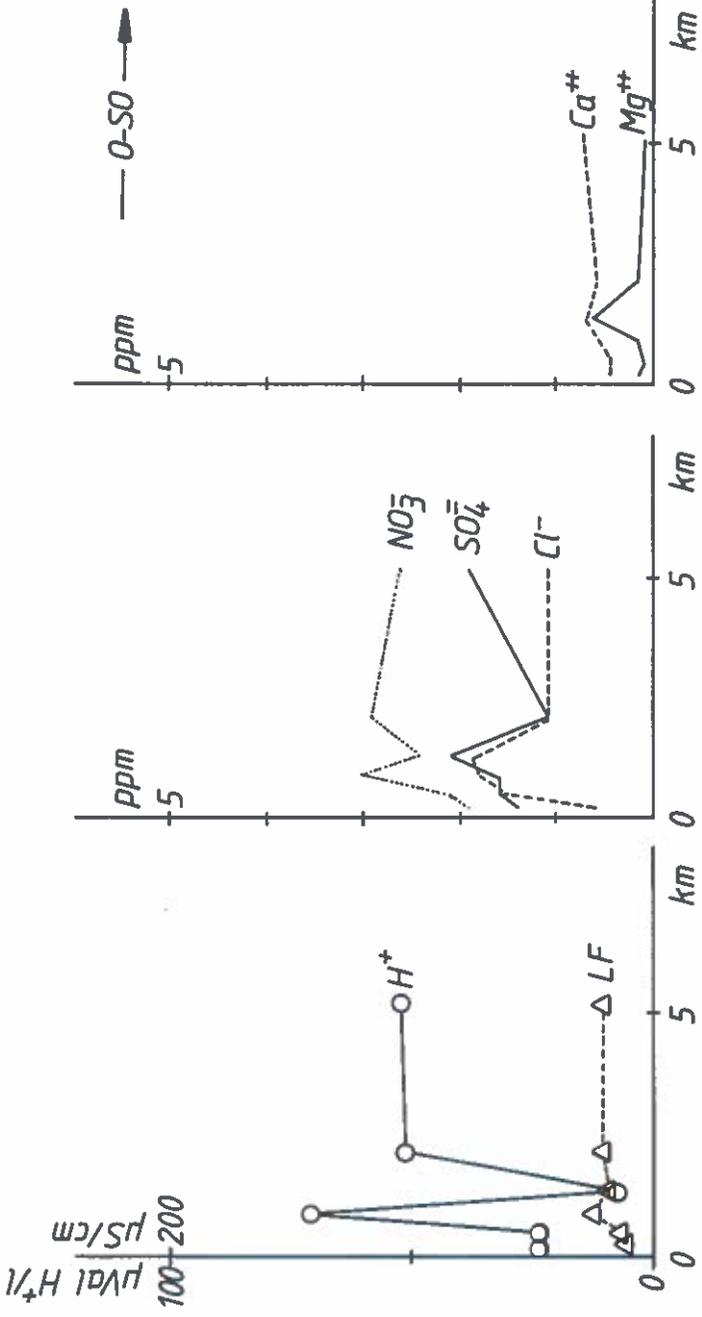


Abb.24: Verlauf der Analysenwerte aus Hochfilzen/Tirol in Richtung Ost-Südost vom Merk

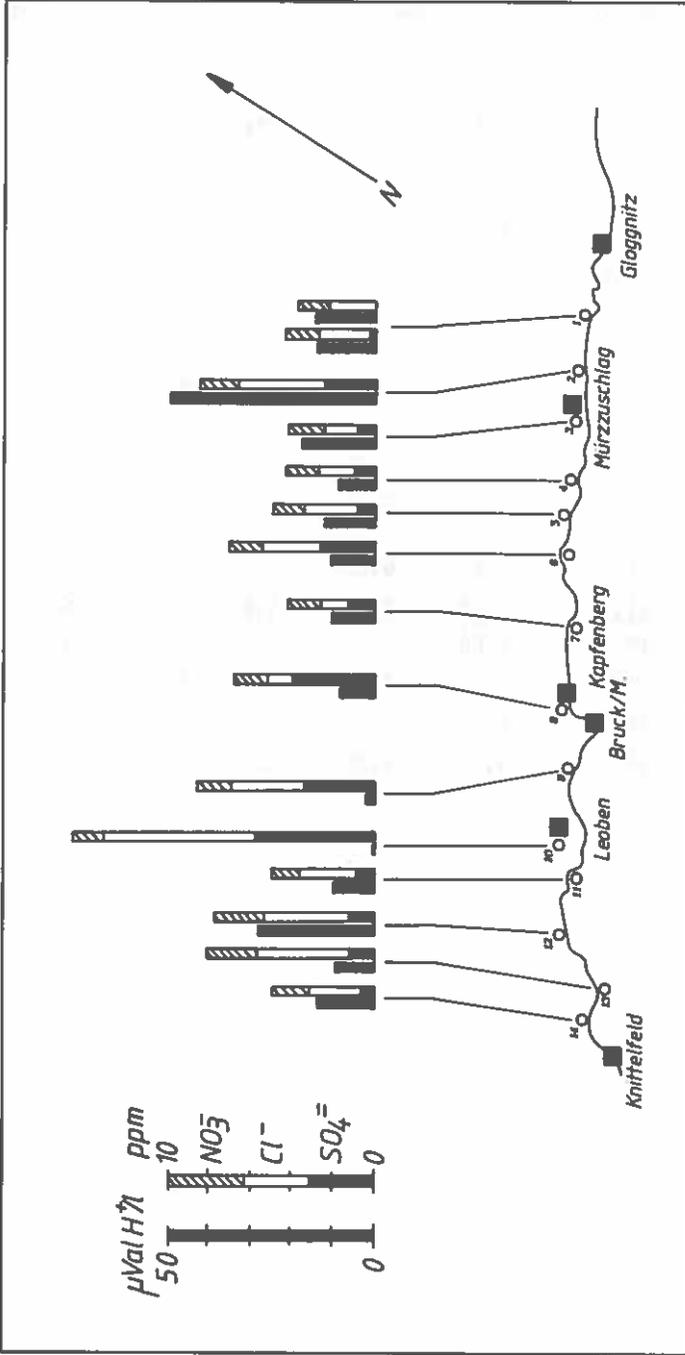


Abb.25:  $\text{H}^+$ -Konzentrationen (abgeleitet vom pH<sub>s</sub>-Wert), Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen der Schneeproben aus dem Mürztal- und Murtalboden

Tab.7: Ergebnisse der Schneesanalysen aus dem Mürztal- und Murtalboden

Probe Nr.	$\mu\text{S/cm}$	$\text{pH}_1$	$\text{pH}_2$	$\text{ppm}_{\text{SO}_4}$	$\text{ppm}_{\text{Cl}}$	$\text{ppm}_{\text{NO}_3}$	%Freie Säure
1	13,6	4,85	4,85	<u>0,0</u>	2,2	<u>1,3</u>	16,9
1a	15,2	4,85	4,85	0,2	2,6	1,5	13,8
2	26,5	<u>4,30</u>	<u>4,30</u>	2,4	4,1	1,9	<u>25,3</u>
3	13,6	4,75	4,83	0,7	1,6	1,8	19,9
4	14,1	5,03	5,68	0,9	1,8	1,6	9,7
5	13,6	4,90	5,12	0,7	2,6	1,5	11,1
6	18,3	4,96	5,15	2,5	2,7	1,7	7,0
7	<u>12,0</u>	4,95	4,87	1,1	1,3	1,5	13,3
8	14,8	5,07	5,40	3,8	1,4	1,6	5,8
9	21,7	5,67	6,95	3,4	3,2	1,6	1,1
10	<u>41,0</u>	<u>6,15</u>	<u>7,60</u>	<u>5,8</u>	<u>7,3</u>	1,6	<u>0,2</u>
11	17,5	5,00	5,20	0,8	2,8	<u>1,3</u>	8,5
12	24,0	4,55	4,65	1,2	4,2	<u>2,4</u>	15,4
13	24,9	5,00	5,20	1,1	4,3	2,3	5,5
14	18,2	4,85	4,95	0,6	2,5	1,9	12,3

1,7ppm Sulfat, 3,0ppm Chlorid und 1,7ppm Nitrat). Gering im Vergleich zu anderen Untersuchungsgebieten waren auch die errechneten Anteile an "freier Säure" mit durchschnittlich 11%. Es ist demnach auch für dieses Gebiet analog zum Inntalboden anzunehmen, daß alkalische Ionen zu einem Teil die sauren Anionen neutralisiert haben.

### 3.1.5. P ö l s - A i c h f e l d - M u r b o d e n (Tab.8, Abb.26-32)

Die im Anschluß an das Mürtal/Murtal gewählten Probenahmepunkte im Aichfeld/Murboden wurden analog zu Brixlegg/Tirol in Form eines Rasters (Abstand hier jedoch 2km) festgelegt. Die Analyse der Proben ergab im Vergleich zu den übrigen Untersuchungsgebieten unerwartet schwache Kontaminationen der Schneeproben. Das erwies sich zunächst bei der Analyse der elektrolytischen Leitfähigkeiten: abgesehen von der in unmittelbarer Nähe der Pölser Papierfabrik erworbenen Probe Nr.11 wurden nur relativ leicht erhöhte Leitfähigkeitswerte im Bereich zwischen Fohnsdorf, Judenburg und Zeltweg gefunden (Probenahmen direkt im Ortsgebiet wurden allerdings vermieden). Dies steht in recht guter Übereinstimmung mit den ebenfalls niedrigen Anionengehalten.

Die  $pH_1$ -Werte der Proben waren im Mittel nur schwach abgesenkt, sehr starke Absenkungen traten bei Extremwerten nicht ein (niedrigster  $pH_1$ -Wert: 4,22). Rund ein Viertel der Proben wiesen eine Abnahme um mehr als eine Einheit auf, dies entspricht bekanntlich einer Erhöhung der  $H^+$ -Konzentration um mindestens das Zehnfache. Die Punkte mit einer solchen Erhöhung waren vorwiegend im Nahbereich von Fohnsdorf gelegen. "Natürliche" pH-Werte kamen hier nur sechsmal vor: bei diesen Punkten (Nr.11, 14, 18, 19, 20 und 32) wurden - abgesehen vom Punkt Nr.11 - nicht etwa wie im Inntalboden auffällig hohe, sondern für das Aichfeld durchschnittliche Ionengehalte gefunden. "Natürliche"  $pH_2$ -Werte traten überhaupt nur zweimal auf (Punkt Nr.19 und 20).

Starken Streuungen unterlag der Anteil an "freier Säure": er reichte von nahezu 0,0% (Minimum: 0,2%) bis 82%. Erwartungsgemäß waren die Anteile an den Punkten mit geringen  $H^+$ -Konzentrationen am niedrigsten; die höchsten Werte wurden an den Randpunkten bzw.dort, wo die stärksten pH-Absenkungen auftraten, ermittelt.

Die relativ geringe Belastung der Proben ist für dieses Immissionsgebiet unerwartet. Dies umso mehr, als zwischen dem Schneefall und der Probenahme über eine Woche vergangen war, innerhalb der Staubdeposition und Adsorption von Luftverunreinigungen möglich gewesen wären.

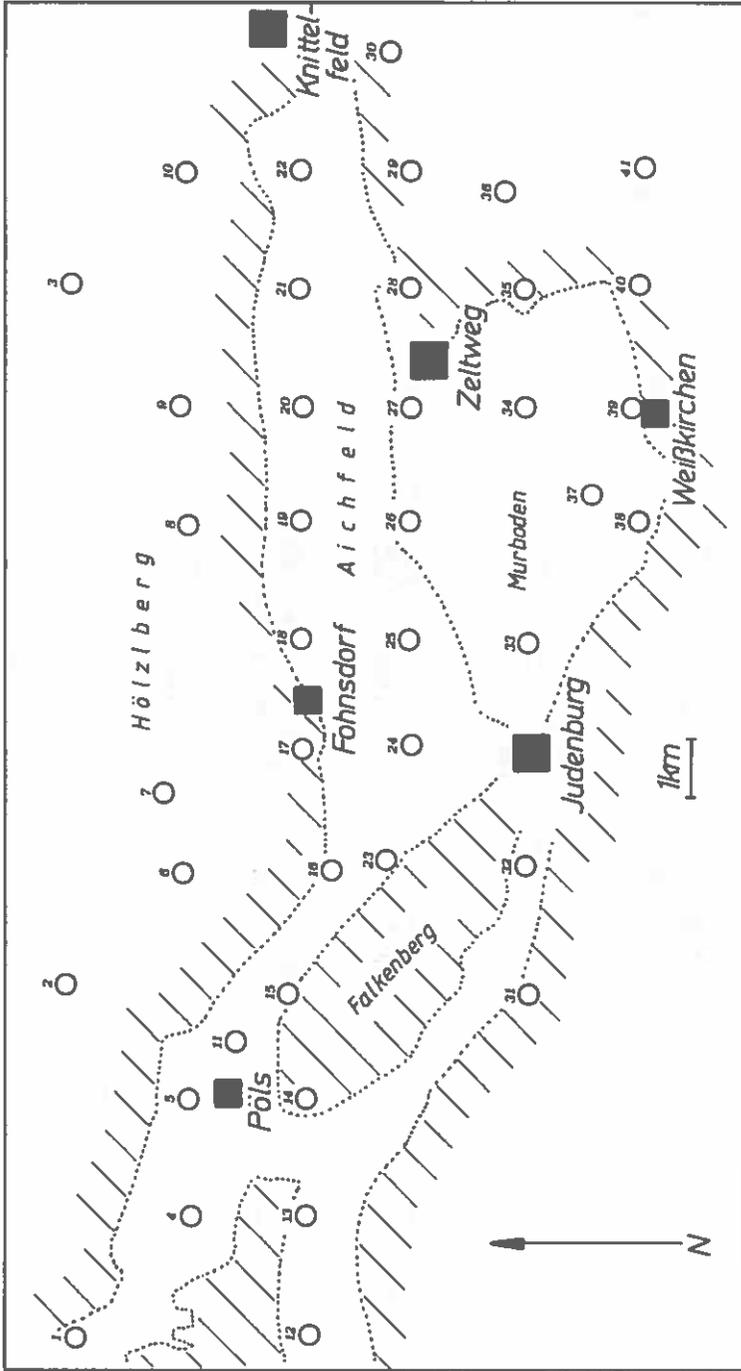


Abb.26: Lage der Schnee-Entnahmepunkte im Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

Tab.8: Ergebnisse der Schneesanalysen aus dem Raum  
Pöls - Aichfeld - Murboden

Probe Nr.	Leitfähigkeit µS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%Freie Säure
1	11,0	4,65	4,75	2,1	0,5	1,8	25,5
2	8,8	4,40	4,46	1,2	0,7	1,2	61,6
3	8,0	4,65	4,79	0,1	0,6	1,3	55,5
4	10,0	5,05	4,80	0,3	0,8	1,3	17,8
5	9,5	4,90	5,05	0,6	0,7	1,0	25,8
6	9,6	4,97	5,05	1,8	1,0	1,1	12,7
7	10,6	4,35	4,40	0,8	1,0	1,5	64,1
8	8,7	4,60	4,70	0,7	1,2	1,4	35,1
9	9,2	4,50	4,53	0,6	0,8	1,7	50,2
10	10,1	5,01	5,30	1,3	1,6	1,5	10,1
11	<u>150,0</u>	<u>5,55</u>	<u>6,47</u>	<u>52,9</u>	<u>10,7</u>	<u>3,7</u>	<u>0,2</u>
12	<u>11,4</u>	<u>4,71</u>	<u>4,79</u>	<u>2,1</u>	<u>1,5</u>	<u>1,6</u>	<u>17,3</u>
13	8,3	4,81	4,90	0,0	1,3	1,8	23,4
14	11,1	5,35	6,41	0,7	2,0	1,8	4,4
15	14,2	4,20	4,22	1,4	0,7	1,7	<u>82,0</u>
16	13,3	4,50	4,56	1,9	0,5	1,6	<u>39,4</u>
17	14,1	4,55	4,59	1,8	0,8	1,7	31,9
18	19,8	5,20	5,80	4,1	1,3	1,7	4,2
19	18,8	5,68	6,89	3,9	0,8	1,7	1,6
20	18,6	5,65	6,80	3,9	0,7	<u>1,0</u>	<u>1,9</u>
21	14,7	4,86	4,99	2,0	1,8	1,7	11,4
22	13,7	4,95	5,03	1,8	1,5	1,1	11,4
23	14,8	4,45	4,51	1,3	0,9	1,5	45,9
24	15,6	4,55	4,60	1,9	1,5	1,1	28,1
25	24,7	4,45	4,49	4,4	1,6	2,3	20,2
26	25,4	5,05	5,22	3,6	2,5	1,5	5,2
27	24,6	5,10	5,40	4,8	3,3	1,5	3,6
28	21,1	4,70	4,92	4,0	1,6	1,5	13,0
29	15,3	4,70	4,70	1,8	0,7	1,6	23,8
30	13,0	4,72	4,75	2,2	0,6	1,1	23,5
31	13,4	4,75	4,70	1,2	1,1	1,7	21,1
32	17,7	5,11	5,40	2,6	1,9	2,0	5,5
33	15,1	4,67	4,76	2,0	0,7	1,9	23,0
34	12,0	4,70	4,72	1,1	1,0	1,1	28,7
35	14,8	4,65	4,68	1,6	0,9	1,0	29,7
36	11,5	4,60	4,66	0,3	0,6	1,3	56,4
37	11,3	4,65	4,67	1,0	0,7	1,0	39,2
38	11,6	4,86	4,97	0,5	0,6	1,6	25,7
39	31,0	5,10	5,55	7,4	0,7	1,9	3,9
40	10,7	4,55	4,61	0,6	0,5	1,2	60,8
41	8,4	4,87	4,97	0,3	<u>0,2</u>	<u>1,0</u>	<u>47,7</u>

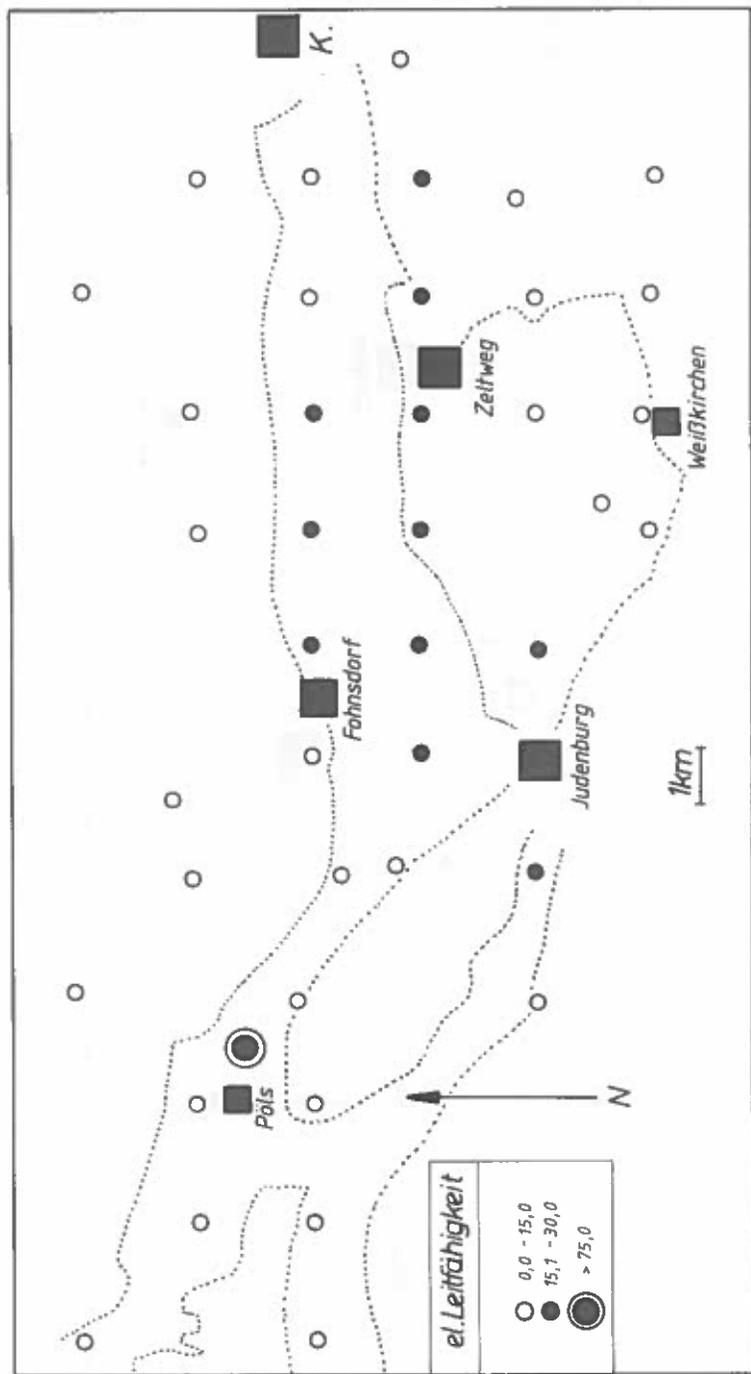


Abb.27: Leitfähigkeitswerte der Schneeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

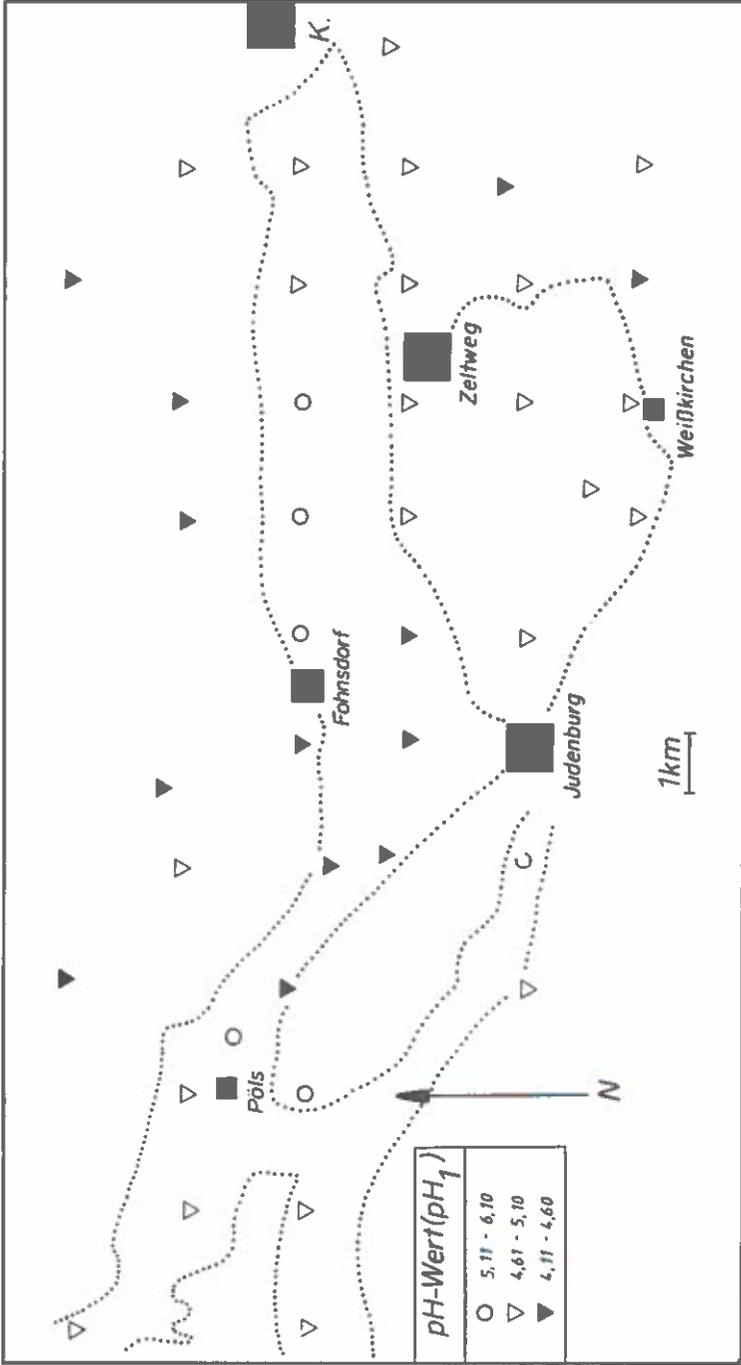


Abb. 28: pH<sub>1</sub>-Werte der Schneeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

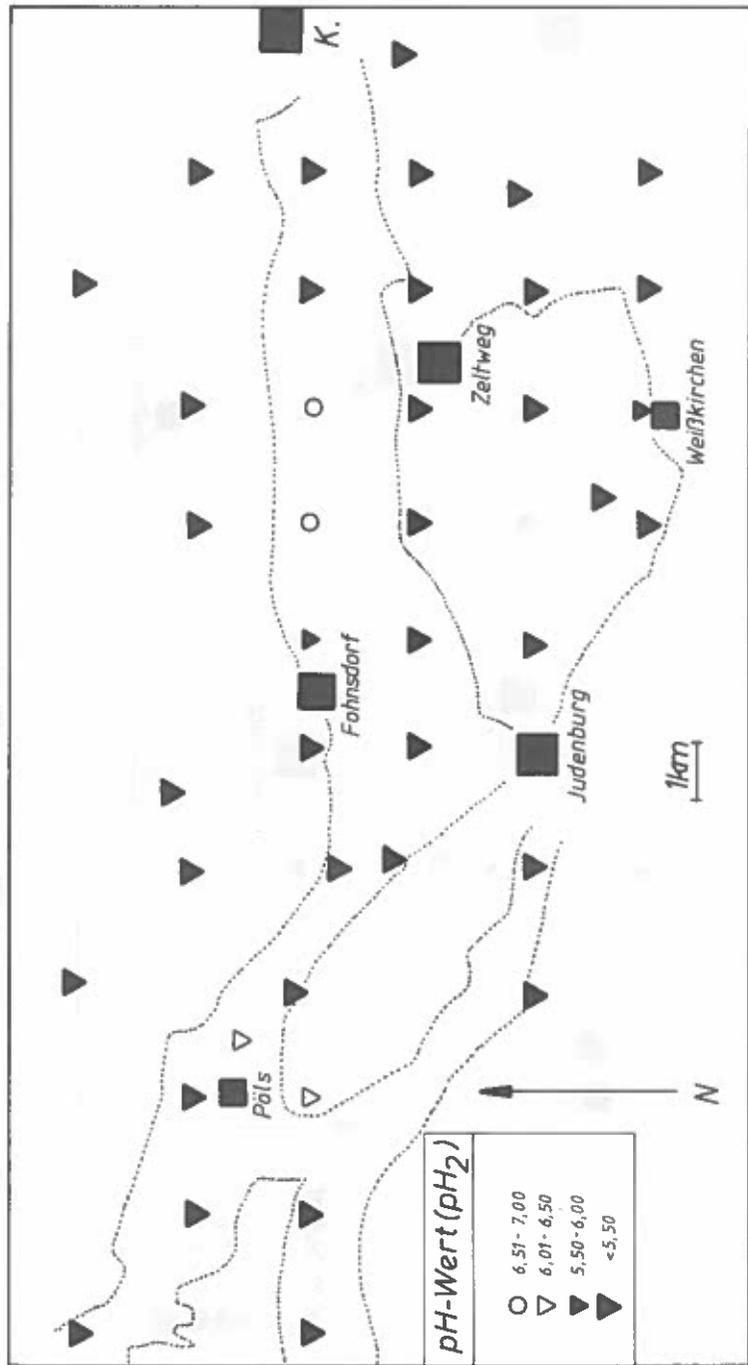


Abb. 29: pH<sub>2</sub>-Werte der Schneeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

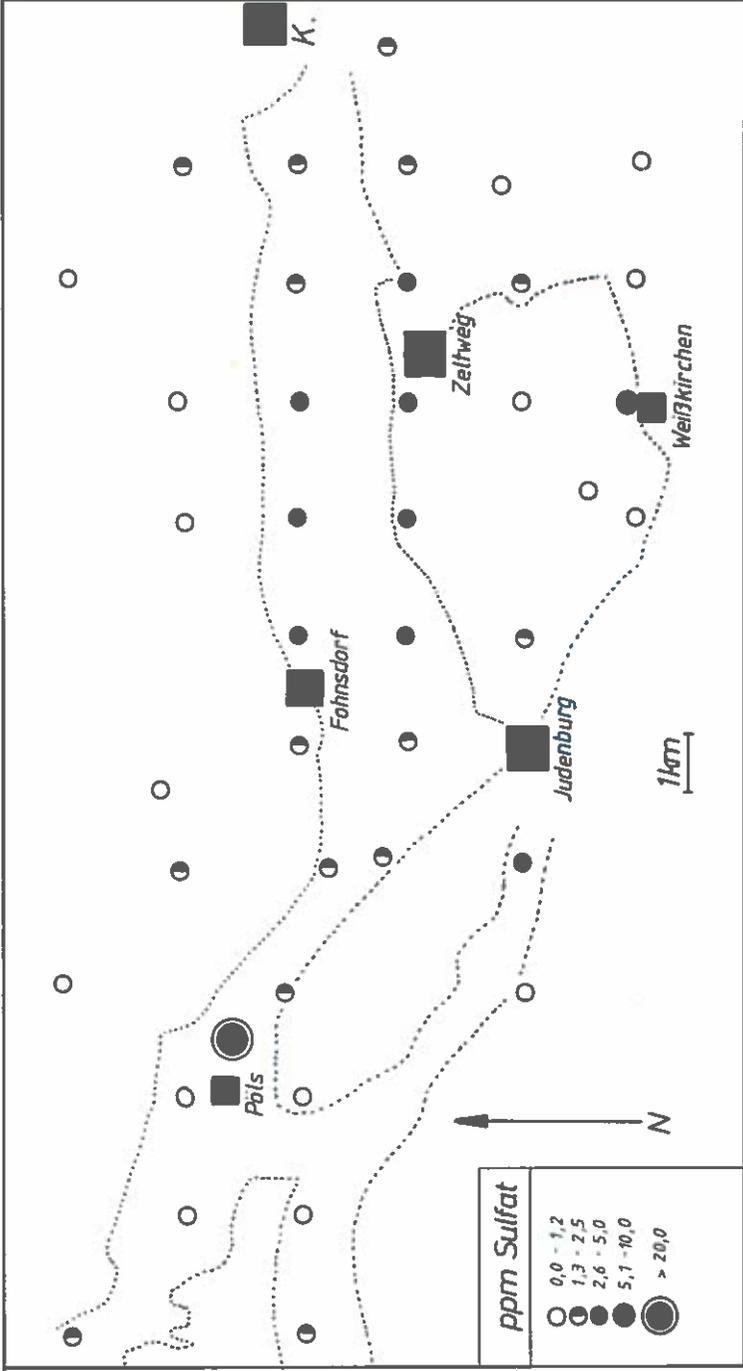


Abb.30: Sulfatgehalte der Schneeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

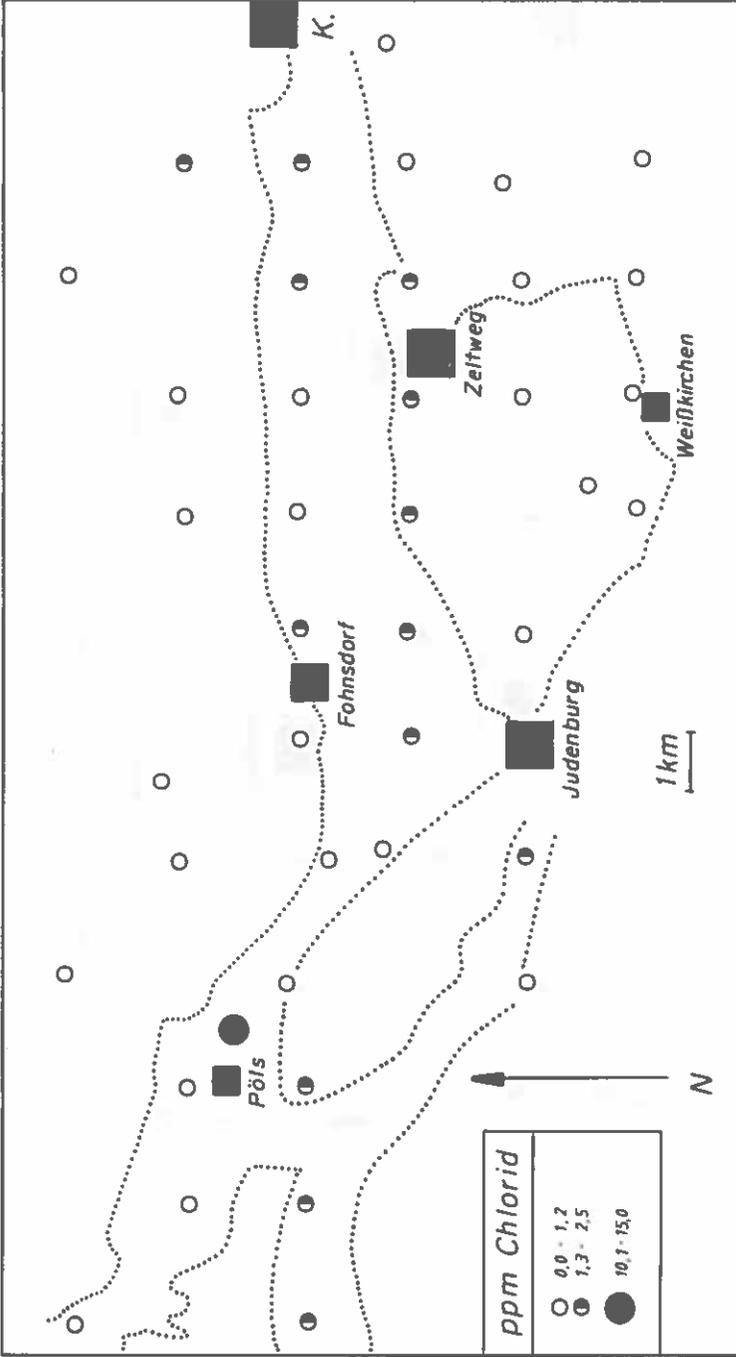


Abb.31: Chloridgehalte der Schneeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

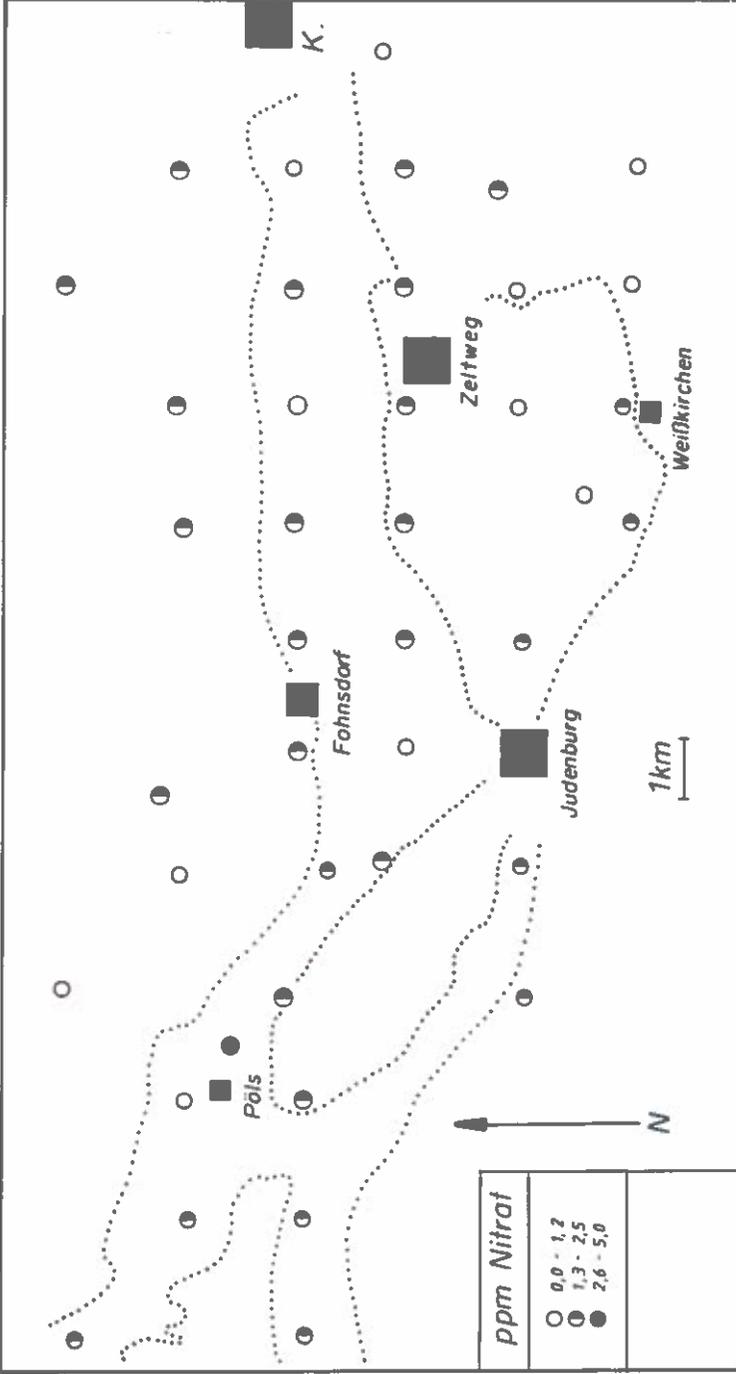


Abb.32: Nitratgehalte der Schneeeproben aus dem Raum Pöls - Aichfeld - Murboden

### 3.1.6. Gebiete des Tannen- und Kiefernsterbens in Niederösterreich (Tab.9-11, Abb.33-39)

#### 3.1.6.1. Wienerwald

An 20 Punkten im südlicheren Teil des Wienerwaldes wurden an zwei Terminen (siehe Abschnitt 2.3.1.6.) Proben genommen (Gesamt Schneeprofil). Zusätzlich wurde - entgegen der sonstigen Vorgangsweise bei der Probenahme - zusätzlich noch die Neuschneedecke für sich geworben und analysiert. Die gemittelten Resultate sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tab.9: Mittelwerte der Schneeprobenanalysen aus dem Wienerwald

Termin	El.LF	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	ppm SO <sub>4</sub>	ppm Cl	ppm NO <sub>3</sub>	% Freie Säure
1	26,9	4,33	4,45	2,9	1,3	3,6	31,6
2	43,6	4,27	4,29	7,0	4,2	4,3	21,8
2(Neuschnee)	58,1	3,93	- --	8,0	3,4	6,3	36,6

Die Mittelwerte beider Termine zeigen schon deutlich, daß - besonders zum zweiten Termin - auffallend hohe Ionengehalte gemessen wurden, wie sie nicht einmal im Inntal anzutreffen waren (vgl. Abschn.3.1.2.). Interessanterweise beinhaltet die Neuschneedecke am meisten Anionenverunreinigungen und äußerst hohe Gehalte an H<sup>+</sup>-Ionen (mittlerer pH-Wert: 3,91!).

Die Säuregrade waren erheblichen Schwankungen unterworfen, jedoch mit einer Ausnahme durchwegs erhöht: 32 von insgesamt 42 Einzelproben (Gesamtprofil der Schneedecke) waren um mehr als eine halbe Einheit abgesenkt, von diesen wiederum 26 um mehr als eine ganze Einheit. Der Gesamtdurchschnitt (pH<sub>1</sub> = 4,30) weist deutlich auf die Steigerung des Säuregrades hin, die auch dementsprechend stark im pH<sub>2</sub>-Wert - bei den vom CO<sub>2</sub> befreiten Proben - zum Ausdruck kam.

Sehr unterschiedliche Werte wurden auch bei den Anionen festgestellt. Dementsprechend schwankten auch die Anteile an "freier Säure" innerhalb weiter Grenzen (0,4 - 89,8%).

### 3.1.6.2. Wald- und Weinviertel

Die Stichprobenahme, die mit Ausnahme der Punkte Nr.5 - 11 in Gebieten des Kiefernsterbens erfolgte, wurde an 32 Punkten zu zwei Terminen durchgeführt.

Durch die kaum erhöhten Säuregehalte der Proben des ersten Probenmetages (Nr.1 - 11) - mittlerer  $pH_1$ -Wert 5,06 - und die ziemlich geringen Anionengehalte (max. 2,5ppm bei Leitfähigkeiten bis 12,1 $\mu$ S/cm) wiesen diese Proben relativ geringe Gehalte an "freier Säure" auf. Eine Rolle hierbei spielt wahrscheinlich auch der unmittelbar vor und während der Probenahme gefallene Neuschnee, der an den Probenahmepunkten außerhalb des Kiefernsterbensgebietes (Nr.5 - 11) mit gewonnen wurde.

Wesentlich stärker belastet waren hingegen die Schneeproben an den folgenden Punkten (Nr.12 - 32), die fast zwei Monate später genommen wurden. Die Leitfähigkeitswerte (Mittelwert 45,4 $\mu$ S/cm) waren meist sehr deutlich erhöht, was insbesondere durch die auffallend hohen Sulfatgehalte bedingt war (durchschnittlich 13,3ppm!). Zudem wurden hier auch die niedrigsten pH-Werte sämtlicher untersuchten Gebiete festgestellt: in 19 von 23 Fällen war die Wasserstoffionenkonzentration um mehr als das Zehnfache gegenüber der natürlichen Konzentration erhöht. Auch lagen sehr hohe Anteile an "freier Säure" vor.

### 3.1.6.3. Gesamtbeurteilung der Stichproben aus Niederösterreich

Die Probenahmeorte in Niederösterreich liegen nicht, wie die meisten der bisher geprüften, im unmittelbaren Einflußbereich von industriellen Emittenten. Es ist deshalb erstaunlich, daß die Niederschlagsproben gerade hier auffallend verschmutzt waren. Nicht nur die Anionengehalte waren deutlich erhöht, auch der Säuregrad (pH-Wert) wies mitunter beträchtliche Abweichungen von natürlichen Gehalten auf.

Damit kommt der Saure Niederschlag für diese Gebiete, in denen die Tanne und die Kiefer in zunehmendem Maße absterben, als weiterer potentiell schädigender Faktor in Frage.

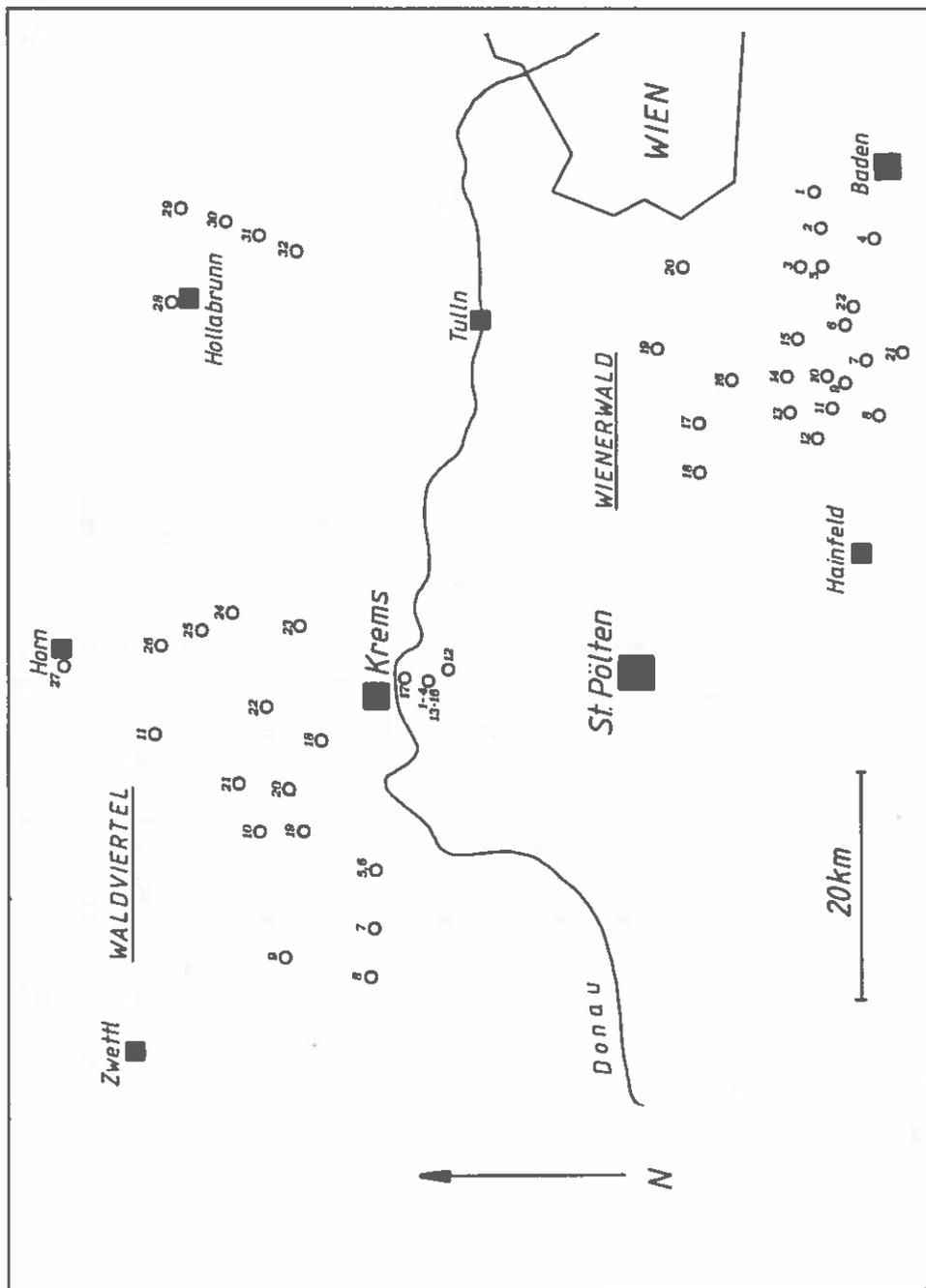


Abb.33: Lage der Schnee-Entnahmepunkte in den Gebieten des Tannen- und Kiefernstöberns in Niederösterreich

Tab.10: Ergebnisse der Schneeanalysen aus Gebieten des Tannensterbens (Wienerwald) an den Terminen 1 (18.12./19.12.1981) und 2 (28.1.1982)

Probe Nr.	Leitfähigkeit µS/cm		pH <sub>1</sub>		pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)		ppm- SO <sub>4</sub>		ppm Cl <sup>-</sup>		ppm NO <sub>3</sub>		%Freie Säure	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	41,0	41,5	3,70	4,40	3,88	4,40	4,5	6,9	1,4	3,0	5,4	5,8	89,8	12,2
2	50,0	43,0	5,25	4,50	6,90	4,58	3,9	6,7	5,8	3,0	5,4	4,5	1,7	10,6
3	35,5	31,5	3,80	4,67	3,90	4,76	5,0	9,7	0,1	1,0	4,7	4,3	85,9	7,1
4	56,3	40,8	4,75	4,42	4,78	4,45	1,9	7,8	5,9	4,8	4,8	4,7	6,2	10,1
5	36,7	31,8	5,43	4,28	6,65	4,28	7,0	7,1	3,4	1,9	4,6	4,1	1,2	19,4
6	27,4	29,0	4,35	4,37	4,43	4,36	3,2	5,6	0,6	2,3	4,5	3,8	28,3	17,4
7	27,5	27,6	4,30	4,16	4,41	4,16	3,7	4,9	0,4	0,6	4,8	3,1	30,0	40,6
8	31,7	43,0	4,17	3,91	4,20	3,91	3,9	4,9	1,2	0,7	4,7	4,2	35,1	64,3
9	25,2	32,0	4,20	4,03	4,35	4,03	3,8	5,7	1,5	0,5	3,1	3,4	36,5	49,3
10	21,1	44,5	4,35	3,86	4,40	3,86	1,6	5,9	0,5	0,6	3,8	4,2	40,7	65,9
11	28,7	21,4	4,11	4,32	4,23	4,45	3,4	3,9	0,0	0,6	4,1	2,7	56,2	33,5
12	15,7	27,0	4,43	4,53	4,65	4,45	2,7	5,3	0,5	0,8	2,4	3,2	33,8	15,9
13	21,4	34,1	4,64	4,07	4,60	4,07	2,6	5,1	0,0	1,1	3,1	3,7	21,8	42,8
14	13,2	29,0	4,63	4,88	4,63	5,02	2,1	6,3	0,0	2,0	2,0	4,3	30,6	5,1
15	17,0	31,0	4,95	4,83	5,27	4,95	0,2	7,2	0,7	3,3	2,5	4,0	17,3	4,8
16	18,2	54,0	4,72	3,95	4,80	3,95	1,8	9,6	1,6	2,8	2,2	5,5	16,0	30,3
17	16,3	100,0	4,55	4,25	4,68	4,25	0,8	10,7	0,5	19,5	2,3	5,5	41,2	6,5
18	13,9	98,0	4,60	4,15	4,65	4,15	1,0	10,2	1,1	18,1	2,0	5,8	29,6	8,6
19	18,5	37,0	4,58	4,25	4,70	4,25	2,3	6,7	0,3	3,0	2,5	4,2	27,0	19,1
20	23,1	109,0	5,30	4,73	6,40	4,75	3,5	14,3	1,2	20,6	2,4	9,2	3,4	1,9
21	-	34,8	-	5,95	-	7,05	-	8,4	-	0,9	-	4,1	-	0,4
22	-	18,4	-	4,88	-	4,95	-	1,9	-	0,4	-	3,2	-	12,8

Tab.11: Ergebnisse der Schneesanalysen aus Gebieten des Kiefernsterbens.

Proben Nr. 1-12: Probenahme am 15.12.1981

Proben Nr. 13-35: Probenahme am 5. 2.1982

Proben Nr. 5-12: Probenahmestellen außerhalb des Gebietes des Kiefernsterbens

Probe Nr.	Leitfähigkeit µS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%Freie Säure
1	21,8	4,76	4,90	2,3	1,0	2,9	14,0
2	15,5	4,85	4,95	0,6	1,7	2,1	14,9
3	13,5	5,12	5,40	0,7	1,5	2,0	8,4
4	12,1	4,86	5,00	0,5	1,2	2,0	17,9
5	8,5	5,00	5,10	0,2	0,9	1,0	23,4
6	12,3	4,93	5,00	2,7	1,5	1,5	9,5
7	7,6	5,15	5,65	0,0	0,9	1,0	18,3
8	4,2	5,40	6,50	0,0	0,3	1,0	18,5
9	9,0	5,65	6,88	0,0	0,8	2,4	3,6
10	23,4	6,25	7,65	2,5	0,9	1,1	0,6
11	11,7	5,10	5,30	1,0	0,5	1,0	16,5
12	25,7	4,16	4,14	6,0	1,3	2,1	35,1
13	22,1	4,35	4,25	5,9	1,1	1,5	24,9
14	33,0	3,97	4,02	8,2	1,3	2,2	43,7
15	35,9	3,73	3,73	8,2	1,3	2,3	75,5
16	52,0	3,67	3,67	11,9	1,5	3,7	60,6
17	50,8	3,65	3,67	11,9	1,6	4,1	61,8
18	21,6	4,00	4,18	4,4	0,8	2,1	67,0
19	30,2	3,80	4,15	6,3	1,1	2,7	76,4
20	30,0	4,10	4,20	7,1	2,2	2,3	37,9
21	98,0	3,45	3,46	24,7	2,0	4,3	55,0
22	22,5	4,45	4,56	7,9	1,1	2,1	15,3
23	21,8	4,96	5,10	7,4	1,0	2,5	4,9
24	30,1	4,12	4,16	8,7	0,8	3,4	29,1
25	26,0	4,10	4,22	6,2	1,3	2,8	37,3
26	39,6	3,90	4,02	8,6	2,3	6,1	36,5
27	45,0	3,90	4,03	12,9	1,7	3,2	33,9
28	77,8	5,48	6,57	35,1	2,1	7,8	0,4
29	60,0	3,85	4,00	20,2	1,0	3,2	28,0
30	42,0	4,35	4,42	17,2	0,7	4,2	9,9
31	37,9	5,75	6,95	16,5	1,1	3,6	0,4
32	56,8	4,73	4,86	24,9	2,2	6,2	2,7

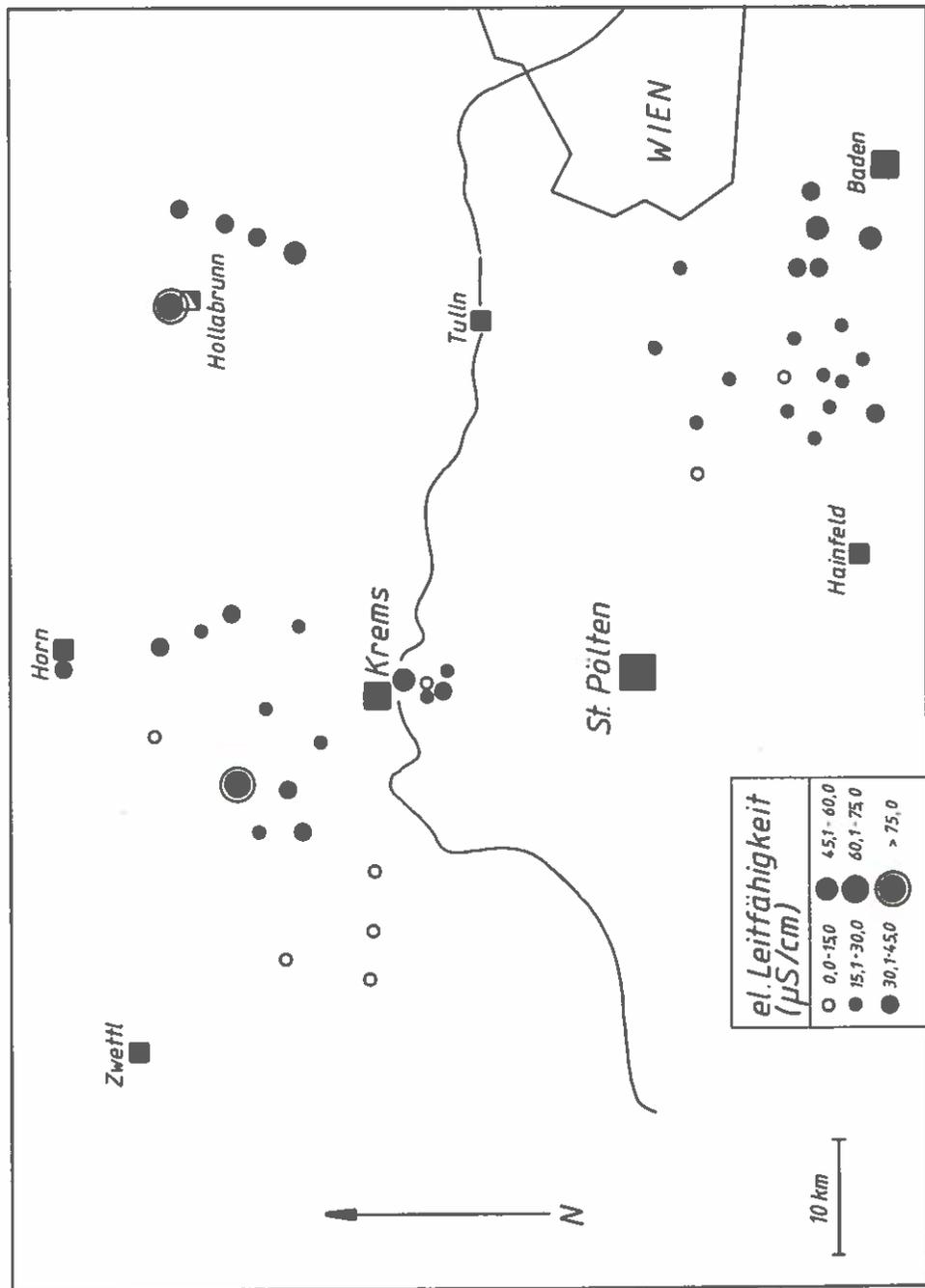


Abb. 34: Leitfähigkeitswerte der Schneeproben aus den Gebieten des Tannen und Kiefernstorbens

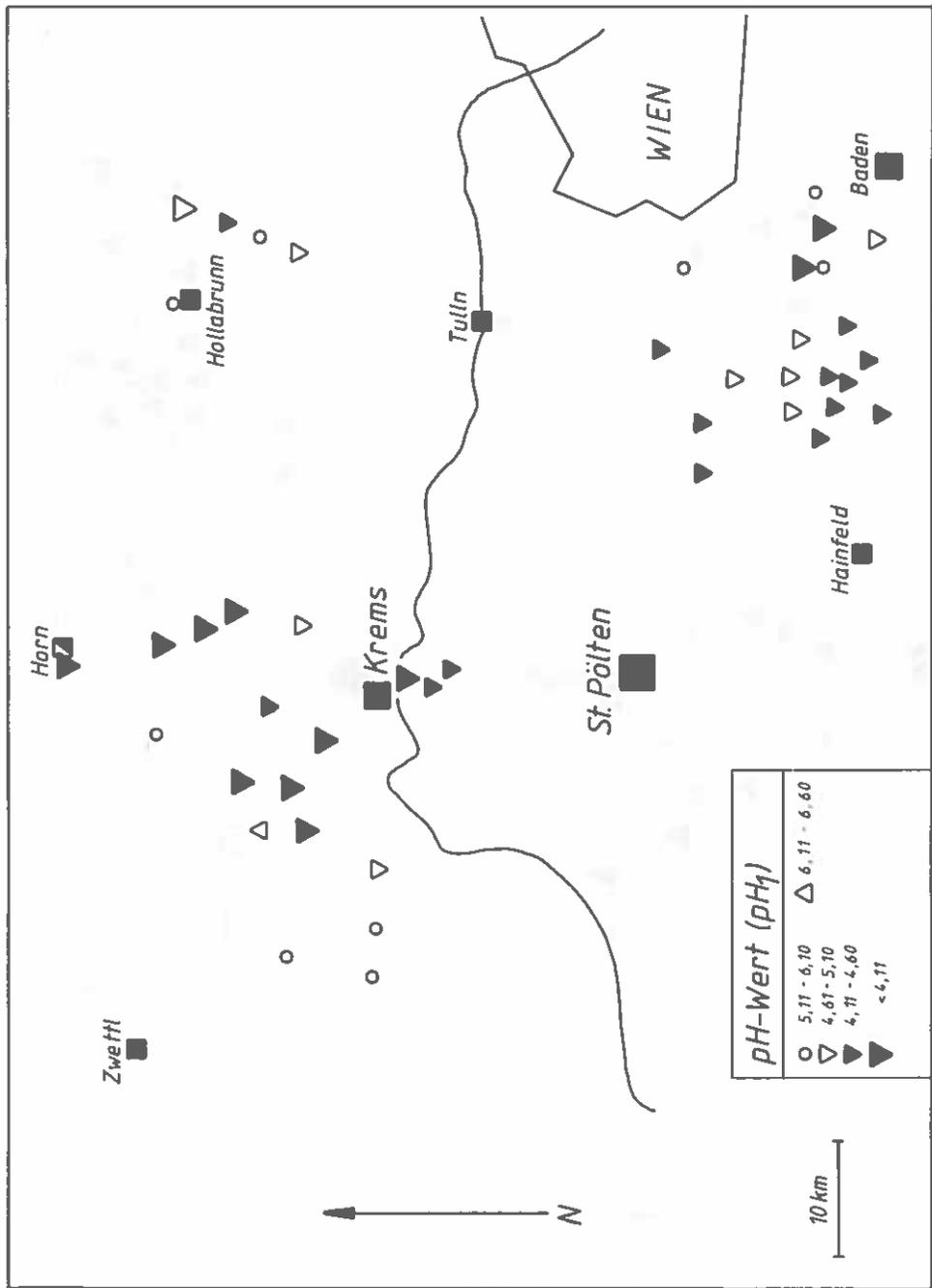


Abb.35: pH<sub>1</sub>-Werte der Schneeproben aus den Gebieten des Tannen- und Kiefernerbrenns in Niederösterreich

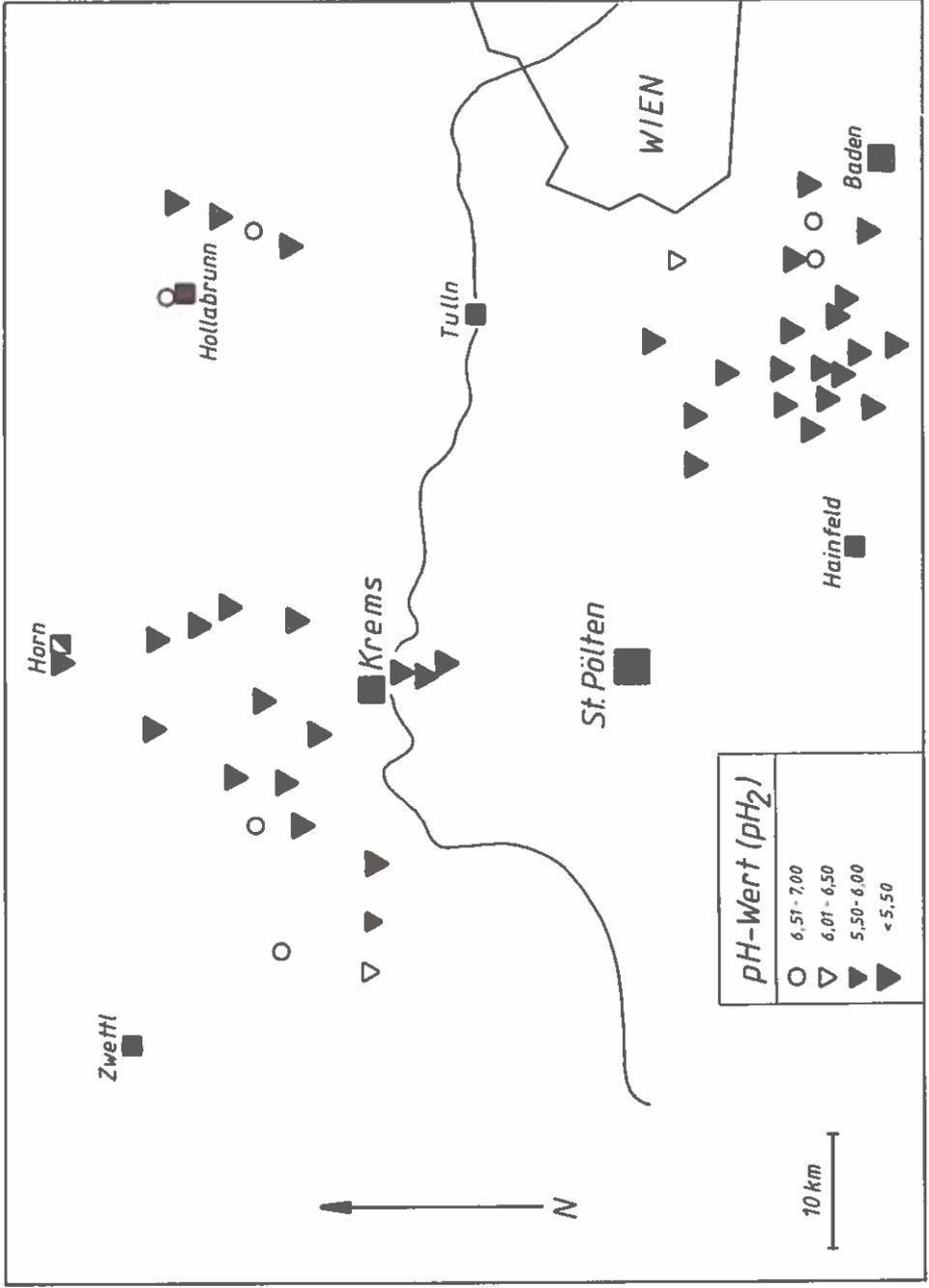


Abb.36: pH<sub>2</sub>-Werte der Schneesproben aus den Gebieten des Tannen- und Kiefernersterbens in Niederösterreich

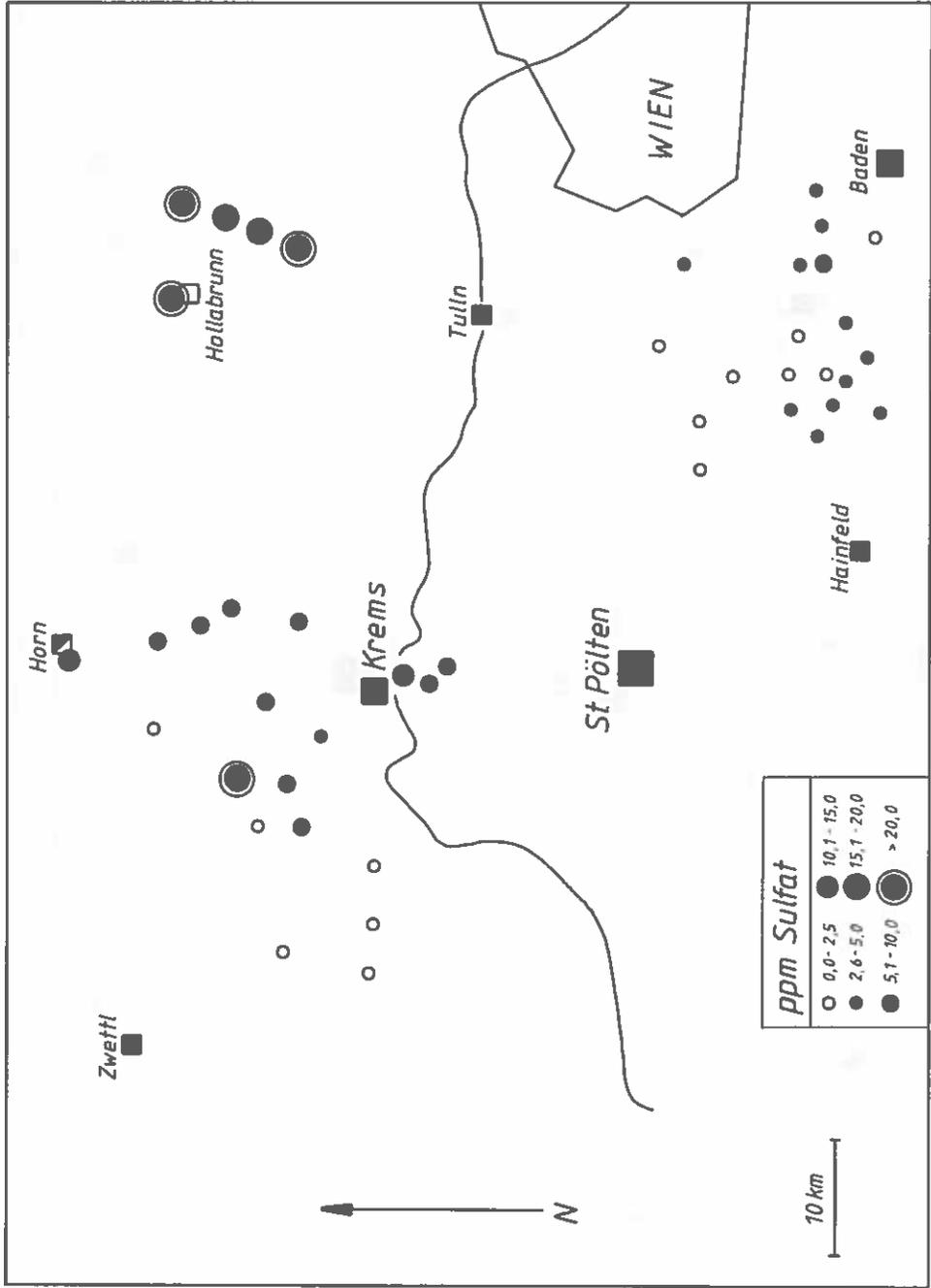


Abb.37: Sulfatgehalte der Schneeeproben aus den Gebieten des Tannen- und Kiefernerstbens in Niederösterreich

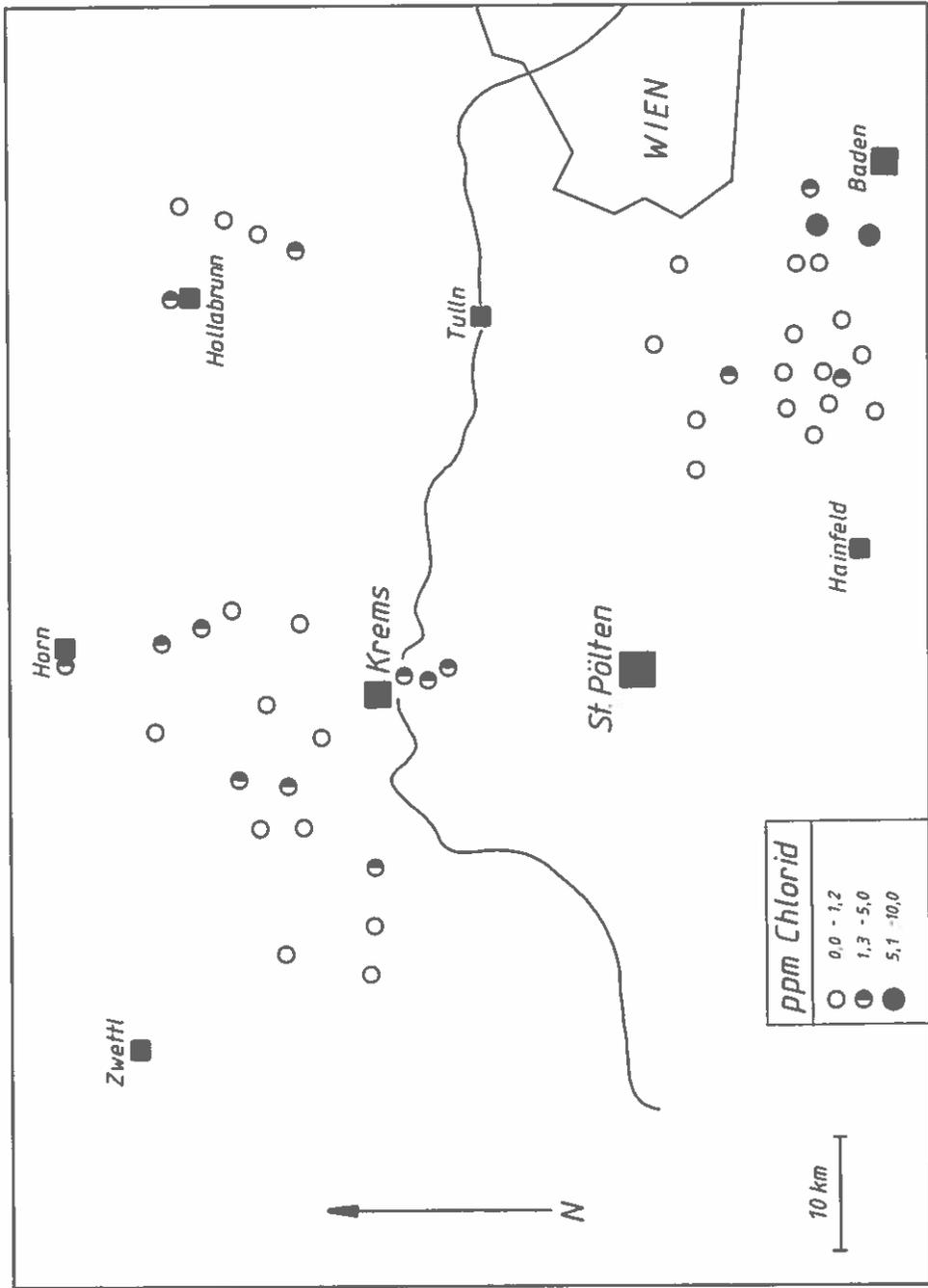


Abb. 38: Chloridgehalte der Schneeproben aus den Gebieten des Tannen- und Kiefernsterbens in Niederösterreich

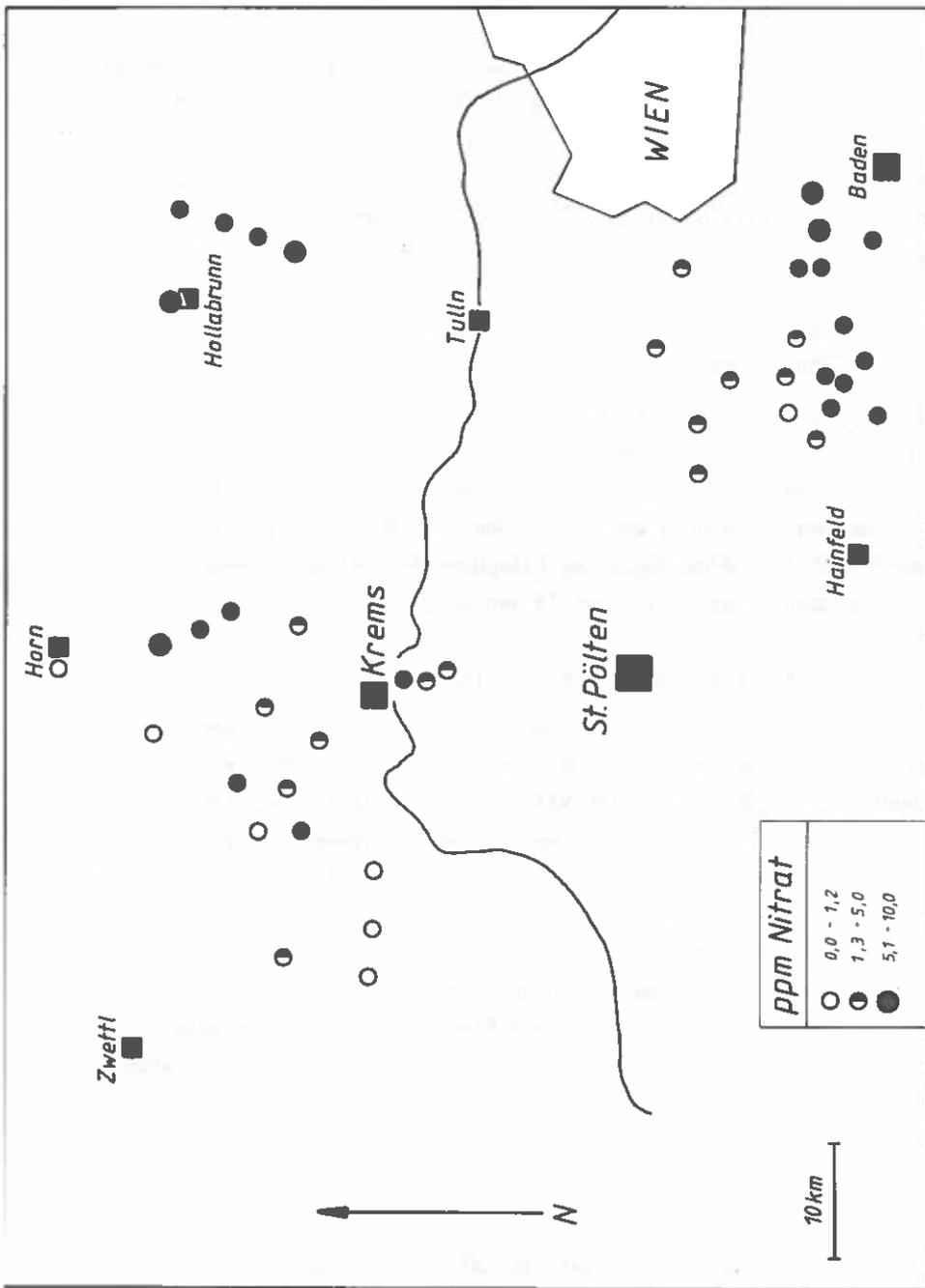


Abb.39: Nitratgehalte der Schneeproben aus den Gebieten des Tannen- und Kiefernsterbens in Niederösterreich

### 3.2. ERGEBNISSE DER REGENANALYSEN

Von den in den Sommermonaten 1981 gesammelten Regenproben wurden dieselben Meßgrößen wie bei den Schneeproben erhoben und deren Mittel- und Extremwerte in den Tabellen 9 - 11 wiedergegeben. Tab.12 zeigt in einer Gegenüberstellung mit den Schneeproben die jeweiligen Mittelwerte für alle Sammelstellen sowie die Prozentanteile jener Proben, die den natürlichen pH-Wert um 0,5 bzw. 1,0 Einheiten unterschritten haben.

#### 3.2.1. H a l l / T i r o l u n d P a t s c h e r k o f e l (Tab.9, Abb.40)

An den Sammelstellen Hall/T., Patscherkofel/Heiligwasser und Patscherkofel/Klimahaus (Regensammelunkte Nr.1 - 3) kam eine deutlich abnehmende Tendenz der gemessenen und gemittelten Anionen mit zunehmender Seehöhe und Entfernung zum Inntalboden zum Ausdruck. Diese Beobachtung deckt sich für beide Punkte am Patscherkofel mit den Ergebnissen der Schneeprobenanalysen (vgl. Abb.19 und 40).

#### 3.2.2. B r i x l e g g / T i r o l (Tab.10)

Die Ergebnisse aus den drei Sammelstellen in Brixlegg (Sammelunkte Nr.4 - 6) machten deutlich, daß der im Südwesten gelegene, werksnahe Punkt Nr.5 bezüglich elektrolytischer Leitfähigkeit und Ionengehalten am höchsten belastet war, während die beiden anderen annähernd gleiches Niveau zeigten, obwohl Punkt Nr.6 rund 1200m weiter vom Montanwerk entfernt war. Die pH-Werte an den werksnahen Punkten Nr.4 und 5 waren im Durchschnitt annähernd gleich und am Punkt Nr.6 etwas höher. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Schneeanalysen dieses Gebietes (siehe Abschn.3.1.1.) scheint auch hier eine durch die Hauptwindrichtung nach Südwesten bevorzugte Schadstoffausbreitung vorhanden zu sein.

#### 3.2.3. R a u m A l t e n m a r k t / T r i e s t i n g (N Ö.) (Tab.11)

Die Regenproben aus diesem Teil des Wienerwaldes erbrachten mit einer Ausnahme (Punkt.Nr.11, 1000m Seehöhe) im Durchschnitt stark abgesenkte

pH-Werte, wobei der Trend zur Abnahme in Richtung Norden ging; die elektrolytischen Leitfähigkeiten und Ionengehalte, von denen die Sulfatgehalte unerwartet hoch lagen, zeigten keine deutliche richtungsabhängige Tendenz.

Tab.12: Mittel- und Extremwerte der Regenanalysen aus Hall/T. und vom Patscherkofel

Sammlpkt.Nr.	Hall/Tirol (1)			Patscherkofel/ Heiligwasser (2)			Patscherkofel/ Klimahaus (3)		
	$\bar{x}$	min.	max.	$\bar{x}$	min.	max.	$\bar{x}$	min.	max.
pH <sub>1</sub>	5,40	4,55	6,40	5,28	4,85	5,95	5,23	4,90	5,95
pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	5,81	4,80	7,50	5,63	5,55	7,00	5,70	4,95	7,10
Leitfähigkeit	51,7	24,0	115	29,4	6,4	58,2	28,6	5,0	43,5
ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7,8	2,0	20,0	6,2	2,0	20,6	5,4	0,4	10,5
ppm Cl <sup>-</sup>	1,9	0,0	4,3	1,8	0,0	5,0	1,9	0,0	4,5
ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,6	1,0	2,2	1,6	1,0	2,4	1,0	1,0	1,7
%Freie Säure	5,3	0,7	14,1	3,6	0,9	7,0	0,5	0,1	1,2
							6		5

Tab.13: Mittel- und Extremwerte der Regenanalysen aus Brixlegg/Tirol

Sammelpkt. Nr.	4			5			6			
	$\bar{x}$	min.	max.	$\bar{x}$	min.	max.	$\bar{x}$	min.	max.	n
pH <sub>1</sub>	4,39	3,90	5,40	4,26	3,80	7,00	4,44	3,90	6,10	10
pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	4,55	4,10	6,25	4,42	3,95	7,85	4,59	4,05	7,45	10
Leitfähigkeit	32,9	14,9	43,0	51,5	11,1	109	33,8	7,0	50,0	10
ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	11,0	6,1	28,4	14,9	3,7	32,6	8,3	0,9	17,4	9
ppm Cl <sup>-</sup>	0,6	0,0	1,5	0,8	0,0	1,8	0,8	0,0	2,5	10
ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3,0	1,1	6,0	3,2	1,0	6,8	3,3	1,3	6,7	9
%Freie Säure	14,1	0,6	36,1	16,6	0,0	53,3	16,9	0,3	62,7	9

Tab.14: Mittel- und Extremwerte der Regenanalysen aus dem Raum Altenmarkt/Triesting

Sammelpkt. Nr.	Kleinmariazell (7)		Kleinmariazell (8)		Thenneberg (9)		Hocheck (10)		Hocheck (11)	
	$\bar{x}$	min. max.	$\bar{x}$	min. max.	$\bar{x}$	min. max.	$\bar{x}$	min. max.	$\bar{x}$	min. max.
pH <sub>1</sub>	3,82	3,70 4,50	4,48	3,80 5,95	4,26	3,90 5,85	4,52	4,00 6,10	4,43	4,10 6,10
pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	4,05	3,85 4,60	4,59	3,95 7,45	4,40	4,05 7,30	4,72	4,20 7,40	4,64	4,25 7,50
Leitfähigkeit	26,2	16,2 41,0	34,4	12,5 86,0	28,8	18,2 43,9	31,2	13,0 47,3	26,7	13,3 41,5
ppm SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	6,1	5,4 8,8	4,7	1,1 7,5	5,4	4,0 7,6	7,2	4,2 9,1	8,0	3,2 14,2
ppm Cl <sup>-</sup>	1,5	0,0 5,7	0,4	0,0 1,5	0,5	0,0 1,6	0,6	0,0 1,6	0,8	0,0 2,5
ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,9	1,4 2,6	1,4	1,0 2,3	2,0	1,0 3,0	3,8	1,5 7,5	2,4	1,3 1,5
%Freie Säure	62,6	19,8 100,0	28,0	1,0 100,0	43,6	0,7 100,0	8,3	0,4 23,3	8,6	0,3 40,7

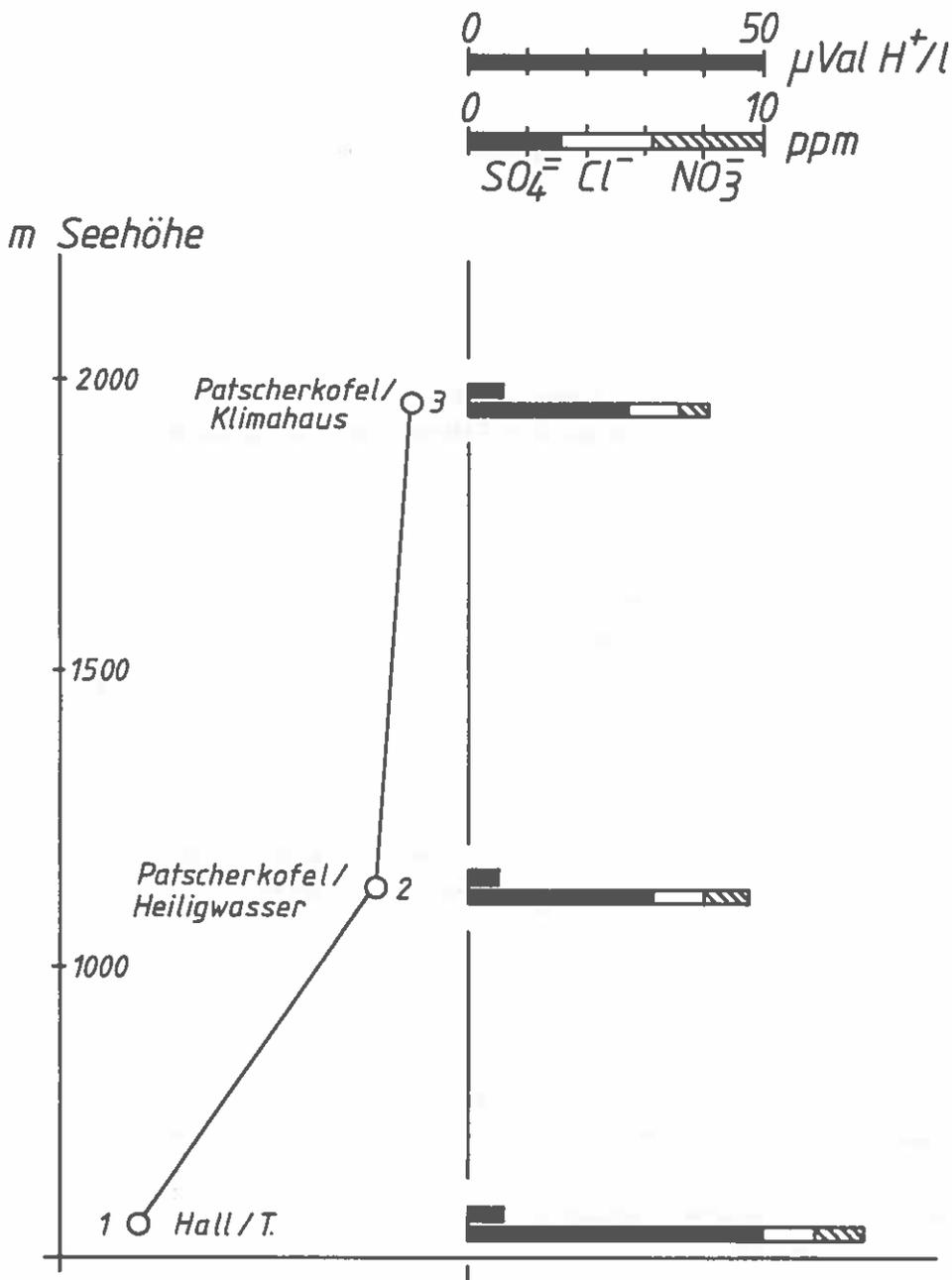


Abb.40: Mittlere  $H^+$ -Konzentrationen (abgeleitet vom  $pH_1$ -Wert), Sulfat-, Chlorid- und Nitratkonzentrationen der Regenproben aus dem Bereich des Patscherkofel

## 4. B E S P R E C H U N G D E R E R G E B N I S S E

### 4.1. GESAMTERGEBNIS

Die Analysen der Schnee- und Regenproben haben gezeigt, daß Saure Niederschläge auch in Österreich auftreten, sowohl in Immissionsgebieten als auch in Gegenden ohne unmittelbaren Immissionseinfluß. Die zur Charakterisierung dieser Niederschläge herangezogenen Parameter sowie ihre Mittelwerte für die einzelnen Untersuchungsgebiete sind in Tabelle 15 zusammengestellt.

Zusammenfassend können die Ergebnisse folgendermaßen kurz umrissen werden (detailliertere Angaben über Extremwerte sind im Abschnitt 4.2.2. angeführt):

- besonders hohe Ionengehalte kamen in Schneeproben aus Niederösterreich und den Niederschlagsproben aus dem Inntal (speziell in denen aus Brixlegg/Tirol) vor; sehr oft waren starke Verunreinigungen mit "normalen" pH-Werten gekoppelt;
- pH-Wert-Absenkungen waren in Proben aller Untersuchungsgebiete nachzuweisen. Auffallend waren sie im niederösterreichischen Raum. In den vom CO<sub>2</sub> befreiten Proben kam die Absenkung noch krasser zum Ausdruck;
- pH-Wert-Absenkungen wurden auch in Proben mit besonders geringem Elektrolytgehalt gefunden, z.B. in den Proben vom Patscherkofel und dem Achental/Tirol.

### 4.2. BEWERTUNG DER METHODIK

Bei der Beurteilung der Ergebnisse ist davon auszugehen, daß die Regen- und Schneeanalysen wegen des grundsätzlich verschiedenen Probenahmemodus nicht direkt miteinander vergleichbar sind. Bei Schnee ist eine Vergleichbarkeit auch nur dann gegeben, wenn die Proben aus einer einheitlichen Scheedecke gewonnen wurden. Dies tritt zwangsläufig nur für einen relativ kleinen Raum zu.

Darüber hinaus ist in Betracht zu ziehen, daß die Luftverunreinigungen durch Schnee in ganz anderer Weise (hauptsächlich durch Adsorption)

Tab.15: Mittelwerte der Analysenergebnisse der Schnee- und Regenproben

Untersuchungsgebiet (Zahl der Probe- nahmepunkte)	Leit- fähigkeit µS/cm	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub> (CO <sub>2</sub> -frei)	ppm- SO <sub>4</sub>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	%Freie Säure	Prozentanteil der pH- Unterschreitung über 0,5 Über 1,0
Brixlegg/Tirol (30)	34,8	5,12	5,35	5,3	6,9	2,5	5,3	20
Patscherkofel/T. (6)	9,6	4,80	4,91	0,8	0,9	1,6	26,3	100
Inntalboden/T. (14)	30,6	5,08	5,23	5,1	4,8	2,2	5,2	28
Achental/T. (17)	13,0	4,47	4,77	1,2	1,2	1,8	50,0	100
Hochfilzen/T. (17)	18,4	4,41	4,50	2,8	1,3	2,6	31,2	88
Mürzthal/MurtaI/Stmk. (15)	19,3	4,85	4,94	1,7	3,0	1,7	11,0	80
Pöls-Aichfeld/Stmk. (41)	17,5	4,71	4,78	3,1	1,5	1,7	27,3	85
Wienerwald/NÖ. (22)	35,6	4,50	4,66	5,0	2,8	2,8	26,5	90
Wald-,Weinviertel/NÖ.(32)	33,4	4,14	4,21	8,5	1,3	2,8	27,4	75
Hall/Tirol (1)	51,7	5,40	5,81	7,8	1,9	1,6	5,3	9
Patscherkofel/T. (2)	29,0	5,26	5,67	5,8	1,9	1,3	2,2	27
Brixlegg/Tirol (3)	39,2	4,36	4,51	11,4	0,7	3,2	15,9	61
Altenmarkt/NÖ. (5)	29,7	4,21	4,41	6,3	0,7	2,4	18,4	66

Schnee-  
proben

Regen-  
proben

aus der Atmosphäre entfernt werden als durch Regen (der absorbierend und suspendierend wirkt). Mit diesen Aspekten stehen noch zwei weitere, jahreszeitlich bedingte Voraussetzungen in Zusammenhang: einmal die unterschiedliche Emissionssituation (verstärkte Emissionen während der Heizperiode), zum anderen die physiologische Aktivität der forstlichen Vegetation und damit ihre Empfindlichkeit gegenüber Immissionen.

#### 4.2.1. P r o b e n a h m e n

##### Schneeprobenahmen

Bei relativ geringem Probenahmeaufwand läßt sich bei systematischer Wahl der Probenahmepunkte auf relativ kleinem Raum (Rasteranordnung) ein gutes Bild von der Verteilung bestimmter Komponenten erhalten. Eine derartige Fallstudie ist deshalb als zusätzlicher Weg denkbar, um mit anderen Methoden getroffene kleinräumige Zonierungen zu stützen.

Einzelstichproben auf größerem Raum, wie sie z.B. in Niederösterreich durchgeführt wurden, haben hingegen lediglich orientierenden Charakter.

##### Regenprobenahmen

Bei den kontinuierlichen Regenprobenahmen muß man sich aus arbeitsökonomischen Überlegungen auf eine kleinere Zahl sorgfältig ausgewählter Standorte beschränken. Eine solche Auswahl ist von der jeweiligen Fragestellung abhängig. Im Gegensatz zu den Stichproben aus einer Schneedecke liefert eine kontinuierliche Probenahme fallender Niederschläge repräsentativere Daten für den betreffenden Aufstellungs-ort.

#### 4.2.2. A n a l y t i k

##### pH-Werte (aktuelle Azidität)

Die Bedeutung Saurer Niederschläge für Österreich zeigt sich bereits in der Tatsache, daß 86% aller gewonnenen Niederschlagsproben pH<sub>1</sub>-Werte aufwiesen, die den "natürlichen" Wert (5,6) um mehr als eine halbe

Einheit unterschritten. Dies entspricht einer Erhöhung der  $H^+$ -Konzentration um mindestens das 5,7-fache. Demgegenüber wurden pH-Erhöhungen um diesen Betrag nur in 2% der Proben gemessen. Die Gesamtspannweite der Einzel-pH<sub>1</sub>-Werte umfaßte Säuregrade zwischen einem Zehntel und fast dem Hundertfachen der "natürlichen"  $H^+$ -Konzentration; noch größer war die Variationsbreite bei den pH<sub>2</sub>-Werten:

	Schneeproben (Probenahmegebiet)	Regenproben (Sammelpunkt Nr.)
pH <sub>1</sub> (min.)	3,45 (Wald- u. Weinviertel)	3,70 (7)
(max.)	6,20 (Inntal)	7,00 (5)
pH <sub>2</sub> (min.)	3,46 (Wald- u. Weinviertel)	3,85 (7)
(max.)	7,60 (Mürz-/MurtaI)	7,85 (5)

Die Gesamtspannweite der Mittelwerte aus den einzelnen Untersuchungsgebieten betrug 4,1 bis 5,1 (Schneeproben) bzw. 4,2 bis 5,4 (Regenproben).

Zur Bewertung der Proben werden verschiedene Klassen angegeben, wobei von den natürlichen pH-Werten (pH<sub>1</sub>: 5,6; pH<sub>2</sub>: 7,0) ausgegangen wurde:

pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	
6,11-6,50	7,51-8,00	(schwach) erhöht
5,11-6,10	6,51-7,50	normal
4,61-5,10	6,01-6,50	(schwach) erniedrigt
4,11-4,60	5,51-6,00	deutlich erniedrigt
unter 4,11	unter 5,51	stark erniedrigt

### Elektrolytische Leitfähigkeit

Den einzelnen Tabellen der Analysenergebnisse ist zu entnehmen, daß in den Niederschlägen normalerweise mit Leitfähigkeiten zwischen 10 und 80  $\mu S/cm$  zu rechnen ist. Nur wenige Proben näherten sich dem Wert des destillierten Wassers (Minimum: 4,2  $\mu S/cm$ ; dest. Wasser: 0-1  $\mu S/cm$ ). Der besonders hohe Wert von 150  $\mu S/cm$  wurde nur einmal (in einer besonders verschmutzten Schneeprobe aus dem Aichfeld/Stmk.) gemessen. Werte über 100  $\mu S/cm$  weisen meist auf Kontaminationen hin, die für die betreffende

Probenahmestelle nicht mehr repräsentativ sind (z.B. Vogelexkreme, Pflanzenteile, Streusalz etc.). Zum Vergleich: der Wert von Leitungswasser liegt in der Größenordnung von 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Auf Grund der vorliegenden Analysen wurden die Leitfähigkeitswerte der Niederschlagsanalysen wie folgt klassifiziert:

0,0 - 15,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	unbedeutend
15,1 - 30,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	schwach erhöht
30,1 - 45,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	deutlich erhöht
45,1 - 60,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	stark erhöht
über 60,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$	sehr stark erhöht

### Ionengehalte

In kausalem Zusammenhang mit den Leitfähigkeitswerten stehen die Ionengehalte, die in einzelnen Fällen unterhalb der Nachweisgrenze der angewandten Analysenmethoden lagen. Als Maximalwerte wurden gemessen:

	Schneeproben (Probenahmegebiet)	Regenproben (Sammelpunkt Nr.)
ppm Sulfat	26,5 (Brixlegg)	32,6 (5)
ppm Chlorid	35,6 (Brixlegg)	5,7 (7)
ppm Nitrat	7,8 (Wald-u.Wein- viertel)	6,8 (5)

Wie aus den Mittelwerten der Probenahmegebiete (Tab.12) ersichtlich ist, dominierte in der überwiegenden Zahl der Untersuchungsgebiete die Sulfatkonzentration. Nur in den Schneeproben in Brixlegg/Tirol und im Müritzal/Murtal waren die Chloridgehalte am höchsten, die Nitratgehalte hingegen am Patscherkofel und im Achantal.

Eine Klassifizierung der Anionenkonzentrationen könnte etwa lauten:

bis 2,5 ppm	niedrig
2,6 - 5,0 ppm	erhöht
5,1 -10,0 ppm	stark erhöht
über 10,0 ppm	sehr stark erhöht

Von den geprüften Ionen kommt der Analyse des Sulfates fraglos vorrangige Bedeutung zu. Schließlich ist sein Auftreten im Niederschlag auf den bedeutsamsten Schadstoff, das  $\text{SO}_2$ , zurückzuführen. Den zweiten Rang nimmt das Nitrat ein, dessen Ursprung die Stickstoffoxide sind. Bei diesen beiden Ionen - und bis zu einem gewissen Grade auch beim Chlorid - ist jedenfalls auch ein weiträumiger Transport möglich. Das bedeutet auch, daß diese Anionen etwa im Gegensatz zum Calcium und den Schwermetallen bereits erheblich zur Vorbelastung der Wolken beitragen können.

#### Gehalt an "freier Säure"

Der Gehalt an sauren Anionen, der in der  $\text{H}^+$ -Form vorliegt, zeigt indirekt und zusammen mit der elektrolytischen Leitfähigkeit sehr anschaulich den Einfluß neutralisierender Ionen an:

In den stark staubbelasteten Regionen (etwa des Inntales und des Mürz- und Murtales) war der Gehalt an "freier Säure" im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgebieten auffallend gering (Minimum: 0,1%). Dagegen ergaben industrieferne Punkte (besonders in großer Seehöhe) im allgemeinen hohe Werte (bis 100%). In Schneeproben konnte in zunehmender Entfernung vom Innsbrucker Raum und mit zunehmender Seehöhe eine Erhöhung der Werte festgestellt werden.

#### 4.3. D i s k u s s i o n

Im Rahmen der vorliegenden Erhebungen konnte gezeigt werden, in welchem Ausmaß in einigen Gebieten Österreichs Niederschläge verunreinigt sein können. Qualität und Quantität der Verunreinigungen lassen auf Grund der vorwiegend sauren Komponenten eine Reihe von nachteiligen Wirkungen erwarten.

Daß es gerade die s a u r e n Niederschläge sind, denen in der Literatur in Hinblick auf Waldschädigungen Aufmerksamkeit geschenkt wird, ist u.a. dadurch begründet, daß erhöhte  $\text{H}^+$ -Konzentrationen ein erhöhtes Ab- und Auswaschvermögen auf Blattorganen wie auch im Boden besitzen. Es darf aber nicht vergessen werden, daß die Niederschläge (besonders die in "Background-Gebieten") vielfach einen so geringen Elektrolytgehalt aufweisen, daß eine Abpufferung auf den betroffenen

Oberflächen schnell eintreten kann. Es kommt also auch der Niederschlagsmenge, der Frequenz und der Dauer der Niederschlagsereignisse und der jeweils herrschenden (löslichkeitsbeeinflussenden) Temperatur eine Bedeutung zu.

**A l k a l i s c h e** Niederschläge weisen darauf hin, daß überwiegende Anteile an puffernden Komponenten wie etwa Calcium, Magnesium oder Ammoniak gelöst wurden, die in vielen Fällen aus dem (Grob-) Staub stammen. Obwohl alkalische Niederschläge zeitweise oder örtlich einen gewissen Ausgleich zu den Sauren Niederschlägen darstellen, kann ihnen a priori keine positive Wirkung zugeschrieben werden, obwohl auch hier Düngungseffekte denkbar sind. Im Rahmen dieser Erhebungen kamen neutrale oder alkalische Proben offensichtlich durch Staub aus nahegelegenen Quellen zustande. In Proben aus Reinluft- bzw. staubfreien Gebieten wurden die sauren Komponenten hingegen nicht oder nur in geringem Umfange neutralisiert.

Gerade weil Niederschlagsanalysen mitunter sehr unerwartete Ergebnisse geliefert haben, muß auch in vermeintlichen Reinluftgebieten mit merklichen Einwirkungen durch Niederschläge gerechnet werden. Welchen Ursprungs die Schadstoffe sind, kann aber nur eine umfangreiche

## 5. Z U S A M M E N F A S S U N G

In Gebieten mit und ohne unmittelbarem Einfluß von industriellen Immissionen wurden im Winter 1981/82 stichprobenartig Schneeproben und während der Sommermonate 1981 wöchentlich Regenproben gesammelt. Sie wurden auf elektrolytische Leitfähigkeit, pH-Wert (mit und ohne  $\text{CO}_2$ ), Sulfat, Chlorid und Nitrat untersucht. Fallweise erfolgten Analysen auf Calcium, Magnesium und Zink. Der Anteil an "freier Säure" wurde aus den Anionengehalten und den jeweiligen pH-Werten rechnerisch ermittelt.

In den meisten Untersuchungsgebieten dominierten - besonders in den

## Summary

Snow samplings have been carried out during Winter 1981/82 and rain samples have been collected weekly during Summer 1981 in areas with and without direct effect of industrial immission.

The samples have been analysed to determine electrolytic conductivity, pH-value (with and without  $\text{CO}_2$ ), sulfate, chloride and nitrate. Calcium, magnesium and zinc have casually been evaluated. The share of "free acid" have been find out mathematically on the basis of anion content and according to the pH-value.

pH-lowerings have dominated at most investigated sites, specially in snow samples.

Samples with "natural pH-value", showed often comparatively high conductivities, indicating a considerably share of neutralising ions.

At higher elevations like Patscherkofel, Achental/Tirol, Hochfilzen/Tirol and partly in Aichfeld/Stmk., distinctly lower pH values have been measured in spite of very low content of anions.

Remarkable are samples from lower Austria, having been hold for air pollution-free region, at least at the sample points. Here exceeds the extent of pollution in the samples those of immission areas.

Due to these first instructing studies, the damaging effect of acid precipitation is assumed to be of considerable importance for the whole federal territory of Austria. The decline of pine and fir is therefor supposed to be probably effected by the pollution.

## Résumé

Des échantillons de pluie ont été pris dans des régions sous l'influence directe ou non d'immissions industrielles - au hasard en hiver 1981/82 et chaque semaine dans les mois d'été 1982. On a examiné leur conductivité électrolytique ainsi que la valeur pH (avec et sans  $\text{CO}_2$ ), leur teneur en sulfate, en chlorure et en nitrate. Dans certains cas des analyses de leur teneur en calcium, magnésium et zinc ont été faites. La part d'"acide libre" a été trouvée par des calculs à partir des teneurs en anions et des valeurs pH respectives.

Dans la plupart des régions examinées on a pu constater une diminution de la valeur pH, surtout dans les échantillons de neige. Par contre, les échantillons avec une valeur pH "normale" montraient souvent une conductivité relativement élevée; on peut en conclure à une teneur élevée en ions neutralisants.

Dans des régions plus hautes, comme au Patscherkofel et dans le Achental/Tyrol, mais aussi à Hochfilzen/Tyrol et en partie dans le Aichfeld/Styrie, on a mesuré des valeurs pH très diminuées en dépit d'une teneur très basse en anions. Ceci s'explique surtout par le manque d'ions tampon.

Les échantillons pris en Basse-Autriche sont particulièrement remarquables, car l'air de cette région passe pour non polluée - au moins là où on a pris les échantillons. On y a trouvé une pollution qui dépassait encore celle des régions sous l'influence directe d'immissions.

De ces premières recherches faites pour orientation on peut conclure que l'effet nuisible des précipitations acides pourrait être d'une importance considérable pour le terrain d'Autriche. Il paraît donc qu'elles sont également coupables du dépérissement p. ex. des sapins et des pins.

## 6. L I T E R A T U R

- ABRAHAMSEN, G., 1980: Acid Precipitation, Plant Nutrients and Forest Growth.- Proc. Intern. Conf. on Ecological Impacts of Acid Precipitation, Sandefjord, Norway, pp. 58-63.
- Amt der Niederösterreichischen Landesregierung/Forschungsinstitut für Energie- und Umweltplanung 1981: Emissionskataster Niederösterreich.
- BROWN, R.T., 1974: Furnace Fuel, Air Pollution Accumulated in Snow and Lichen Growth on Trees.- Michigan Academician 7, 149-156.
- BROWN, R.T., 1974: Snow as an Accumulator of Air Pollutants.- Proc. 1st Int.Symp.Acid Precipitation and Forest Ecosystem, 963-967.
- COWLING, E.B., 1980: An Historical Resume of Progress in Scientific and Public Understanding of Acid Precipitation and its Biological Consequences.- Research Report SNSF-Project, Norway, FR 18/80, 29pp.
- DELMAS, R.J., ARISTARAIN, A., LEGRAND, M., 1980: Acidity of Antarctic Snow: A Natural Reference Level for Acid Rains.- In: Ecological Impact of Acid Precipitation (Ed.: D.DRABLÓS u. A.TOLLAN), SNSF-Project "Acid Precipitation - Effects on Forests and Fish".
- GEORGII, H.W., 1981: Die lokale und regionale Immissionsbelastung der Troposphäre.- Ber. Bundesges. Phys.Chem. 82, 1185-1188.
- GONTER, K.H., KNABE, W., 1976: Messung der Schwefel- und Säureniederschläge im Ruhrgebiet in der Zeit von Juli 1973 bis März 1975.- Schriftenreihe der Landesanst. f. Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Essen 39, 37-44.
- HALES, S., 1727: Vegetable Staticks.- Woodward and Peele, London, 376 pp.

- KAYSER, K., JESSEL, U., KÖHLER, A., RÖNICKE, G., 1974: Die pH-Werte des Niederschlages in der Bundesrepublik Deutschland 1967-1972.- Deutsche Forschungsgemeinschaft, Mitt. IX der Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung. Boppard: Harald Boldt Verlag.
- KLOCKOW, D., DENZINGER, H., RÖNICKE, G., 1978: Zum Zusammenhang zwischen pH-Wert und Elektrolytenzusammensetzung von Niederschlägen.- VDI-Berichte Nr. 314.
- LINKENS, G.E., 1976: Acid Precipitation.- Chem.Eng.News 54, 29-44.
- MALISSA, H., PUXBAUM, H., WOPENKA, B., 1980: Zur chemischen Zusammensetzung von urbanen Niederschlägen.- Fresenius Z.Anal.Chem. 301, 279-286.
- MAYER, R., 1978: Nasse und trockene Deposition von Schwefelverbindungen auf industrieferne Wälder und ihre Wirkung auf den Boden.- VDI-Berichte Nr. 314.
- MILLER, P.R., (Ed.), 1980: Effects of Air Pollutants on Mediterrean and Temperate Forest Ecosystems.- Symp. June 22-27, Riverside, California.
- NÄSSER, K.H. 1974: Physikalische Chemie für Techniker und Ingenieure.- VEB Deutscher Verlag Grundstoffindustrie.
- The OECD-Programme on Long Range Transport of Air Pollutants - Measurements and Findings.- OECD 1979.
- Österreichisches Bundesinstitut für Gesundheitswesen 1978: Umweltbestandsaufnahme durch Fernerkundung und Bodenmessung, 103 Seiten.
- OVERREIN, L.N., SEIP, H.M., TOLLAN, A., (Ed.), 1980: Acid Precipitation - Effects on Forest and Fish.- Final Report on the SNSF-Project 1972-1980.
- RABER, H., LIKUSSAR, W., GRILL, D., 1976: Eine spektrophotometrische Schnellmethode zur Bestimmung von Schwefel in Pflanzenmaterial.- Int.J. Environ. Anal.Chem. 4, 251-255.

- REHFUESS, K.E., 1981: Über die Wirkungen der sauren Niederschläge in Waldökosystemen.- Forstwiss. CBl. Hamburg 100, 363-381.
- SCHRIMPF, E., 1980: Zur zeitlichen und räumlichen Belastung des Fichtelgebirges mit Spurenmetallen: Analysen von Baumringabschnitten und von Schnee.- Natur und Landschaft 55, 460-462.
- SEUFERT, G., 1981: Saure Niederschläge und ihre Wirkung auf Ökosysteme.- Diplomarbeit der Universität Hohenheim, DDR.
- 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 Universität f. Bodenkultur.
- SMITH, R.A., 1872: Air and Rain: The Beginnings of Chemical Climatology.- Longmans, Green, London, 600 pp.
- SMITH, R.A., 1852: On the Air and Rain of Manchester.- Mem. Lit.Phil. Soc.Manchester, Series 2, 10, 207-217.
- SMITH, W.H., 1981: Air Pollution and Forests.- Springer Verlag. New York.
- SONDEREGGER, E., 1982: Bodenschädigung durch Sauren Stammablauf in Buchenbeständen der Flyschzone.- Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur.
- STEFAN, K., POLLANSCHÖTZ, J., 1967: Entstehung und Entwicklung eines Rauchschaadensgebietes in der Umgebung eines Magnesitwerkes.- Allg. Forstzeit. 78, Folge 3.
- TOMICZEK, C., 1982: Ursachen des Kiefernsterbens in Niederösterreich.- Dissertation Universität f. Bodenkultur.
- ULRICH, B., 1981: Destabilisierung von Waldökosystemen durch Akkumulation von Luftverunreinigungen.- Der Forst- und Holzwirt 36, 525-532.
- ULRICH, B., 1982: Gefahren für das Waldökosystem durch Saure Niederschläge - Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und

Forstplanung Nordrhein-Westfalen, 6-25.

Umweltbundesamt, 1980: Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid - Ursachen, Wirkung, Minderung (DBR).

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

## 7. VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

El.LF	Elektrolytische Leitfähigkeit
pH <sub>1</sub>	pH-Wert der CO <sub>2</sub> -hältigen Probe
pH <sub>2</sub>	pH-Wert der CO <sub>2</sub> -freien Probe
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
pK	negativer dekadischer Logarithmus der Gleichgewichtskonstanten
Val	Äquivalente
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
μS/cm	Mikrosiemens/cm (Einheit für die elektrolyt. Leitfähigkeit)
Ω	Elektrischer Widerstand (Ohm)