

FBVA-BERICHTE

Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt
Nr. 20 **1987**

HÖHENPROFIL ZILLERTAL

Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985

Von F. GLATTES u. 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

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG.....	4
2. MATERIAL UND METHODE.....	5
3. ERGEBNISSE.....	8
3.1. Luftschadstoffmessungen.....	8
3.1.1. Ozon.....	8
3.1.2. Stickstoffoxide.....	13
3.1.3. Schwefeldioxid.....	16
3.2. Depositionsmessungen.....	18
3.2.1. Ionenkonzentrationen.....	18
3.2.1.1. Monatsmischproben.....	18
3.2.1.2. Tagesproben.....	24
3.2.2. Ionen- und Elementeinträge.....	29
3.3. Nadelanalysen.....	32
3.3.1. Nährstoffgehalte.....	32
3.3.2. Schwefelgehalte.....	34
3.3.3. Schwermetallgehalte.....	35
3.4. Meteorologische Messungen.....	36
4. DISKUSSION.....	39
4.1. Luftschadstoffmessungen.....	39
4.2. Depositionsmessungen.....	46
4.3. Nadelanalysen.....	47
4.4. Kombinierte Auswertung von Luftmessungen und meteorologischen Messungen.....	51
4.4.1. Konzentrationswindrosen.....	51
4.4.2. Synchrone und zeitversetzte Korrelationen zwischen Ozonkonzentrationen und meteorologischen Parametern.....	51
5. ZUSAMMENFASSUNG.....	56
6. LITERATUR.....	63

1. EINLEITUNG

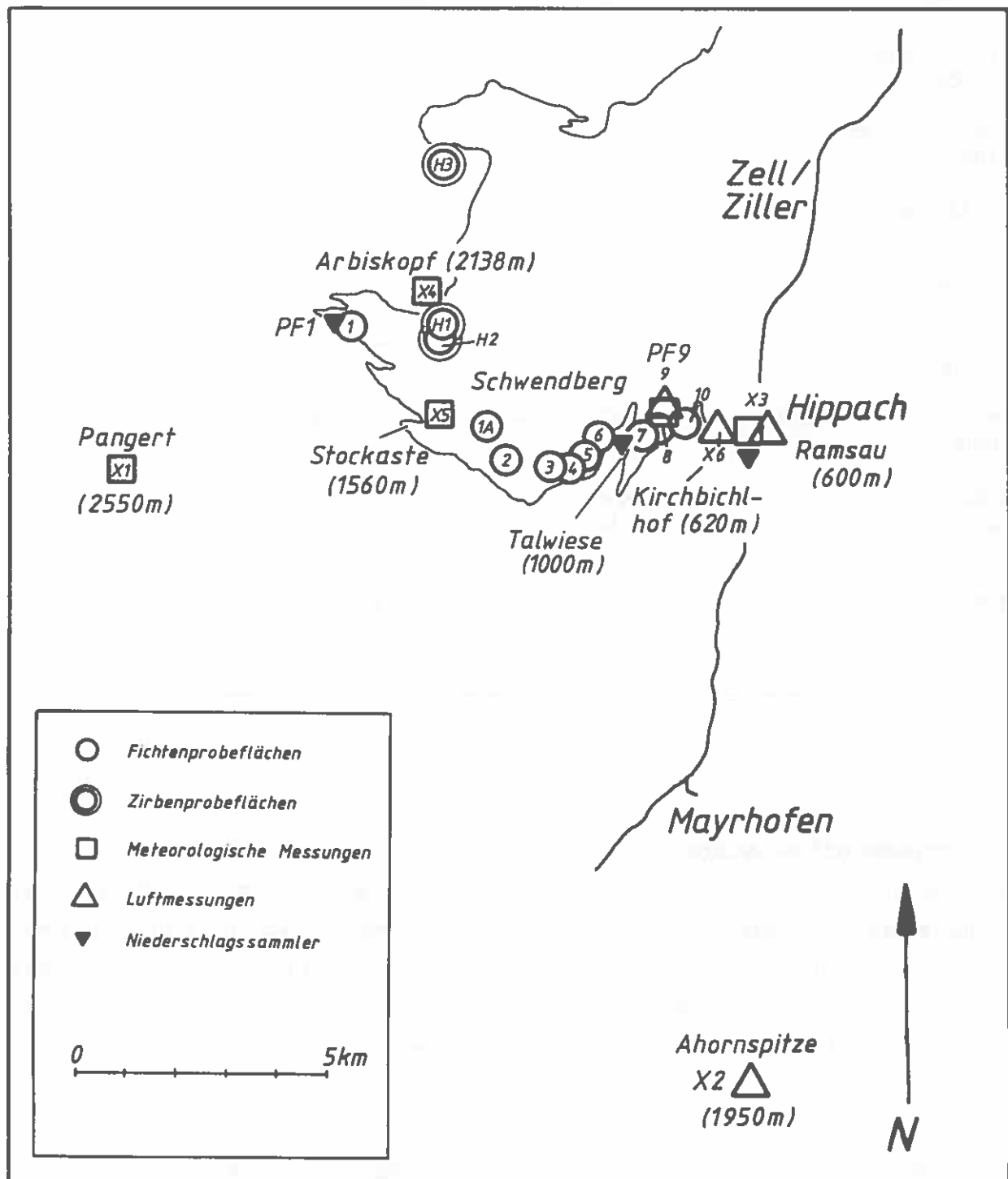
In den "Berichten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt" Nr.9 (GLATTES et al. 1985) wurde die Gesamtkonzeption des Programmes "Höhenprofil Zillertal" behandelt. Die vorliegende Arbeit ist die Fortsetzung des ersten Berichtes aus dem Untersuchungsjahr 1984 und beinhaltet Luftschadstoff-, Niederschlags- und Nadelanalysen sowie die Ergebnisse meteorologischer Messungen. Wie bereits im ersten Bericht beschrieben, werden im Rahmen des vorliegenden Projektes maßgebliche Faktoren, welche in der Literatur der letzten Jahre als Verursacher von Waldschäden in emittentenfernen Gebieten genannt werden, innerhalb eines Höhenprofiles erfaßt.

Seit Beginn der Erhebungen im Frühjahr 1984 wurde das Meßprogramm 1985 insbesondere durch Luftschadstoffmessungen und meteorologische Erhebungen erweitert. Ziel des Ausbaues des Projektumfanges war es, zusätzliches Datenmaterial und damit detailliertere Aufschlüsse über die Belastungssituation eines Untersuchungsprofiles zu erhalten, um weitere Erkenntnisse über die Nähr- und Schadstoffsituation des Waldes außerhalb bekannter Immissionsgebiete zu gewinnen.

2. MATERIAL UND METHODE

Die Lage der Probeflächen und Meßstationen ist in Abb.1, die ermittelten Meßgrößen und ihre Erhebungszeiträume in Tab.1 wiedergegeben.

Abb.1: Lage der Probeflächen und Meßstationen



Tab.1: Meßstellen und Erhebungszeiträume (1985)

DEP: Deposition, TEMP: Temperatur, LFEU: Luftfeuchte,
LDRU: Luftdruck, WIRI: Windrichtung, WIGE: Windgeschwin-
digkeit, STR: Globalstrahlung,
PF1 / PF9: Meßstelle der Probefläche 1 bzw. 9
* Meteorograph

Meßstelle	O3	NOx	SO2	DEP	TEMP * LFEU * LDRU *	TEMP	WIRI WIGE	STR
X1/Pangert (2550m)	--	--	--	--	--	--	1-12	--
X4/Arbiskopf (2138m)	--	--	--	--	5-12	--	--	--
X2/Ahornspitze (1950m)	5-11	--	--	--	--	5	--	5
PF1 (1720m)	--	--	--	1-12	--	--	--	--
X5/Stockaste (1560m)	--	--	--	--	5-12	--	--	--
Talwiese (1000m)	--	--	--	1-12	5-12	--	--	--
PF9 (850m)	4-9	4-9	4-7	--	--	6-9	--	6-9
X6/Kirch- bichlhof (620m)	--	--	4-8 10-12	--	--	--	--	--
X3/Ramsau /Christlboden (600m)	11-12	11-12	9-12	1-12	5-12	11-12	11-12	11-12

Luftschadstoffmessungen

Die Ozon-, NO-, NO2- und NOx-Messungen wurden mit Geräten der Firma Monitor Labs vorgenommen. Ein Ozonmeter wurde von der Landesforstdirektion Tirol zur Verfügung gestellt; SO2 wurde mit Wösthoff-U3S-Geräten gemessen. Die Registrierung der Luftmeßdaten erfolgte in Form von Halbstundenmittelwerten.

Depositionsmessungen

Die Probenahmen erfolgten mit Kroneis-Totalisatoren, die Messungen umfaßten für die Tagesproben Menge, pH-Wert (Glaselektrode), Leitfähigkeit (Konduktometer) und für die Monatsmischproben Menge, pH-Wert, Leitfähigkeit, Sulfat (Thorinmethode), Nitrat und Ammonium (ionensensitive Elektroden), Chlorid (coulometrische Titration), Calcium und Magnesium (Atomabsorptionsspektroskopie).

Nadelanalysen

Analog zum Untersuchungsjahr 1984 wurden im September 1985 Fichtenastproben vom 6./7. Quirl (gemäß den Vorschriften der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen) auf den Probenflächen 1-10 (Abb.1) von jeweils zwei Bäumen entnommen; auf den Hochlagenflächen H1, H2 und H3 wurden im Herbst 1985 Zirbenadel-Mischproben von Aufforstungsflächen geworben; hierzu wurde jeweils der erste Nadeljahrgang von fünf Pflanzen zu einer Probe vereinigt, um ausreichendes Probenmaterial zu erhalten.

Stickstoff wurde nach dem Schwefelsäureaufschluß nach KJELDAHL bestimmt, die übrigen Nährelemente (P, K, Ca, Mg) wurden nach einem Schwefelsäure - Salpetersäureaufschluß flammenphotometrisch (K), photometrisch (P) bzw. mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie (Ca, Mg) bestimmt.

Die Gesamtschwefelbestimmung erfolgte mittels eines LECO-SC 132 Schwefelanalysators. Blei und Cadmium wurden nach dem Aufschluß mit einem Salpetersäure - Perchlorsäuregemisch in der Graphitrohrküvette analysiert.

Meteorologische Messungen

Windgeschwindigkeit und Windrichtung wurden an der Station Pangert (2550m) erhoben, um Hinweise auf einen möglichen Antransport von Luftschadstoffen aus dem Inntal zu erhalten.

Zur Erfassung der kleinklimatischen Verhältnisse im Bereich des Untersuchungsprofiles wurden Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeit (m/s; Windgeschwindigkeiten unter 0,8 m/s wurden als Calmen gewertet), Windrichtung, Temperatur (°C), Luftfeuchte (%), Luftdruck (bar) und Strahlung (Joule/cm²) erhoben (vgl. Tab.1).

3. ERGEBNISSE

3.1. LUFTSCHADSTOFFMESSUNGEN

3.1.1. Ozon

Die Monatsmittelwerte und maximalen Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentrationen an den drei Meßstellen ergeben sich aus Tab.2, die mittleren Tagesgänge und die maximalen Halbstundenmittelwerte aus den Abbildungen 2-5. Wegen der sukzessiven Anschaffung der Meßgeräte ist ein direkter Vergleich aller Ergebnisse der drei Meßstationen nicht möglich. Nur die Ergebnisse der Meßstellen X2 und PF9, wo zu gleichen Zeiten gemessen wurde (Mai bis September), sind vergleichbar.

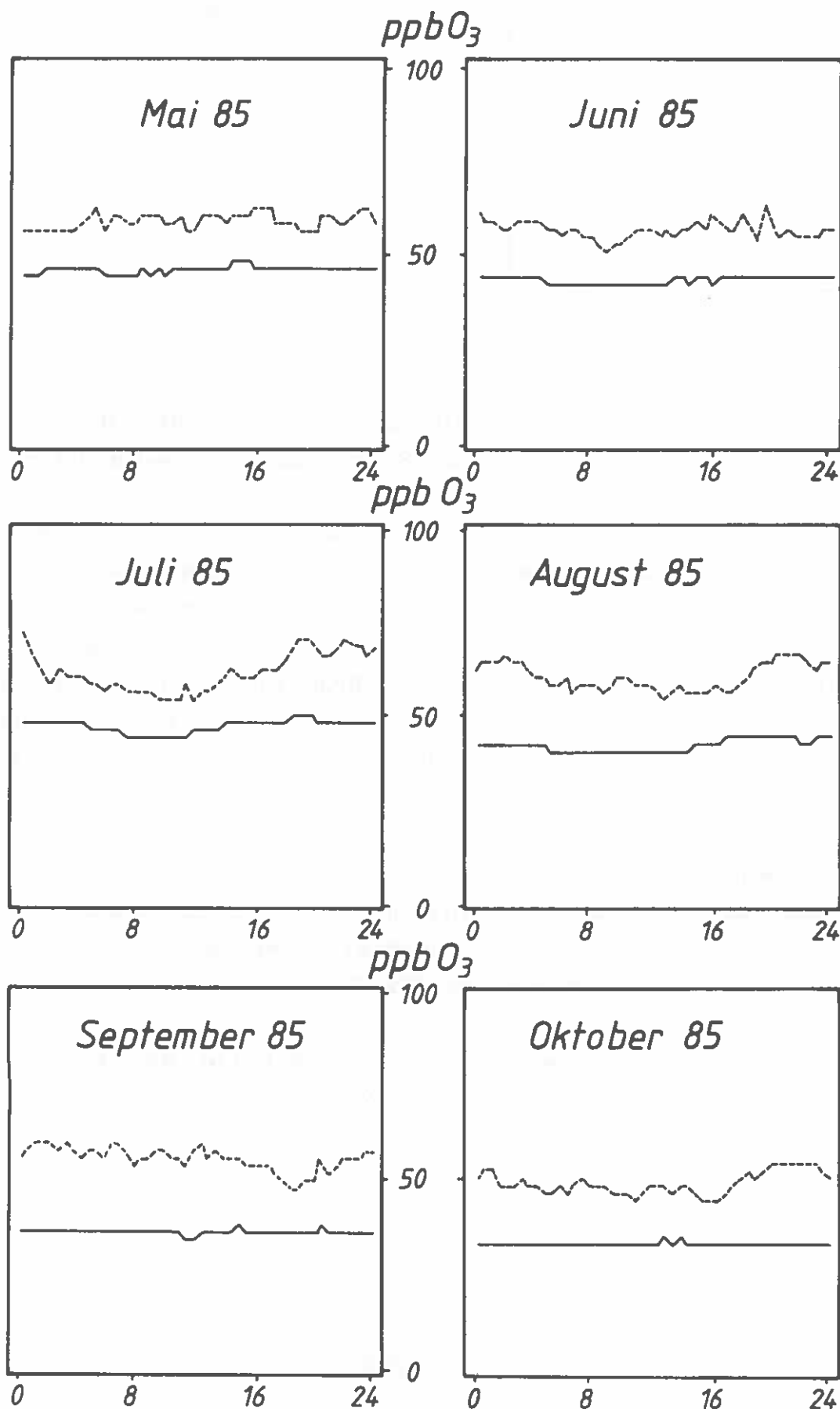
Tab.2: Ozonkonzentrationen (ppb)
Monatsmittelwerte (MMW) und maximale Halbstundenmittel (max.HMW) an den Meßstellen X2, PF9 und X3

Monat	Meßstelle X2 (1950m)		Meßstelle PF9 (850m)		Meßstelle X3 (600m)	
	MMW	max.HMW	MMW	max.HMW	MMW	max.HMW
April	--	--	43	72	--	--
Mai	46	58	48	90	--	--
Juni	43	55	43	93	--	--
Juli	47	62	47	103	--	--
August	42	60	38	73	--	--
September	36	56	32	80	--	--
Oktober	34	56	--	--	--	--
November	29	42	--	--	6	30
Dezember	--	--	--	--	6	52

Die Monatsmittel lagen an der Meßstelle X2 (Ahornspitze, 1950m) zwischen 29 und 47 ppb, die maximalen Halbstundenmittelwerte zwischen 42 und 62 ppb. Die mittleren Tagesgänge (vgl. Abb.2) an der Station Ahornspitze zeigen während der Untersuchungsperiode Mai bis November einen gleichmäßigen Verlauf mit geringer Amplitude, wie sie für höhere Lagen in der Literatur bereits mehrfach beschrieben wurden (FRICKE 1983, REITER et al. 1985, SMIDT 1983).

Abb.2: Mittlere Tagesgänge und maximale Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration an der Meßstelle X2 (1950m)

— mittlerer Tagesgang
--- maximale Halbstundenmittelwerte



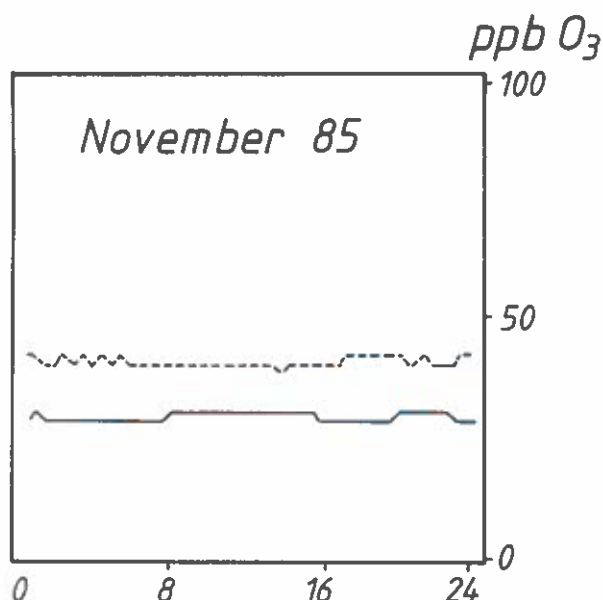


Abb.2, Fortsetzung

Die Monatsmittel der Ozonkonzentration an der **Meßstelle PF9** (850m) lagen zwischen 32 und 48 ppb, die maximalen Halbstundenmittel zwischen 72 und 103 ppb. An dieser Meßstelle wurde ein Tagesgang mit einem Minimum um 8.00 Uhr, einem Anstieg in den frühen Nachmittagsstunden und einem deutlichen Abfall bis in die frühen Morgenstunden festgestellt (Abb.3); ein derartiger Tagesgang ist für belastete Gebiete charakteristisch und weist auf das gleichzeitige Vorhandensein von Präkursoren (z.B. Stickstoffoxiden) hin. Die maximalen Halbstundenmittel waren in den vergleichbaren Meßmonaten an der Meßstelle X2 niedriger (vgl. Abb.2-4).

Die O₃-Monatsmittel der Meßstelle PF9 (850m) und der Meßstelle X2 (1950m) waren in den gemeinsamen Meßmonaten nahezu ident (s. Tab.2 und Abb.4), die Variationsbreite der Halbstundenmittelwerte war hingegen an der Meßstelle PF9 deutlich höher.

Die Ozon-Monatsmittelwerte an der Meßstelle X3 (Ramsau, 600m) waren gering, dies entsprach den Messungen an anderen Talstationen in den Wintermonaten (vgl. Abb.5 und Tab.17).

Abb.3: Mittlere Tagesgänge und maximale Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration an der Meßstelle PF9 (850m)

— mittlerer Tagesgang
- - - maximale Halbstundenmittelwerte

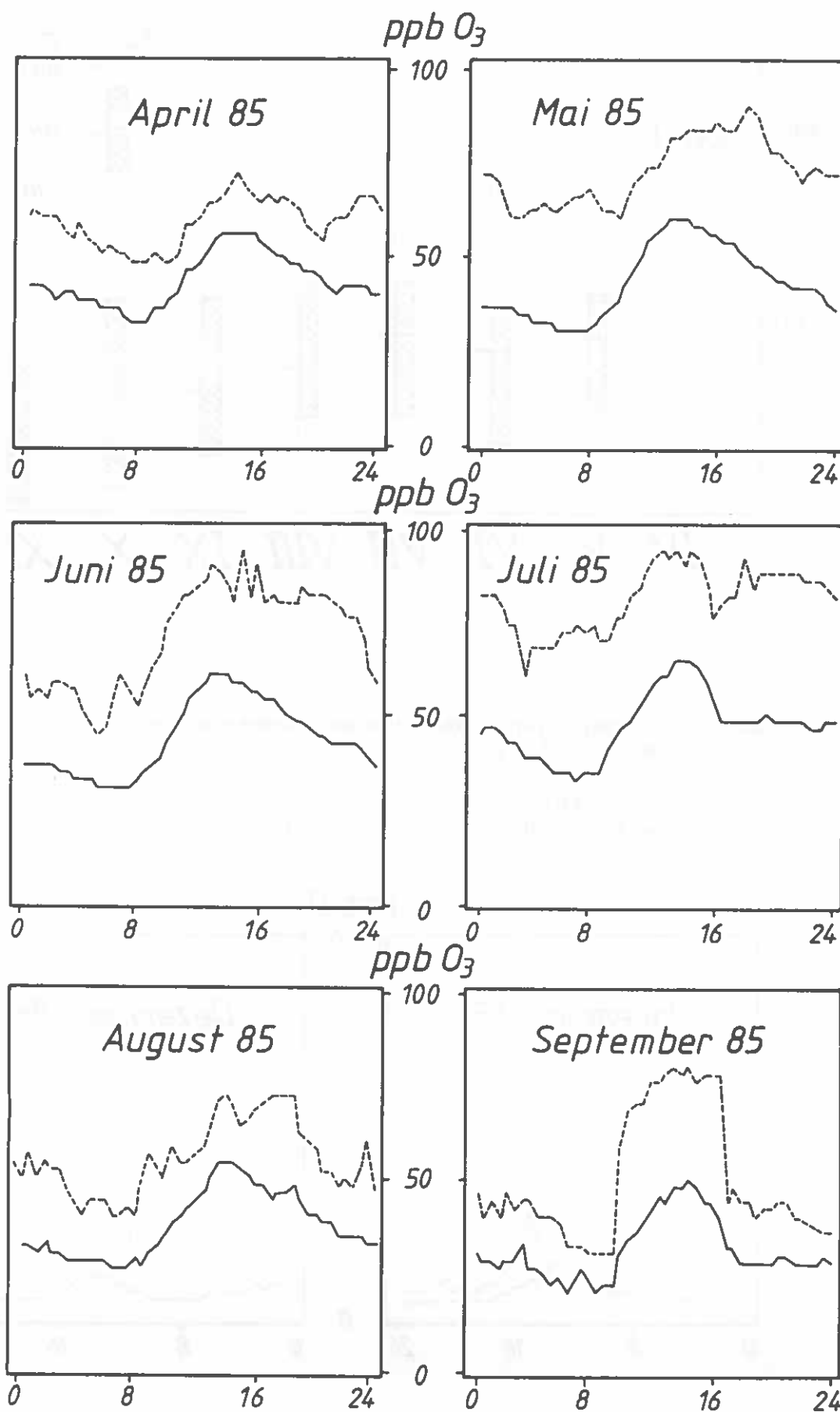


Abb.4: Monatsmittel (MMW), minimale und maximale Halbstundenmittel der Ozonkonzentration (min./max. HMW) an den Meßstellen X2 (1950m, schraffierte Balken) und PF9 (850m, weiße Balken)

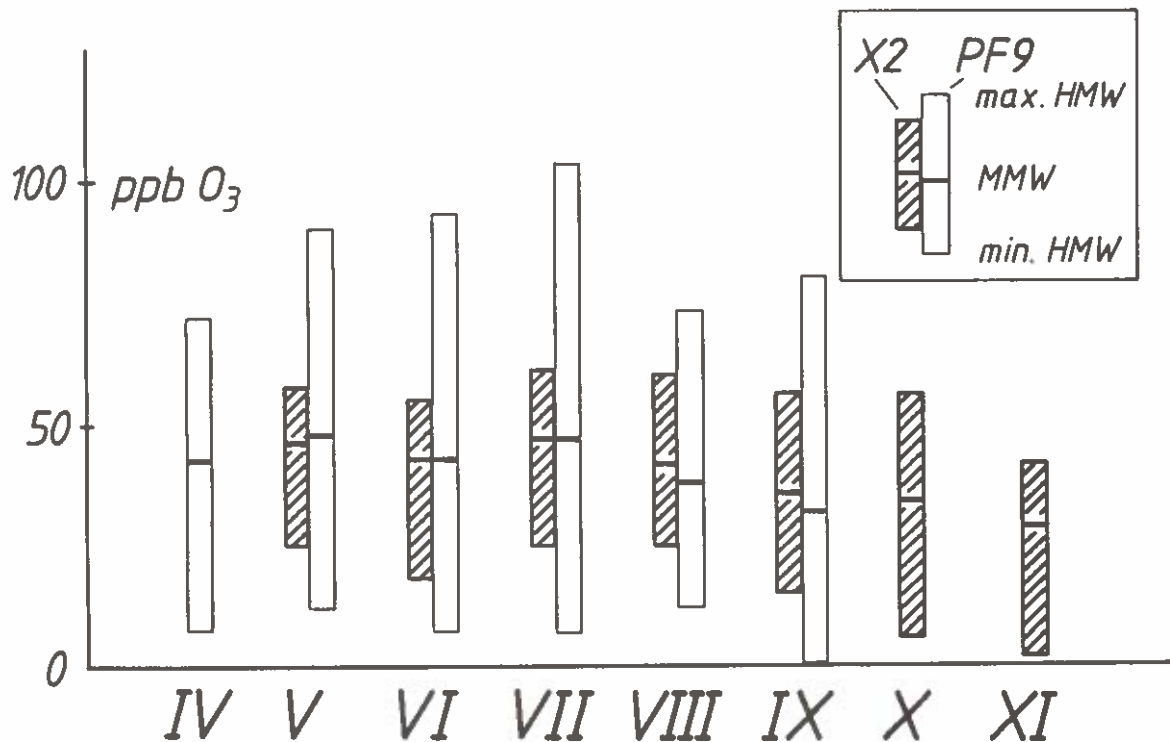
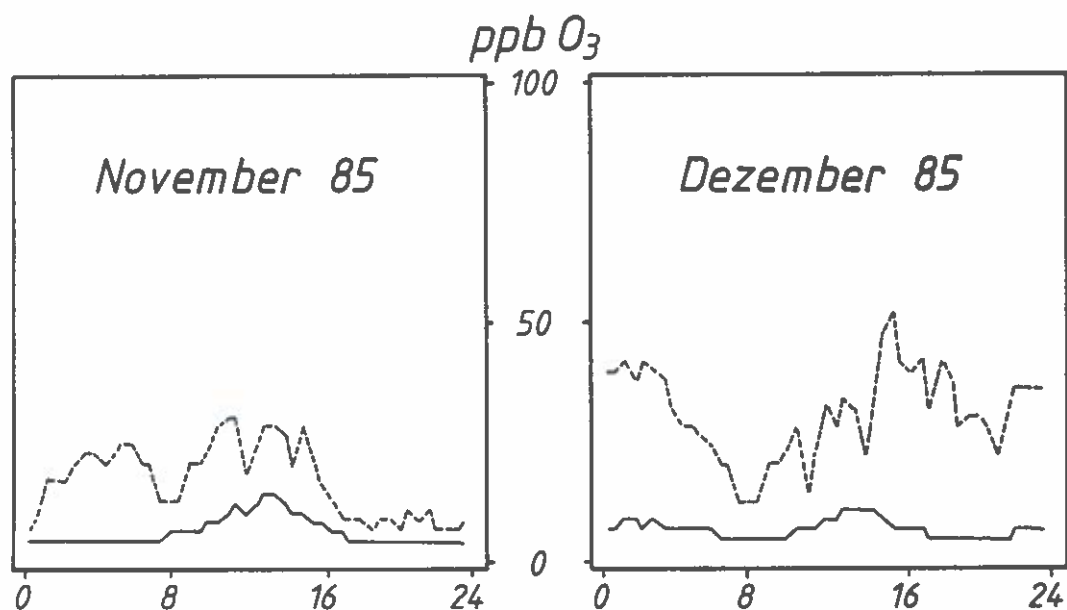


Abb.5: Mittlere Tagesgänge der Ozonkonzentration an der Meßstelle X3 (600m)

mittlerer Tagesgang
maximale Halbstundenmittelwerte



3.1.2. Stickstoffoxide

Die Monatsmittelwerte und maximalen Halbstundenmittelwerte der Stickstoffoxidkonzentrationen an der Meßstelle PF9 und der Meßstelle X3 sind aus Tab.3 zu ersehen. Ein Vergleich der Monatsmittel ist nicht möglich, da die Meßzeiträume beider Meßstellen nicht ident sind. Die mittleren Tagesgänge und die jeweils maximalen Halbstundenmittelwerte sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt.

Tab.3: NO_x-Konzentrationen (ppb)

Monatsmittelwerte (MMW) und maximale Halbstundenmittelwerte (max.HMW) an den Meßstellen PF9 und X3

Monat	MMW	NO max. HMW	MMW	NO ₂ max.HMW	MMW	NO _x max.HMW
Meßstelle PF9 (850m)						
April	3	11	6	15	9	25
Mai	2	6	4	13	6	18
Juni	2	11	4	16	6	22
Juli	2	9	4	16	6	22
August	3	16	3	11	6	27
September	4	35	4	27	8	63
Meßstelle X3 (600m)						
November	41	143	32	81	73	194
Dezember	42	192	24	77	66	252

Die NO-Monatsmittel in den Meßmonaten April bis September lagen an der Meßstelle PF9 (850m) zwischen 2 und 4 ppb, die des NO₂ zwischen 3 und 6 ppb. Die maximalen Halbstundenmittelwerte von NO schwankten zwischen 6 und 35 ppb, jene von NO₂ zwischen 11 und 27 ppb. Die Konzentrationen waren in den Sommermonaten gering, obwohl die Meßstelle nahe an einer durch Ausflugsverkehr frequentierten Straße stationiert war.

Aus Abb.6 ist ersichtlich, daß die mittleren Tagesgänge über die Meßperiode durch maximale Konzentrationen in den Morgenstunden charakterisiert waren; in den Meßmonaten August und September trat ein weiteres, jedoch geringeres Maximum in den Nachmittagsstunden deutlicher hervor. Ferner zeigte sich (trotz der geringen NO-Konzentrationen) eine Gegenläufigkeit der mittleren

Tagesgänge vom NO zu dem des Ozons (vgl. Abb.17 am Beispiel des mittleren Tagesganges vom Juni 1985 sowie am Tagesgang des 12. Juni 1985).

Die Monatsmittelwerte der beiden Wintermeßmonate waren an der Meßstelle X3 (Ramsau, 600m) für NO 41 und 42 ppb, für NO₂ 32 und 24 ppb. Da sich diese Meßstelle unmittelbar neben der Hauptstaße befindet, sind die höheren NO_x-Werte und die im Vergleich zum NO₂ höheren NO-Werte im Gegensatz zu den Meßergebnissen der Meßstelle PF9 verständlich, obwohl es sich nicht um idente Meßzeiträume handelt. Der maximale Halbstundenmittelwert war für NO 192 ppb, für NO₂ 81 ppb. Die mittleren Tagesgänge zeigen zwei NO_x-Maxima kurz nach 8.00 Uhr und nach 16.00 Uhr.

Abb.6: Mittlere Tagesgänge und maximale Halbstundenmittelwerte der NO_x-Konzentrationen an der Meßstelle PF9 (850m)

— mittlerer Tagesgang
----- maximale Halbstundenmittelwerte

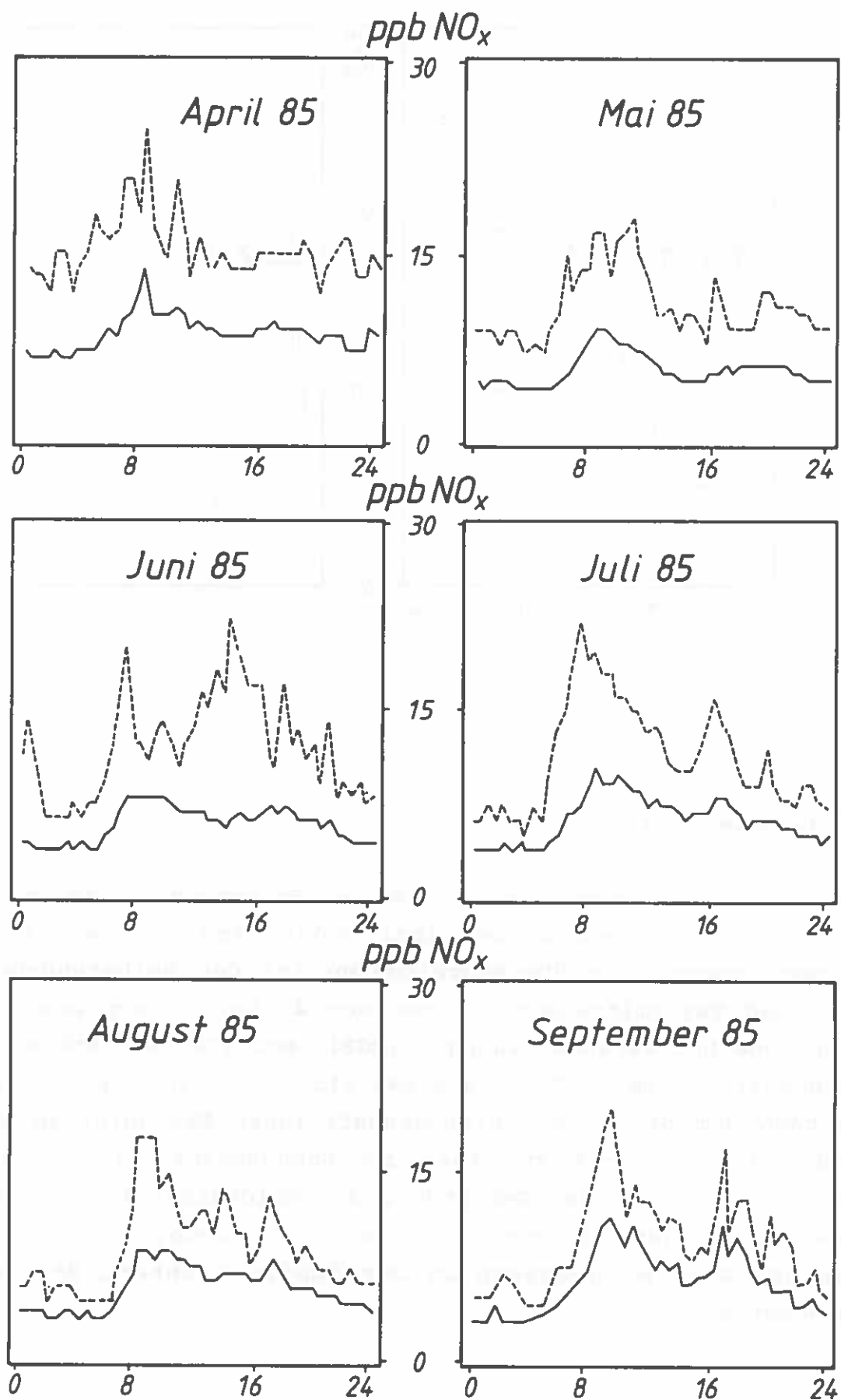
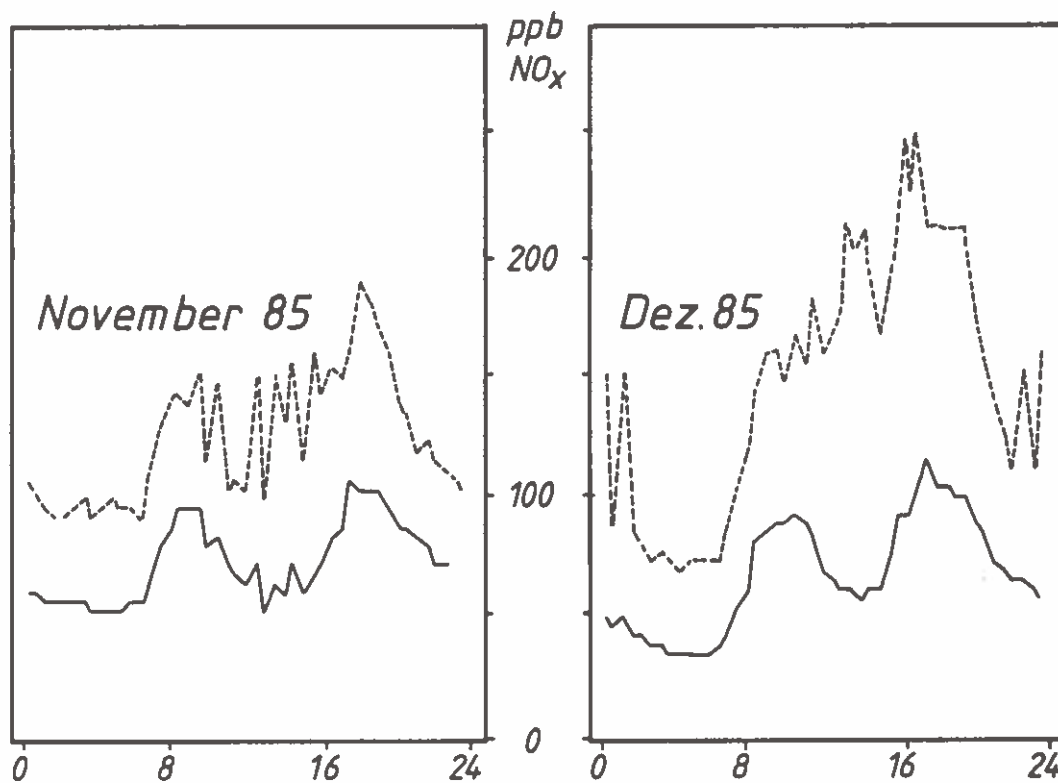


Abb.7: Mittlere Tagesgänge und maximale Halbstundenmittelwerte der NO_x-Konzentrationen an der Meßstelle X3 (600m)

— mittlerer Tagesgang
---- maximale Halbstundenmittelwerte



3.1.3. Schwefeldioxid

Die Monatsmittelwerte und maximalen Halbstundenmittelwerte der SO₂-Konzentrationen an den drei Meßstellen sind aus Tab.4 zu ersehen, ebenso die Überschreitungen (n) der Halbstundenmittelwerte und Tagesmittelwerte gemäß der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (BGBl. Nr. 199, 89. Stück, 1984). Als Höchstanteile im Sinne des §48 lit. b des Forstgesetzes 1975, die nach dem Stande der wissenschaftlichen Erkenntnisse und der Erfahrung noch nicht zu einer der Schadensanfälligkeit des Bewuchses entsprechenden Gefährdung der Waldkultur führen, sind in dieser Verordnung folgende Grenzwerte (wirkungsbezogene Immissionsgrenzwerte, gemessen an der Empfindlichkeit der Fichte) festgesetzt:

97,5- Perzentil für den Halbstundenmittelwert (HMW) in den Monaten April bis Oktober 0,07 mg/m³ bzw. November bis März 0,15 mg/m³. Die zulässige Überschreitung des Grenzwertes, die sich aus der Perzentilregelung ergibt, darf höchstens 100% des Grenzwertes betragen.

Tagesmittelwert (TMW) in den Monaten April bis Oktober 0,05 mg/m³ bzw. November bis März 0,10 mg/m³.

Tab.4: SO₂-Konzentrationen (mg/m³)

Monatsmittelwerte (MMW), maximale Tagesmittelwerte (max.TMW) und maximale Halbstundenmittelwerte (max. HMW)
n: Anzahl der HMW- bzw. TMW-Überschreitungen gemäß 2.Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen:

Monat	MMW	max. TMW	n	max. HMW	n
Meßstelle PF9 (850m)					
April	0,020	0,028	0	0,057	0
Mai	0,007	0,029	0	0,059	0
Juni	0,013	0,026	0	0,060	0
Juli	0,013	0,022	0	0,033	0
Meßstelle X6 (620m)					
April	0,033	0,038	0	0,044	0
Mai	0,019	0,027	0	0,065	0
Juni	0,028	0,044	0	0,068	0
Juli	0,009	0,036	0	0,045	0
August	0,028	0,045	0	0,058	0
Oktober	0,020	0,054	1	0,063	0
November	0,025	0,032	0	0,042	0
Dezember	0,031	0,059	0	0,096	0
Meßstelle X3 (600m)					
September	0,056	0,073	4	0,091	63
Oktober	0,025	0,068	4	0,086	47
November	0,033	0,057	0	0,099	0
Dezember	0,020	0,042	0	0,096	0

An der Meßstelle PF9 und der Meßstelle X6 kam es während der Meßdauer zu keiner Überschreitung der Halbstundenmittel-Grenzwerte. Dagegen waren an der Meßstelle X3 zahlreiche Überschreitungen in den Monaten September und Oktober zu konstatieren.

Überschreitungen der Tagesmittel-Grenzwerte gemäß 2. Verordnung wurden an der Meßstelle X6 (620m) nur einmal (am 15.10.), an der Meßstelle X3 (600m) dagegen 8x (27.9.-4.10.) registriert. Zu keinen Überschreitungen der Tagesmittel-Grenzwerte kam es an der Meßstelle PF9.

3.2. DEPOSITIONSMESSUNGEN

3.2.1. Ionenkonzentrationen

3.2.1.1. Monatsmischproben

Die mit den jeweiligen Niederschlagsmengen gewichteten Niederschlagsergebnisse sind in Tab.5 zusammengestellt, die zeitlichen Verläufe der Ionengehalte in den Monatsmischproben sind aus Abb.8 zu ersehen.

Tab.5: Niederschlagsergebnisse

Niederschlagssummen (mm), minimale pH-Werte (pH min.), und gewichtete Mittel der Leitfähigkeiten ($\mu\text{S}/\text{cm}$), Ionenkonzentrationen (gerundete Werte), Elementquotienten und Anionenäquivalentanteile

Meßgröße	Meßstelle	Talwiese (1000m)	Meßstelle
	X3 (600m)		PF 1 (1720m)
mm Niederschlag	675	557	1143
pH	5,5	5,4	5,0
pH min.	3,6	4,3	4,0
Leitfähigkeit	18,6	15,4	11,3
SO ₄ (mg/l)	2,1	1,8	1,7
NO ₃ (mg/l)	1,7	1,6	0,9
Cl (mg/l)	0,8	0,6	0,4
NH ₄ (mg/l)	0,7	0,6	0,3
Ca (mg/l)	0,8	0,7	0,3
Mg (mg/l)	0,2	0,2	0,0
Elementquotienten			
H/Ca	14,9	9,4	38,3
S/N	0,89	0,70	1,37
Ca/Mg	4,8	5,9	10,5
Anionenäquivalentverhältnisse			
SO ₄ (%)	51	46	57
NO ₃ (%)	31	34	24
Cl (%)	18	20	19

Abb.8: Zeitlicher Verlauf der pH-Werte, Leitfähigkeiten ($\mu\text{S}/\text{cm}$) und der Ionenkonzentrationen (mg/l)
(strichpunktierte Linie: gewichtete Gesamtmittel)

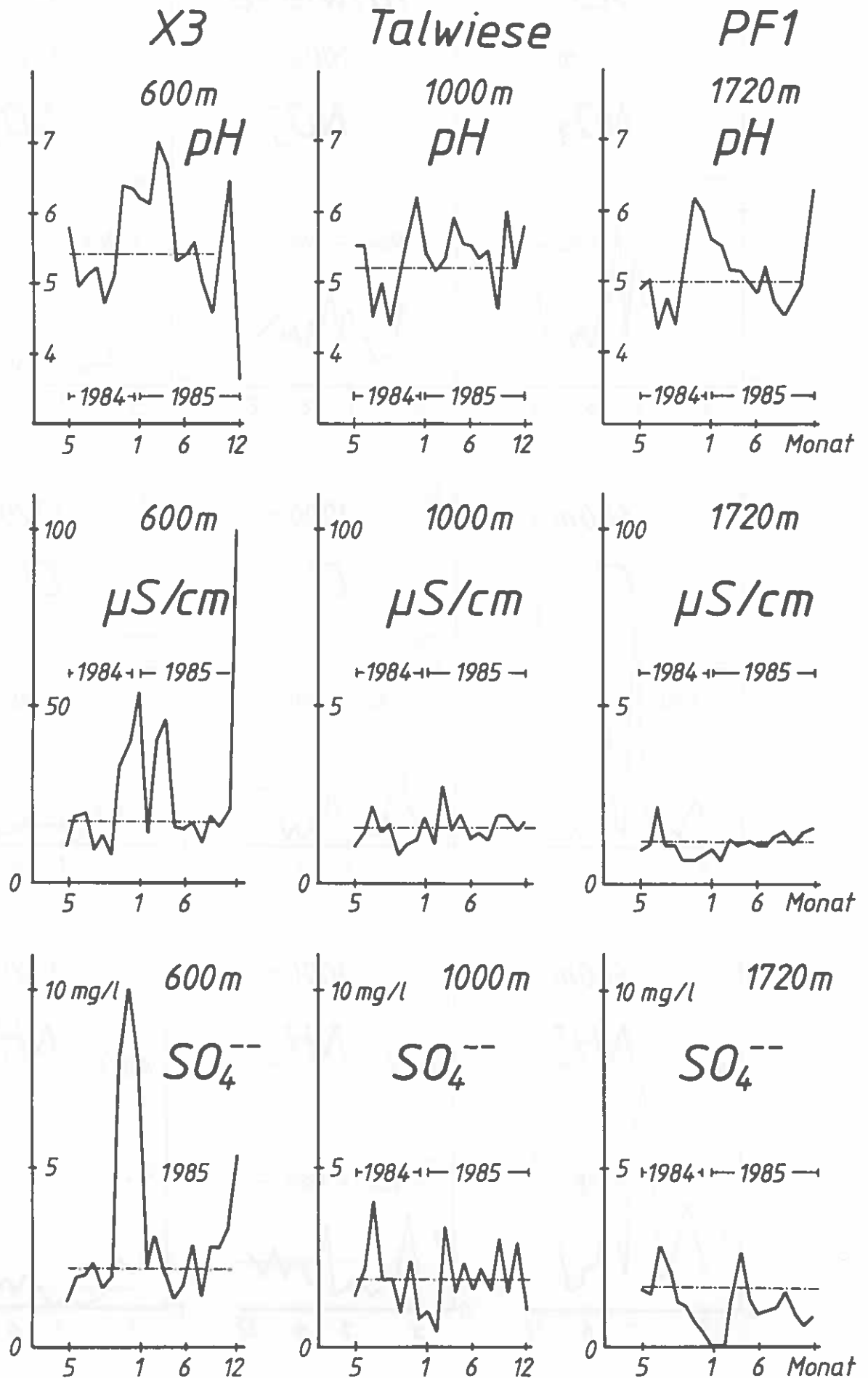


Abb.8, Fortsetzung:

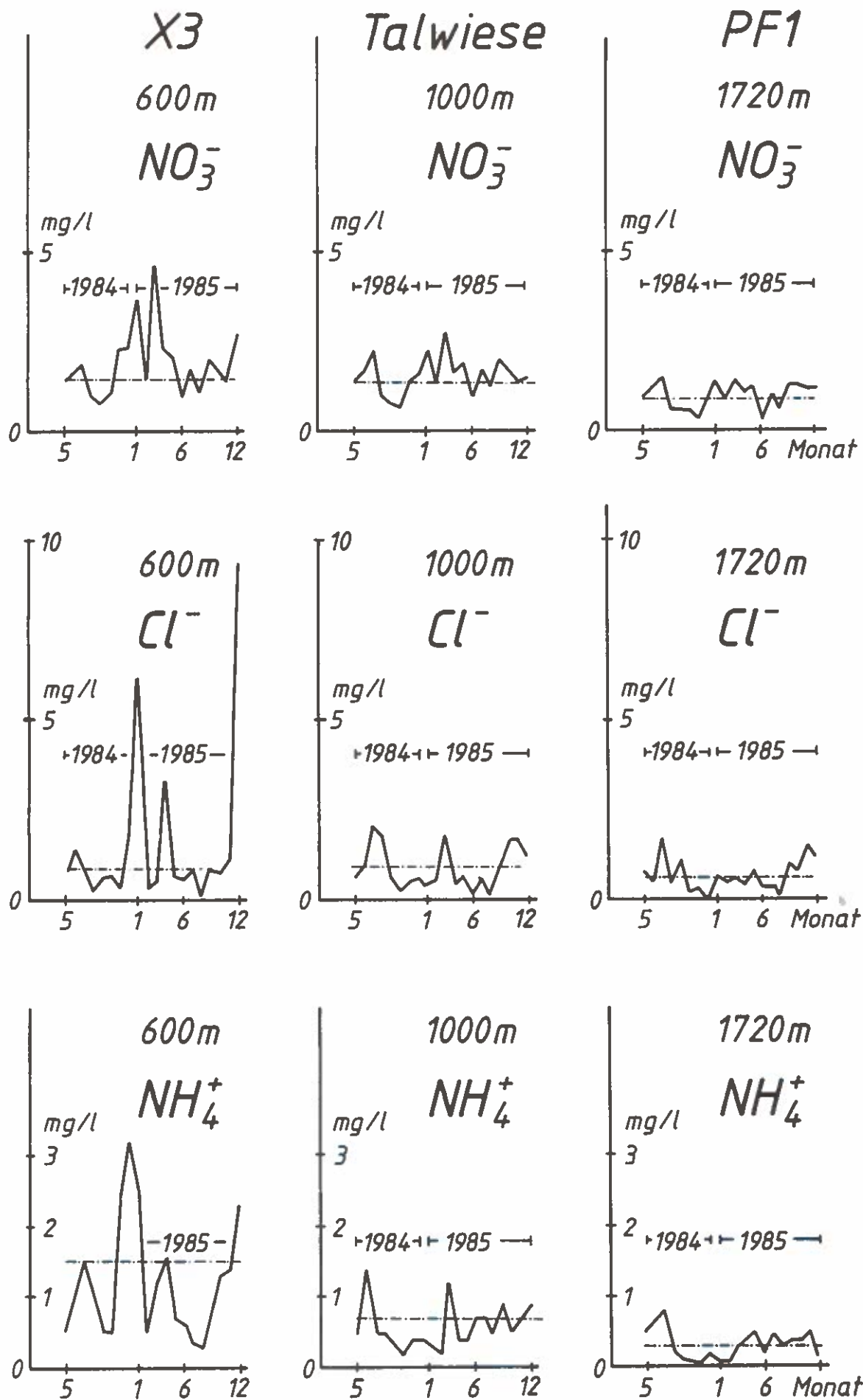
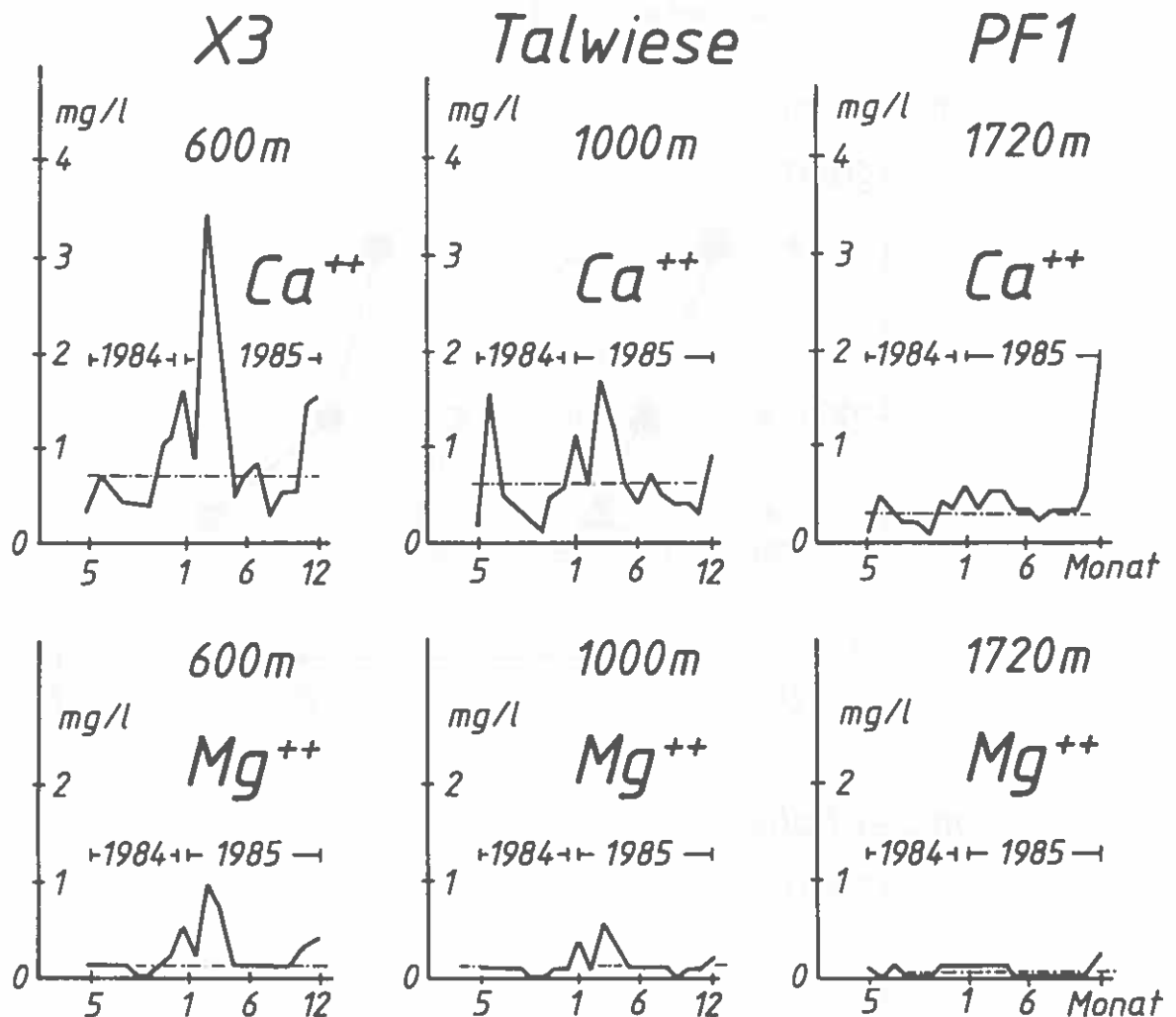


Abb.8, Fortsetzung:

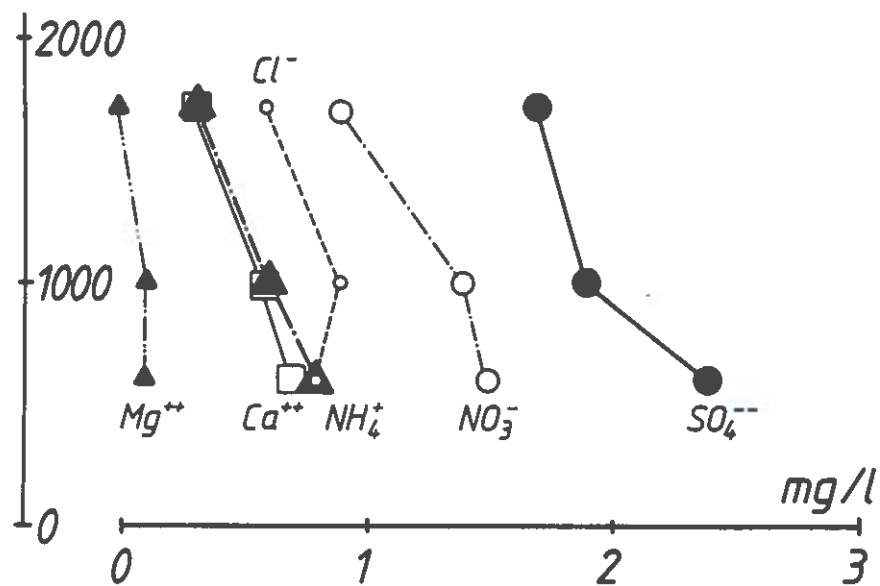


Spitzenbelastungen und größere Schwankungen der Ionenkonzentrationen traten nur an der Meßstelle X3 auf (vgl. Leitfähigkeiten der Monate November 1984 bis Januar 1985, März und Dezember 1985). Spitzenkonzentrationen, wie sie z.B. im Monat Januar 1985 auftraten, beeinflussten das gewichtete Gesamtmittel (vgl. Abb.8, strichpunktierte Linien) nur unwesentlich, da in diesem Monat relativ wenig Niederschlag fiel. Die pH-Monatswerte schwankten im Untersuchungszeitraum an der Meßstelle X3 um vier Einheiten, an der Mittelstation (Talwiese, 1000m) um rund 1 1/2 und an der Meßstelle PF1 (1720m) um zwei Einheiten.

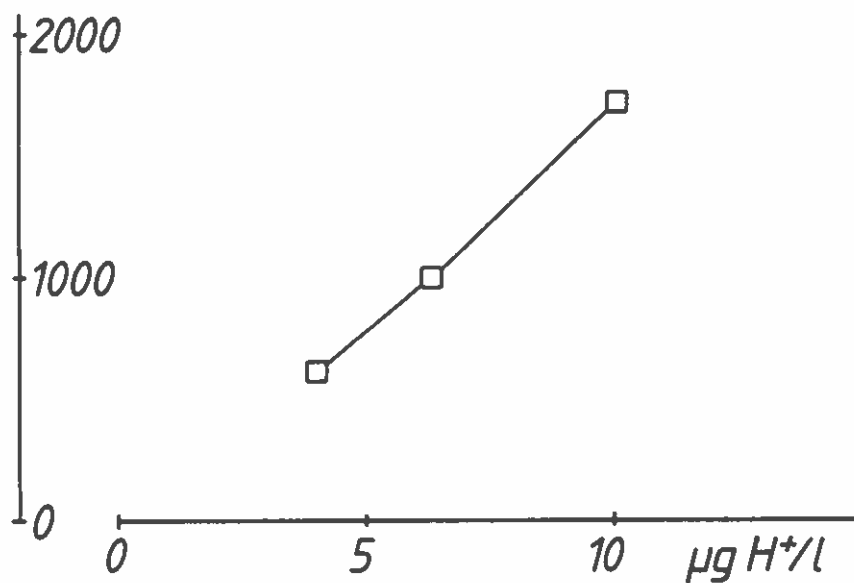
Aus Abb.9 sind die Unterschiede der Ionengehalte (Gewichtsmittel Mai 1984 bis Oktober 1985) in den drei Höhenstufen ersichtlich. Es zeigte sich, daß diese - mit Ausnahme der Chlorid- und H^+ -Konzentration - mit zunehmender Seehöhe abnahmen.

Abb.9: Ionenkonzentrationen
(gewichtete Gesamtmittel)

m Seehöhe

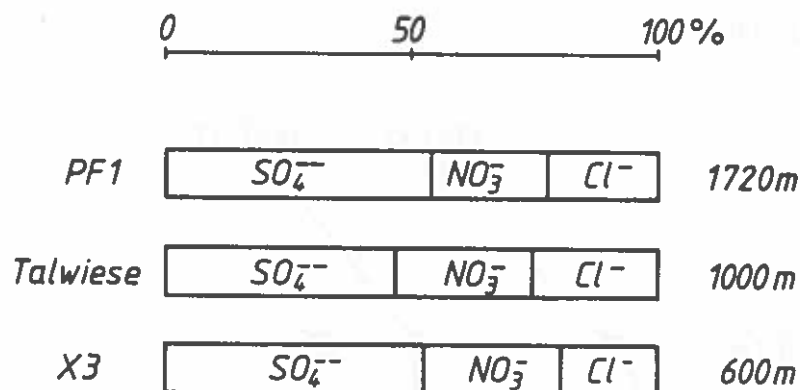


m Seehöhe



Die Berechnung der **Anionenäquivalentverhältnisse** ergab: Unter den Anionen war das Sulfat mit dem höchsten Äquivalentanteil vertreten, gefolgt vom Nitrat und Chlorid. Markante Unterschiede zwischen den Meßstationen waren beim Nitrat nicht festzustellen; der Sulfatanteil war an der Talwiese (1000m) geringer als an den beiden anderen Stationen (Abb.10).

Abb.10: Anionenäquivalentverhältnisse
(Prozentuelle Anteile der Anionen)

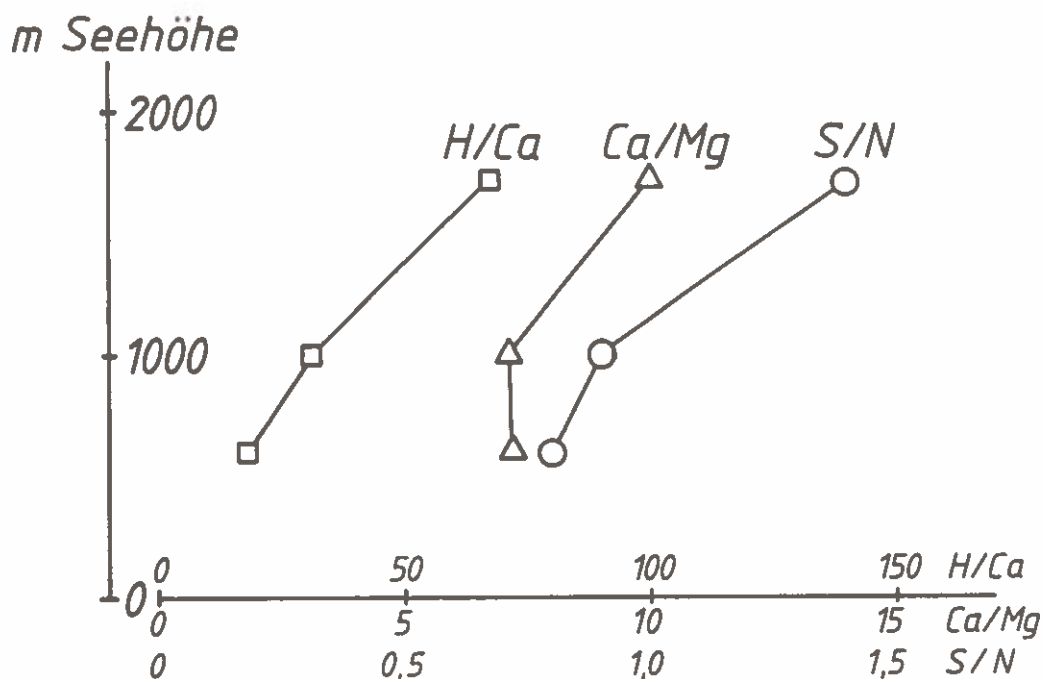


Hinsichtlich der Elementquotienten ist festzustellen, daß der Quotient H/Ca in stärker staubbelasteten und damit alkalischeren Proben kleiner als in wenig staubbelasteten Proben ist, in denen H^+ - Ionen in geringerem Maße durch alkalische (z.B. Ca-hältige) Stäube neutralisiert wurden. Bei diesem Elementquotienten trat eine Zunahme mit steigender Seehöhe auf.

Bei der Berechnung des Verhältnisses zwischen Sulfatschwefel und Gesamtstickstoff, welches nach bisherigen Messungen der FBVA zwischen 0,7 und 1,6 liegt, war ebenfalls ein derartiger Verlauf zu beobachten; erst an der höchstgelegenen Station überwog der Sulfatschwefelanteil (und damit auch der Sulfatschwefeleintrag) gegenüber dem des Gesamtstickstoffs. (Eine Seehöhenabhängigkeit des S/N-Verhältnisses konnte allerdings nicht allgemein an den weiteren Meßstellen der FBVA festgestellt werden.)

Ebenfalls der höchste Wert wurde an der Bergstation (Meßstelle PF1) beim Quotienten der beiden alkalischen Komponenten Calcium und Magnesium gefunden; das Calcium überwog jedoch gegenüber dem Magnesium mindestens um den Faktor 4,8 (Tab.5 und Abb.11).

Abb.11: H/Ca-, S/N- und Ca/Mg-Quotienten
(gewichtete Gesamtmittel)



3.2.1.2. Tagesproben

Häufigkeitsverteilungen von pH-Werten und Leitfähigkeiten in Tagesproben

Häufigkeitsverteilungen von Tages-pH-Werten und Leitfähigkeitswerten stellen u.U. eine Möglichkeit dar, zwischen Kollektiven von Einzelereignissen mit ähnlich hohen Mittelwerten eine weitere Differenzierung vorzunehmen. (Um annähernd symmetrische Kurvenverläufe und damit eine bessere Vergleichsmöglichkeit zu erhalten, wurde auch für die Leitfähigkeit die logarithmische Klasseneinteilung vorgenommen.)

Abb.12: Häufigkeitsverteilung der pH-Werte (links) und der natürlichen Logarithmen der Leitfähigkeiten (rechts) in Tagesproben (1984 + 1985)

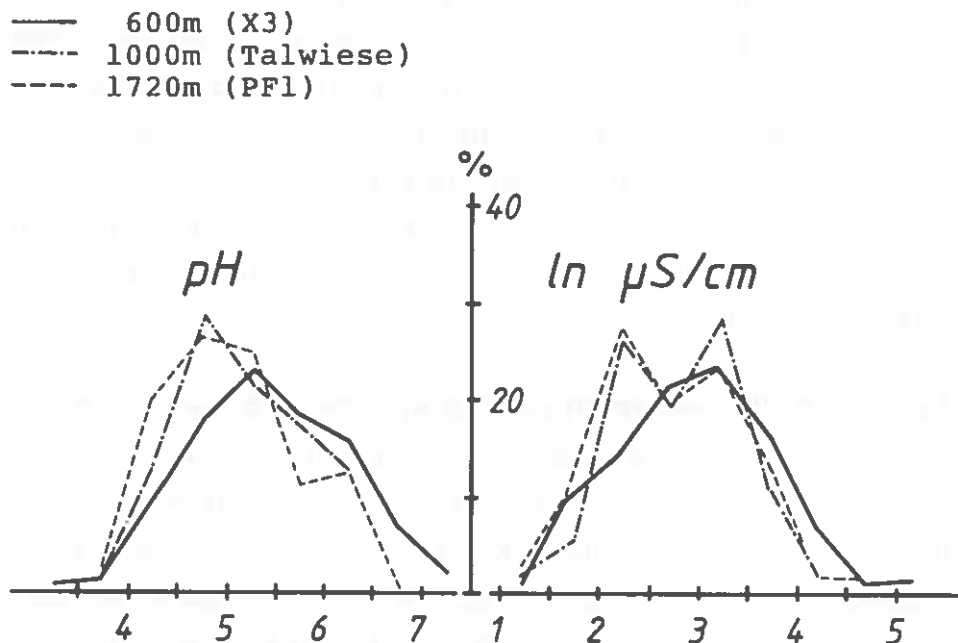


Abb.12 zeigt für die pH-Werte, daß die Meßstation X3 (durchgezogene Linie) mit einem Gesamtmittel von $\text{pH} = 5,2$ ihr Maximum deutlich im weniger sauren Bereich hat. Die beiden anderen Stationen (Gesamtmittel in 1000m Höhe 5,4 und in 1720m Höhe 5,3) zeigen trotz ähnlich hoher Gesamtmittel eine unterschiedliche Ausprägung der Häufigkeitsverteilungen der pH-Werte in den Tagesproben.

Die Meßstelle X3 ist durch einen größeren Anteil an Tagesproben mit höheren Leitfähigkeiten charakterisiert. Gegensätzlich zu dieser Station, aber untereinander ähnlich, sind die Verteilungen an den beiden Bergstationen. Sie sind - auch im Gegensatz zu den Häufigkeitsverteilungen anderer österreichischer Niederschlagsmeßstellen (vgl. SMIDT 1986) - durch zwei Maxima charakterisiert (Gesamtmittel: 600m: $44,5 \mu\text{S/cm}$; 1000m: $15,5 \mu\text{S/cm}$ und 1720m: $13,5 \mu\text{S/cm}$). Die Gegenüberstellung dieser Häufigkeitsverteilungen zeigt somit, daß auch bei räumlich nicht weit entfernten Meßstellen markant unterschiedliche Niederschlagskollektive auftreten.

Korrelationen von H⁺ -Konzentrationen und Leitfähigkeiten in Tagesproben derselben Tage zwischen verschiedenen Höhenstufen
Bei an denselben Tagen geworbenen Proben wurde untersucht, inwieweit die H⁺ -Konzentrationen und Leitfähigkeiten an jeweils zwei Meßstellen korrelieren; hiebei wurden die Probenahmen der Jahre 1984 und 1985 zusammengefaßt (Abb.13 und Tab.6) und die H⁺ -konzentrationen (pVal/l, links) und Leitfähigkeiten (pS/cm, rechts) der jeweils niedrigeren Meßstelle (Abszisse) mit denen der höheren Meßstelle (Ordinate) bei denselben Niederschlagsereignissen (1984 + 1985) korreliert.

Hinsichtlich der H⁺ -Konzentrationen bestand zwischen allen drei Meßstellen eine statistisch gesicherte Korrelation. Der Vergleich der 600m- mit der 1000m-Station zeigt, daß an der 1000m-Station im Durchschnitt höhere H⁺ -Konzentrationen gemessen wurden (Abb.13, links oben); hinsichtlich der beiden anderen Meßstellenvergleiche trifft dies für die Mehrzahl der Wertepaare ebenfalls zu.

Neben den nicht so starken, aber ebenfalls gesicherten Korrelationen der Leitfähigkeiten kann gezeigt werden, daß im Mittel an der jeweils höhergelegenen Meßstelle in den Tagesproben zumindest beim Vergleich mit der Meßstelle X3 deutlich niedrigere Leitfähigkeiten gemessen wurden.

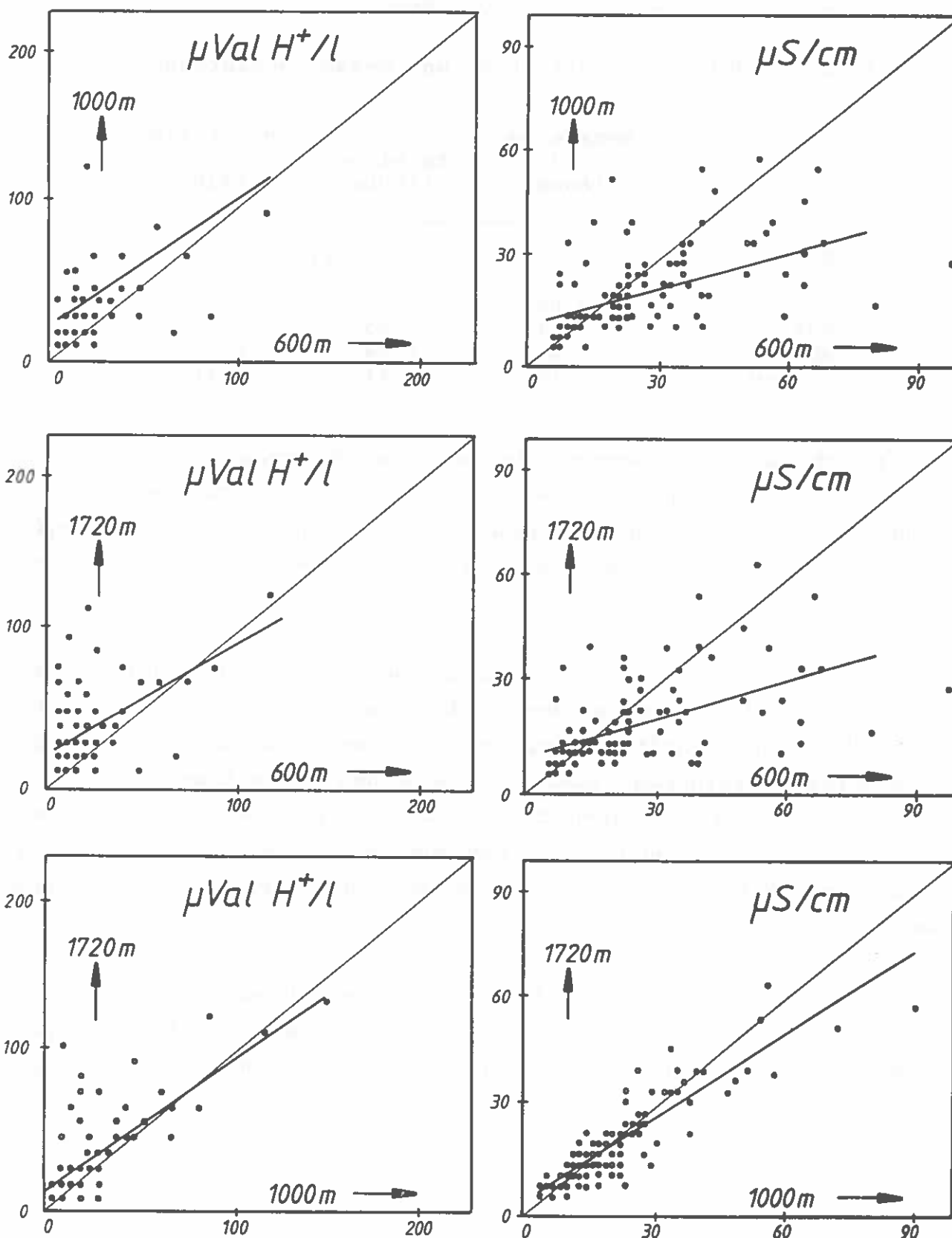
Tab.6: Parameter der Ausgleichsgeraden $y = kx + d$ für die H⁺ -Konzentrationen (oben) und Leitfähigkeiten (unten)

k: Anstieg der Ausgleichsgeraden
d: Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der Ordinate
r: Korrelationskoeffizient (***: P = 0,000)
n: Anzahl der Wertepaare

Vergleich	H ⁺ -Konzentration (pVal H ⁺ /l)		
	600/1000m	600/1720m	1000/1720m
k	0,91	0,79	0,94
d	17,5	11,1	5,79
r	0,81***	0,59***	0,81***
n	115	112	125

Vergleich	Leitfähigkeit (pS/cm)		
	600/1000m	600/1720m	1000/1720m
k	0,36	0,35	0,81
d	10,4	8,58	1,90
r	0,56***	0,53***	0,89***
n	115	112	125

Abb.13: Korrelationen von H^+ - Konzentrationen und Leitfähigkeiten in Tagesproben derselben Tage zwischen verschiedenen Höhenstufen
(dunkle Punkte: mehr als ein Wertepaar)



3.2.2. Ionen- und Elementeinträge

Wie bereits in früheren Arbeiten beschrieben (SMIDT 1985 und 1986), wurden auch 1985 an diesen drei Stationen unterschiedlich hohe Einträge festgestellt (Tab.7, Abb.14).

Tab.7: H⁺ -, Sulfat-S-, Nitrat-N- und Gesamt-N-Einträge

Element	Meßstelle X3 (600m)	Talwiese (1000m)	Meßstelle Pfl (1720m)
	(kg/ha.Jahr)		
H	0,05	0,03	0,16
SO ₄ -S	5,71	3,95	7,82
NO ₃ -N	3,02	2,44	2,93
Ges.-N	7,18	5,41	6,41

Deutlich ist zu erkennen, daß der H⁺ -Eintrag an der Station Pfl (1720m) den höchsten Wert erreichte. Eine Zunahme war nur von der Mittelstation (Talwiese) zur Station Pfl, eine geringfügige Abnahme von der Meßstelle X3 zur Mittelstation zu beobachten.

Beim Sulfatschwefel-Eintrag war an der Station Pfl der höchste und an der Mittelstation der niedrigste Wert festzustellen. Etwa die gleichen Quantitäten wie beim Schwefel wurden für den Gesamtstickstoffeintrag (Summe aus NO₃- und NH₄-N-Eintrag) errechnet; die Depositionsraten zeigten wie beim Schwefel ein Minimum an der Mittelstation und ein Maximum an der höchstgelegenen Station. Der Nitratstickstoffeintrag war an allen drei Meßstellen annähernd gleich.

Der zeitliche Verlauf der H-, S- und N-Einträge (Abb.15) zeigt H⁺ -Spitzenbelastungen in den Monaten September 1984 und August 1985. Die höchsten S- und N-Einträge fanden im Sommer 1984 und 1985 statt.

Abb.14: H^{+} -, Sulfat-S-, Nitrat-N- und Gesamt-N-Einträge
(hochgerechnet auf das gesamte Jahr 1985)

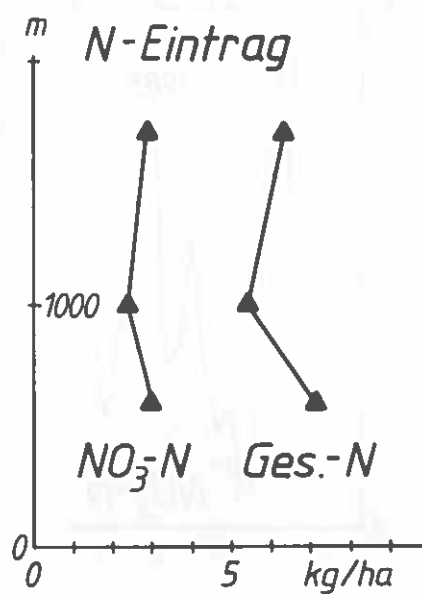
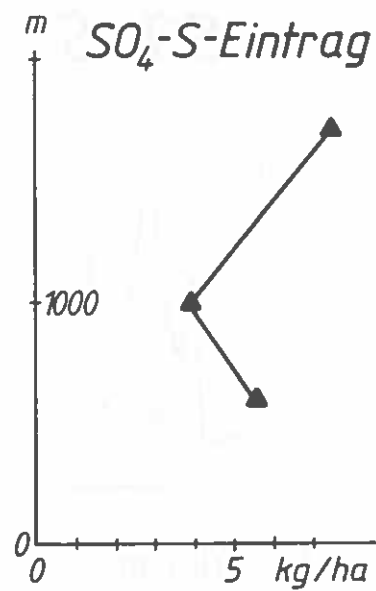
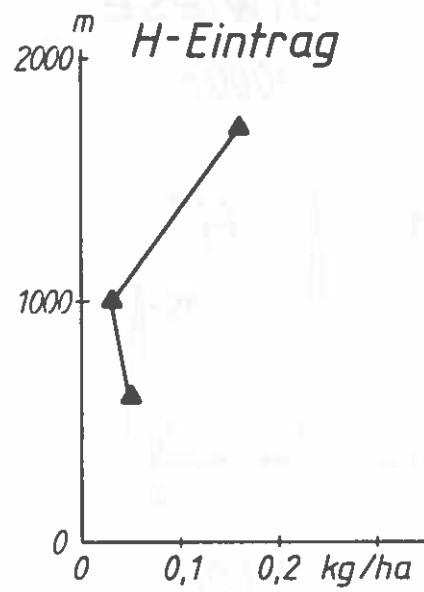
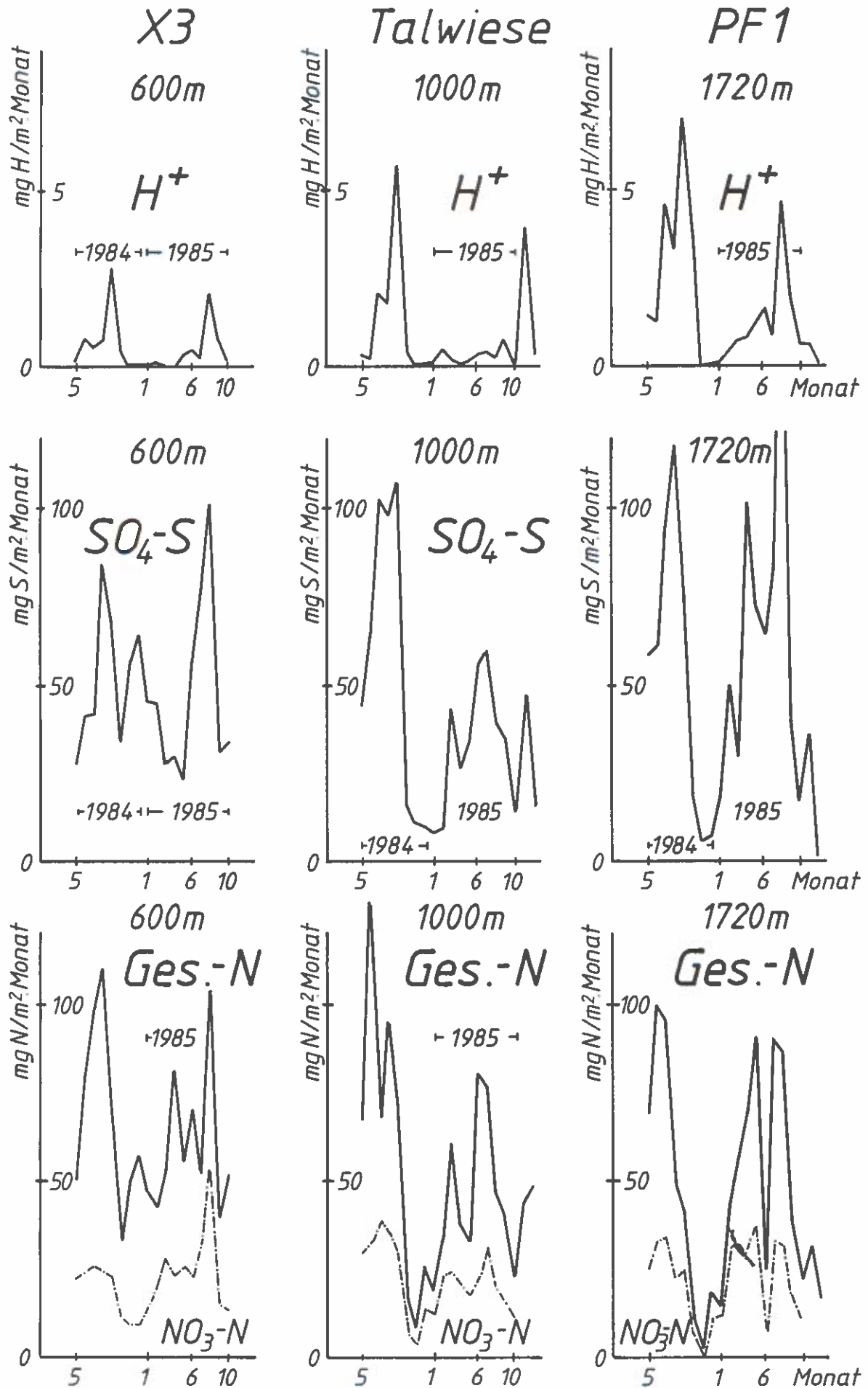


Abb.15: Zeitlicher Verlauf der H-, S- und N-Einträge



3.3. NADELANALYSEN

3.3.1. Nährstoffgehalte

Nährstoffgehalte der Fichtennadeln

Die Nährstoffgehalte der Fichtennadeln des jüngsten Nadeljahrganges (NJ.1) sind mit ihrer Bewertung in Tab.8 wiedergegeben.

Tab.8: Nährstoffgehalte der Fichtennadeln
(Nadeljahrgang 1, Entnahme September 1985)

- + ausreichend versorgt
- nicht ausreichend versorgt
- mangelhaft versorgt

Probe- fläche	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
1	1,12--	0,20+	0,70+	0,44+	0,11-
1a	1,01--	0,16+	0,58+	0,23-	0,10-
2	1,12--	0,17+	0,63+	0,38+	0,08-
3	1,20--	0,21+	0,74+	0,35-	0,10-
4	1,12--	0,17+	0,58+	0,43+	0,10-
5	1,26--	0,18+	0,49+	0,36-	0,12+
6	1,36-	0,23+	0,63+	0,50+	0,14+
7	1,19--	0,16+	0,63+	0,40+	0,10-
8	1,33-	0,20+	0,45+	0,41+	0,13+
9	1,32-	0,19+	0,80+	0,33-	0,12+
10	1,34-	0,21+	0,62+	0,30-	0,13+

Die Beurteilung der Nährstoffgehalte erfolgte nach GUSSONE (1964), die Grenzwerte für die einzelnen Nährstoffe für Fichte (Herbstentnahme) sind in Tab.9 wiedergegeben.

Tab.9: Grenzwerte für Nährstoffgehalte der Fichtennadeln
(Herbstentnahme) nach GUSSONE (1964)

Element (%)	Versorgung mangelhaft (--)	Versorgung nicht ausreichend (-)	Versorgung ausreichend (+)
N	< 1,31	1,31 - 1,50	> 1,50
P	< 0,12	0,12 - 0,13	> 0,13
K	< 0,34	0,34 - 0,42	> 0,42
Ca	< 0,11	0,11 - 0,36	> 0,36
Mg	< 0,08	0,08 - 0,11	> 0,11

Der Ernährungszustand der Fichten war nach den Ergebnissen der Nadelanalysen auf allen Probeflächen hinsichtlich Stickstoff mangelhaft bzw. unzureichend, in Bezug auf Phosphor und Kalium

ausreichend. Die Calciumversorgung war nicht ausreichend bis ausreichend, die Magnesiumversorgung, besonders an den höher gelegenen Probeflächen, nicht ausreichend.

Nährstoffgehalte der Zirbennadeln

Die Nährstoffgehalte der Zirbennadeln der Hochlagenflächen H1, H2 und H3 (NJ.1) sind in Tab.10 zusammengestellt.

Tab.10: Nährstoffgehalte der Zirbennadeln
(Nadeljahrgang 1, Entnahme 9/1985)

+ ausreichend versorgt
- nicht ausreichend versorgt
-- mangelhaft versorgt

Probefläche Nr.	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
H1 (Mischprobe)	1,31-	0,13-	0,51+	0,46+	0,09+
H2 (Mischprobe)	1,44-	0,15+	0,50-	0,45+	0,09+
H3 (Mischprobe)	1,75+	0,20+	0,68+	0,32+	0,12+

Da Beurteilungswerte für den Ernährungszustand von Zirben anhand von Nadelanalysendaten fehlen, es wurden hierfür diejenigen von *Pinus silvestris* (nach GUSSONE 1964; Tab.11) herangezogen.

Tab.11: Nährstoffgehalte der Nadeln von *Pinus silvestris*,
Werte aus GUSSONE (1964)

Element (%)	Versorgung mangelhaft (--)	Versorgung nicht ausreichend (-)	Versorgung ausreichend (+)
N	< 1,31	1,31 - 1,60	> 1,60
P	< 0,12	0,12 - 0,13	> 0,13
K	< 0,43	0,43 - 0,50	> 0,50
Ca	< 0,06	0,06 - 0,29	> 0,29
Mg	-	- 0,06	> 0,06

Die Zirbennadeln wiesen nur auf der Probefläche H3 eine ausreichende Versorgung mit Stickstoff auf, mit Phosphor auch an der Probefläche H2. Die Kaliumversorgung war an der Probefläche H2 nicht ausreichend, die Calcium- und Magnesiumversorgung hingegen an allen Probeflächen ausreichend.

3.3.2. Schwefelgehalte

Schwefelgehalte der Fichtennadeln

In den Proben des NJ.1 wurden Schwefelgehalte (Gesamtschwefelgehalte) zwischen 0,070 bis 0,095% S gefunden, im NJ.2 zwischen 0,072 und 0,095% S (Tab.12). Der gesetzliche Grenzwert für den Gesamtschwefelgehalt von 0,11% (NJ.1) bzw. 0,14% (NJ.2) wurde in keiner der Proben überschritten. Wird der Minimalwert von 0,070 (Probefläche 1a, NJ.1) als lokaler Grenzwert angesehen, so kann gemäß 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (§5, lit. a) auf keine SO₂-Immissionseinwirkung geschlossen werden (Maximalwert: 0,095 %S).

Tab.12: Schwefelgehalte (%S) der Fichtennadeln
(Nadeljahrgang 1 und 2, Entnahme 9/1985; Mittelwert eines Baumpaares)

Probefläche Nr.	Schwefelgehalt (%S)	
	NJ.1	NJ.2
1	0,077	0,078
1a	0,070	0,077
2	0,074	0,074
3	0,094	0,082
4	0,085	0,085
5	0,075	0,072
6	0,084	0,073
7	0,088	0,095
8	0,093	0,093
9	0,095	0,092
10	0,085	0,085

Schwefelgehalte der Zirbennadeln

Die Gesamtschwefelgehalte der Zirbennadeln lagen zwischen 0,070 und 0,101 % S (Tab.13).

Tab.13: Schwefelgehalte der Zirbennadeln
(Nadeljahrgang 1, Entnahme September 1985)

Probefläche Nr.	Schwefelgehalt (%S)	
	NJ.1	
H1 (Mischprobe)	0,079	
H2 (Mischprobe)	0,070	
H3 (Mischprobe)	0,101	

3.3.3. Schwermetallgehalte

Schwermetallgehalte der Fichtennadeln

Die Bleigehalte waren mit Ausnahme der Proben der Probeflächen 5, 6 und 7 (1000m bis 1200m) und der Probefläche 9 (850m) im NJ.1 höher als im NJ.2 (Tab.14). Die höchsten Werte wurden auf der Probefläche 1a und 8 gemessen. Die Bleigehalte sämtlicher Proben geben nach KNABE (1984) keinen Hinweis auf Pb-Immissionseinwirkung und liegen innerhalb des in der Literatur genannten natürlichen Bereiches (0,1 bis 6 mg/kg; zitiert bei GLATTES 1986).

Tab.14: Blei- und Cadmium-Gehalte der Fichtennadeln
(Nadeljahrgang 1 und 2, Entnahme September 1985)

Probefläche Nr.	Pb (mg/kg)		Cd	
	NJ.1 (1985)	NJ.2 (1984)	NJ.1 (1985)	NJ.2 (1984)
1	0,65	0,20	0,03	0,04
1a	1,44	0,37	0,05	0,12
2	0,59	0,55	0,16	0,04
3	0,97	0,30	0,03	0,07
4	1,00	0,30	0,30	0,15
5	0,42	0,67	0,09	0,06
6	0,37	0,73	0,12	0,09
7	0,35	0,90	0,10	0,14
8	1,39	0,63	0,20	0,09
9	0,67	0,80	0,06	0,07
10	0,90	0,10	0,08	0,12

Tab.15: Bewertung der Bleigehalte von Fichtennadeln
(nach KNABE 1984)

Klasse	mg Pb/kg	Hinweis auf Immissionseinwirkung
1	unter 4,0	kein Hinweis
2	4,0 - 7,9	möglich
3	8,0 - 15,9	beginnend
4	16,0 - 31,9	stärker
5	über 31,9	sehr stark

Die Cadmiumgehalte waren deutlich geringer als die Bleigehalte und lagen im 1. NJ. zwischen 0,03 und 0,30 mg/kg, im 2. NJ. zwischen 0,04 und 0,15 mg/kg. Der höchste Cadmiumgehalt wurde in den Nadeln der Probefläche 4 in 1300m Seehöhe festgestellt. Die Gehalte liegen ebenfalls im natürlichen Bereich (0,05 - 0,6 mg/kg; zitiert bei GLATTES, 1986).

Schwermetallgehalte der Zirbennadeln (Tab.16)

Die Bleigehalte der Nadelproben der Probefläche H1 (0,53 mg/kg) und H2 (1,15 mg/kg) waren im Vergleich zur Probefläche H3 (1,97 mg/kg) geringer. Der Bleigehalt der Zirbennadeln der Probefläche H3 war der höchste aller Nadelproben. Die Cadmiumgehalte lagen zwischen 0,38 und 0,80 mg/kg (Maximalwert: Probefläche H2).

Tab.16 : Blei- und Cadmium-Gehalte der Zirbennadeln
(Nadeljahrgang 1, Entnahme 9/1985)

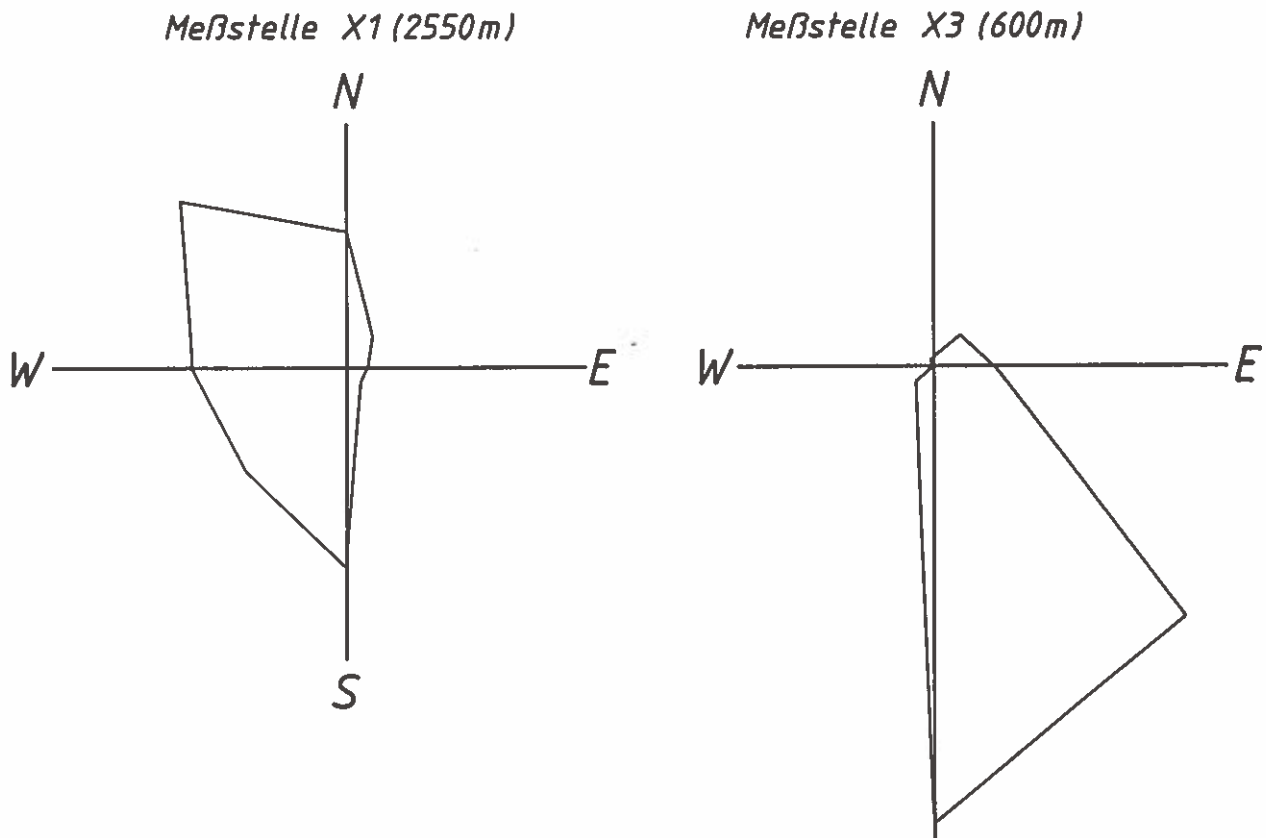
Probefläche Nr.	Pb (mg/kg)	Cd
H1 (Mischprobe)	0,53	0,38
H2 (Mischprobe)	1,15	0,80
H3 (Mischprobe)	1,97	0,65

3.4. METEOROLOGISCHE MESSUNGEN

Die Tagesmittel der Windgeschwindigkeiten an der Meßstelle X1 (Pangert, 2550m) während der Meßperiode lagen zwischen 0,40 und 11,79 m/s, das Gesamtmittel betrug 4,41 m/s. Es wurde eine Windverteilung gemäß Abb.16 (links) festgestellt. Die vorherrschenden Winde waren annähernd gleichmäßig von Nord über West nach Süd zu registrieren, die Ost und Südostwinde fehlten fast gänzlich. Im Gegensatz dazu waren die Südostwinde an der Meßstelle X3 (600m) häufig, ebenso wie die Südwinde, letztere in Analogie zur Bergmeßstation X1.

Von der Meßstelle X3 liegen nur die Windverteilungen der Monate November und Dezember vor. Die Tagesmittel der Windgeschwindigkeiten lagen zwischen 0,21 und 2,25 m/s.

Abb.16: Relative Windrichtungshäufigkeiten an den Meßstellen X1 und X3



Rechnerische Erfassung der nicht sichtbaren Inversionen (Meßstellen X3, X4 und X5)

Zur Darstellung der Inversionsverhältnisse wurden im Bereich des Höhenprofiles in drei Höhenstufen Temperatur und Druck kontinuierlich erfaßt. Im "Bericht über die vertikale Temperaturschichtung im Gebiet des Schwendberges im Zillertal" führt KAISER (1986) aus, daß grundsätzlich im Untersuchungsgebiet im Winterhalbjahr zu jeder Tageszeit, jedoch bevorzugt in den späten Nacht- und frühen Vormittagsstunden, Inversionen auftreten können. Im Sommerhalbjahr ist das Auftreten von Inversionen im allgemeinen auf die Zeit zwischen 18.00 und 11.00 Uhr beschränkt. Diese Inversionen können so starke Ausprägung erreichen, daß - im Winterhalbjahr während des ganzen Tages hindurch, im Sommerhalb-

jahr zwischen 19.00 und 9.00 Uhr - die Temperatur an der Station Christlboden niedriger als am Arbiskopf sein kann. Wie dem Temperaturvergleich zwischen Hubenstock und Arbiskopf entnommen werden kann, ist eine Temperaturzunahme zwischen Hubenstock und Arbiskopf jedoch selten (Häufigkeit nie über 5%), woraus geschlossen werden kann, daß die Inversionen im Untersuchungsgebiet im allgemeinen auf Höhen unter 1500m NN beschränkt bleiben. Dies deckt sich recht gut mit den von NICKUS und VERGEINER (1984) für Innsbruck berechneten mittleren Temperaturprofilen, die für den 6.00 Uhr Termin, wenn die Inversion recht mächtig ausgeprägt sein sollte, ebenfalls die Inversionsobergrenze unter 1500m NN zeigen.

4. DISKUSSION

4.1. LUFTSCHADSTOFFMESSUNGEN

Ozon

Im Zuge der Diskussion um das "Waldsterben" wird den Photooxidantien neben biotischen und abiotischen Ursachen sowie anderen Luftschadstoffen ein großer Stellenwert als Mitverursacher bzw. Auslöser großflächiger Waldschäden beigemessen (ARNDT 1985, ELSTNER 1984, GUDERIAN 1985, KRAUSE et al. 1985, PRINZ 1985). Ozon kommt nicht nur im Bereich von Ballungsräumen (größtenteils anthropogen verursacht), sondern auch in Hochlagen bzw. "Reinluftgebieten" (vorwiegend natürlichen Ursprungs) Bedeutung als potentiell waldschädigender Faktor zu. In Hochlagen ist Ozon neben zahlreichen biotischen und abiotischen Stressoren als zusätzlicher Stressfaktor anzusehen. Deshalb war auch im Rahmen der Untersuchungen im Zillertal die Frage von Interesse, inwieweit die dort herrschenden Ozonkonzentrationen in verschiedenen Höhenlagen für die forstliche Vegetation für eventuelle Schädigungen relevant sein könnten.

Die ersten europäischen gesetzlichen Grenzwerte "zum Schutz von Mensch, Tier, Pflanze, ihrer Lebensgemeinschaften sowie der Böden" für Ozon wurden 1985 vom EIDGENÖSSISCHEN DEPARTMENT DES INNEREN wie folgt formuliert: "98% der Ozon-Halbstundenmittelwerte eines Monats müssen unter 100 µg/m³ liegen, der Einstundenmittelwert von 120 µg/m³ darf innerhalb eines Jahres nur einmal überschritten werden."

Zur Ergänzung seien gesetzliche Ozongrenzwerte außereuropäischer Länder angeführt:

	(ppb O ₃)		Literatur
	Langzeitwert (Beurteilungszeit)	Kurzzeitwert	
Argentinien	-	100 (1h)	UMWELTBUNDESAMT 1981
Canada	25 (24h)	80 (1h)	UMWELTBUNDESAMT 1981
Israel	100 (8h)	200 (1/2h)	UMWELTBUNDESAMT 1981
Japan	-	60 (1h)	OECD 1975
USA	-	120 (1h)	FEDERAL REGISTER 1979

Nach den Empfehlungen der WORLD HEALTH ORGANIZATION (1985) sollten Ozonkonzentrationen zum Schutz der Vegetation 102 ppb für das 1h-Mittel, 33 ppb für das 24h-Mittel und 31 ppb für das Mittel über die Vegetationsperiode (100 Tage) nicht überschreiten.

Die VDI-Richtlinie Nr. 2310 (1978) gibt als maximale Immissionskonzentrationen 75ppb (Halbstundenmittel) bzw. 25ppb (24-h Mittel und Mittelwert über ein Jahr) "zum Schutz von Mensch, Tier, Pflanze und Sachgut" an.

Das UMWELTBUNDESAMT der Bundesrepublik Deutschland formulierte im Jahre 1983 zum Schutze der Vegetation folgende Vorschläge:

Pflanzenempfindlichkeit	1/2h	ppb O ₃		4h
		1h	2h	
empfindlich	150	75	60	50
mittelempfindlich	250	175	125	100
weniger empfindlich	500	250	200	175

Der RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN in der BRD schlug 1983 zum Schutz der Pflanzen folgende Höchstgrenzen vor:

Pflanzenempfindlichkeit	1/2h	ppb O ₃	
		1h	4h
sehr empfindlich	150	75	25
weniger empfindlich	500	350	150

Im folgenden werden Ozonmeßwerte aus Österreich (Tab.17), der BRD und der Schweiz (Tab.18) aufgelistet, um sie anhand der Grenzwerte des Schweizerischen Departments des Inneren zu diskutieren.

Tab.17: Ozon-Monatsmittel MMW), 98-Perzentile und maximale Halbstundenmittel (max. HMW) von Meßstellen in Oberösterreich (AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG, 1985) und Tirol (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1986 und GLATTES et al., 1985)

Meßort (Zeitraum)	Seehöhe	MMW	98-Perzentile (ppb 03)	Max.HMW
Steyregg (I-XII/1985)	350m	6 - 45	-	117
Lenzing (I-XII/1985)	500m	9 - 45	-	120
Hall (V-XII/1981)	530m	4 - 18	-	81
Hall (I-IX/1985)	530m	3 - 24	-	77
PF9 (IV-IX/1985)	850m	32 - 48	66/80/80/88/66/78	103
Gramart (IV-XII/1985)	840m	10 - 37	-	116
Schöneben (I-XII/1985)	940m	20 - 50	-	108
Wurzeralm (I-XII/1985)	1400m	32 - 49	-	81
Nöslachjoch (VI-VII/1985)	1700m	48 - 61	-	111
Gampen (VIII-X/1985)	1840m	49 - 63	-	102
Ahornspitze/X2 (V-XI/1985)	1950m	29 - 47	57/55/63/60/56/49/40	62
Patscherkofel (V-XII/1981)	1954m	64 - 97	-	140
Patscherkofel (III-VI/1985)	1954m	50 - 65	-	90
Seegrube (III-XII/1985)	1960m	44 - 75	-	108

Werden die österreichischen Meßergebnisse anhand der Grenzwerte des Schweizerischen Department des Inneren (100 µg/m³ = 50ppb als HMW-Grenzwert, 98- Perzentil innerhalb eines Monats und 120 µg/m³ = 60ppb als maximaler HMW 1x pro Jahr) überprüft, so ergeben sich für die Meßstelle PF9 (98-Perzentile zwischen 66 und 89 ppb) und für die Ahornspitze (98-Perzentile zwischen 40 und 63ppb) Überschreitungen in den Sommermonaten. Für einige Meßmonate der in Tab.17 aufgelisteten Meßstellen (insbesondere solcher in höheren Lagen) trifft dies ebenfalls zu.

Mit Ausnahme der Meßstation Ahornspitze lagen an allen Meßstationen die maximalen Halbstundenmittelwerte deutlich über dem 1h-Grenzwert von 120 µg/m³ (60ppb). Daraus kann geschlossen werden, daß der schweizerische 1h-Grenzwert an den angeführten Meßstellen mit Ausnahme der Ahornspitze deutlich überschritten wurde.

Aus Tab.18 sind die maximalen 1h-Mittelwerte verschiedener Meßstellen aus der BRD und der Schweiz ersichtlich. An allen Meßstellen überschritt der maximale 1h-Mittelwert den schweizerischen 1h-Grenzwert:

Tab.18: Ozon-Jahresmittel (JMW) und maximale 1-Stundenmittel (max. 1h-MW) an einigen Meßstellen in der Bundesrepublik Deutschland und in der Schweiz (UMWELTBUNDESAMT, 1983 und BUCHER et al., 1986)

Meßort	Seehöhe	Jahr	JMW	max. 1h-MW (ppb O ₃)
Garmisch/BRD	740m	1982	27	99
Hohenpeissenberg/BRD (Oberbayern)	1000m	1980	30	63
		1981	32	84
		1982	35	120
		1983	30	79
		1984	34	130
		1985	37	100
Brotjackelriegel/BRD (Bayr.Wald)	1016m	1980	31	81
		1981	39	97
		1982	42	103
		1983	42	112
Schauinsland/BRD (Schwarzwald)	1205m	1980	54	175
		1982	44	130
		1983	44	124
Bodenmais/BRD (Bayr.Wald)	1300m	1982	31	78
		1983	31	85
		1984	29	70
Rötiboden/CH (Zentralalpen)	1660m	1985	42	87
Wank/BRD (Bayr.Alpen)	1780m	1980	40	98
		1981	41	93
		1982	43	93
		1983	49	116
		1984	48	105
Zugspitze/BRD (Bayr.Alpen)	2964m	1980	39	80
		1981	42	88
		1982	49	99
		1983	46	91
		1984	44	89

Berücksichtigt man, daß die Jahresmittelwerte in Tab.18 zum Teil an die 50-ppb-Grenze heranreichen, so ist anzunehmen, daß auch in einzelnen Meßmonaten das 98-Perzentil des Halbstundenmittels überschritten wurde.

Geht man davon aus, daß Ozonreduktionen in Tallagen und talnahen Lagen durch eine Reduktion der Präkursoren möglich sind, erhebt sich die Frage, wie die Ozongehalte in höheren Lagen, wo nur

geringe bis gar keine Vorläufersubstanzen vorhanden sind, reduziert werden können. Messungen räumlich naheliegender, aber unterschiedlich belasteter Meßregionen derselben Höhenstufe in Tirol ergaben zur selben Zeit deutliche Unterschiede im Ozongehalt: So wurde z.B. im Juni 1985 auf der Ahornspitze (Meßstelle X2) ein Monatsmittel von 45ppb gemessen, während dieses an den Meßstellen Seegrube (1960m, im Nahbereich von Innsbruck) bei 70ppb und am Patscherkofel (1960m, weniger als 10km Luftlinie von Innsbruck entfernt) im selben Monat bei 67ppb lag (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG 1986). An den ballungsnahen Meßstationen Seegrube und Patscherkofel herrschten in diesen Meßmonaten nur sehr geringe NOx-Konzentrationen. Diese Tatsache deutet auf keine verstärkte anthropogene Ozonbildung aus Vorläufersubstanzen an Ort und Stelle hin, sondern auf einen Antransport anthropogen gebildeten Ozons aus den Ballungsräumen.

Berücksichtigt man die Zunahme des natürlichen Ozongehaltes mit der Seehöhe und Angaben über natürliche Hintergrundkonzentrationen (SINGH et al. 1978, REITER et al. 1985, RICHARD et al. 1985), so erscheint es notwendig, bei der Diskussion um die Festsetzung von Grenzwerten zwischen Ballungsräumen (bzw. den von ihnen beeinflussten Gebieten, zu denen u.U. auch Hochlagen zählen können) und Hochlagen mit natürlichen hohen Ozongehalten zu unterscheiden. Für die Festsetzung von praktikablen Grenzwerten für Hochlagen erscheint es daher notwendig, einerseits die natürliche Hintergrundkonzentration "vor Ort", andererseits die physiologische Wirkung des Ozons insbesondere unter "Hochlagenbedingungen" genauer zu kennen. Ferner ist noch abzuklären, inwieweit sich die forstliche Vegetation in Hochlagen bereits an die natürlichen höheren Konzentrationen angepaßt hat. In Ballungsräumen ist die Ozonkonzentration u.a. von den z.T. beträchtlich hohen Konzentrationen der Präkursoren (Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe) abhängig; die Einhaltung der Grenzwerte kann in diesem Fall über die Reduktion derselben erfolgen, was auch die Reduktion der Ozongehalte in den von Ballungsräumen beeinflussten Gebieten zur Folge hätte.

Stickstoffdioxid

Wie für Ozon gibt es für Stickstoffoxide derzeit noch keine forstlichen Grenzwerte in Österreich. Hingegen gibt es in der Schweiz (EIDGENÖSSISCHES DEPARTMENT DES INNEREN, 1985) und der BRD (TA-LUFT, 1986) folgende Immissionsgrenzwerte:

In der BRD beträgt der Grenzwert für NO₂ 80 µg/m³ (IW1; Langzeitwert) bzw. 200 µg/m³ (IW2, Kurzzeitwert), in der Schweiz 30 µg/m³ (Jahresmittel) 80 µg/m³ (24h-Mittelwert, Überschreitung nur einmal pro Jahr zulässig) und 100 µg/m³ (95-Perzentil der Halbstundenmittelwerte über ein Jahr).

Tab.19 zeigt NO₂- Jahresmittelwerte und Variationsbreite der Monatsmittelwerte einiger österreichischer Meßstellen sowie die Zahl der Tagesmittelwerte über 80 µg/m³ als Diskussionsgrundlage der Grenzwerte des Eidgenössischen Departments des Inneren. Eine Besprechung des Schweizerischen 95-Perzentil-Grenzwertes ist anhand des vorliegenden Datenmaterials nicht möglich.

Tab.19: NO₂-Meßwerte von Tiroler und Oberösterreichischen Meßstellen (1985)

Meßstelle (Bundesland)	Meßmonate	Jahresmittel µg/m ³ (ppb)	MMW µg/m ³ (ppb)	Zahl der TMW-e über 80µg/m ³
Lenzing (OÖ.)	1-12	38 (20)	21- 63 (11-33)	7
Steyregg (OÖ.)	1-12	65 (34)	45-128 (23-67)	115
Wurzeralm (OÖ.)	1-12	6 (3)	1- 15 (0,5-8)	0
Schöneben (OÖ.)	1-12	11 (6)	4- 23 (2-12)	0
Hall (T.)	1-12	28 (15)	25- 75 (13-39)	-
Innsbruck/ Olymp.Dorf (T.)	1-12	24 (12)	17-248 (9-129)	-
Ramsau (T.)	11,12	-	46, 62 (24,32)	0
PF9 (T.)	4-9	-	6- 12 (3-6)	0

Nur an den Meßstellen Lenzing und Steyregg waren Überschreitungen des Schweizerischen Jahresgrenzwertes von 30 µg/m³ gegeben. Der Schweizerische Grenzwert für das Tagesmittel (80 µg/m³) wurde ebenfalls nur an den Meßstellen Lenzing und - besonders häufig - in Steyregg überschritten. Die Einhaltung des Schweizerischen 24h-Grenzwertes (80 µg/m³) an der Meßstelle PF9 (welche in der

Nähe der durch Ausflugsverkehr frequentierten Höhenstraße gelegen ist) überrascht ebenso wie die Einhaltung der Tagesmittelwerte an der Meßstelle Ramsau, da in diesem Bereich - neben dem Einfluß des lokalen Hausbrandes - auch eine erhebliche Belastung durch das Verkehrsaufkommen der nahegelegenen Hauptverkehrsstraße gegeben ist.

Die Berechnung von IW1 und IW2 aus den Meßdaten des Zillertales nach den gesetzlichen Bestimmungen der TA-Luft ist in Tab.20 wiedergegeben. Demgemäß werden die NO₂-Grenzwerte der Bundesrepublik Deutschland an keiner der beiden Meßstellen überschritten.

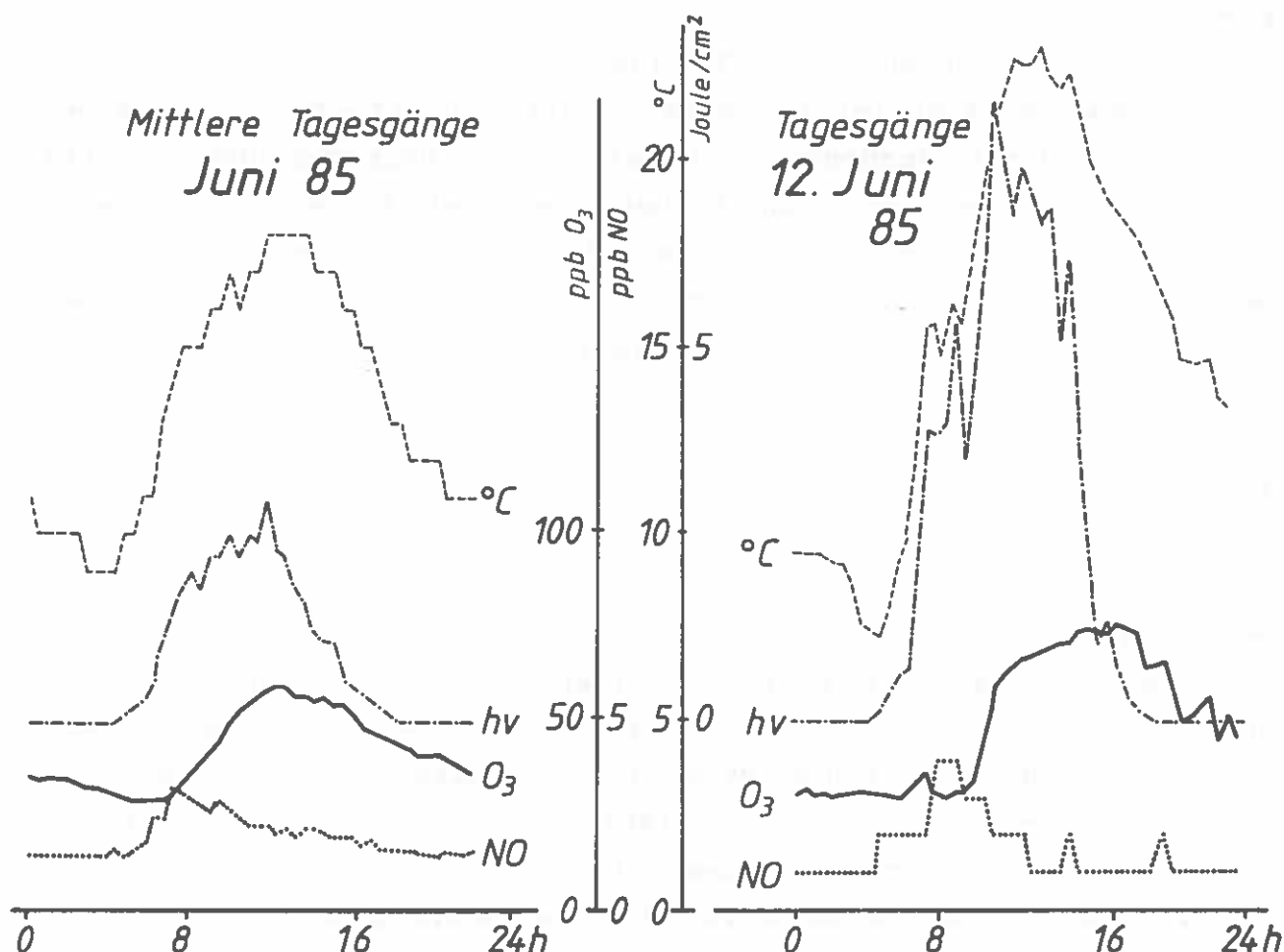
Tab.20: NO₂-Meßwerte

I1- und I2-Werte, basierend auf Monatsmittelwerten der Meßstellen X3 (600m) und PF9 (850m)

	Monat	I 1	I 2 (95%-Perzentil)
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppb)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ppb)
X3	November	62 (32)	95 (49)
	Dezember	46 (24)	86 (45)
PF9	April	3 (6)	6 (12)
	Mai	2 (4)	4 (7)
	Juni	2 (4)	4 (7)
	Juli	2 (3)	4 (8)
	August	2 (4)	4 (7)
	September	2 (4)	4 (7)

Anhand von Messungen an der Meßstelle PF9 soll am Beispiel eines Einzeltages im Juni 1985 (maximales Ozonhalbstundenmittel in diesem Monat) der Zusammenhang zwischen Ozon- und Stickstoffmonoxidkonzentration aufgezeigt werden; ein analoger Zusammenhang ist auch aus dem mittleren Tagesgang dieses Monats ersichtlich (Abb.17): Sobald in den Morgenstunden der Ozongehalt ansteigt, kommt es zu einem Absinken der NO-Konzentration. Diese Gegenläufigkeit fehlt jedoch, wenn in den späten Nachmittagsstunden die Lichtintensität soweit absinkt, daß die photochemischen Reaktionen nicht mehr weiter aufrechterhalten werden können.

Abb.17: Ozon- und NO-Konzentrationen sowie Temperatur- und Strahlungswerte am Beispiel eines mittleren Tagesganges im Juni (links) sowie am Tagesgang des 12. Juni (rechts) an der Meßstelle PF9



4.2. DEPOSITIONSMESSUNGEN

Ionenkonzentrationen

Gemäß einer früher gewählten Klassifizierung (SMIDT, 1984) können die Gesamtmittel der pH-Werte aller drei Stationen als "normal" bezeichnet werden, wenngleich einzelne pH-Werte von Tagesproben (bis pH = 3,3) "stark abgesenkt" waren. Hinsichtlich der Leitfähigkeiten muß die Ionenbelastung der Talstation als "deutlich erhöht" eingestuft werden, jene der Bergstationen (1000m und 1720m Seehöhe) als "unbedeutend" (auch hier gab es - wie auch an anderen "Hintergrundmeßstellen" Österreichs - mehr oder weniger erhöhte Tageswerte). Im Vergleich zu den anderen 12 Bulk-Niederschlagsmeßstellen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt sind die beiden Stationen am Schwendberg zu den "saubersten" zu zählen.

Darauf weisen auch die relativ geringen mittleren Ionenkonzentrationen hin.

Elementeinträge

Frühere Untersuchungen (SMIDT, 1986) haben bereits gezeigt, daß Ionen- bzw. Elementeträge durch nasse, absetzbare Depositionen in verschiedenen Seehöhen innerhalb eines Untersuchungsgebietes recht unterschiedlich sein können. Bei den bisherigen Auswertungen ergab sich beim Wasserstoffeintrag ein Maximalwert an der Bergstation (PFl); die geringsten H-, S- und N-Einträge wurden 1985 stets an der Mittelstation (Talwiese) festgestellt.

4.3. NADELANALYSEN

Nährstoffgehalte

Der Vergleich der beiden Fichtennadel-Herbstentnahmen 1984 und 1985 (Abb.18a und b) ergab: Die Stickstoffversorgung blieb "nicht ausreichend" bis "mangelhaft", die Versorgung mit Phosphor war in beiden Jahren an allen Probeflächen ausreichend, die Kaliumversorgung war 1985 besser als 1984 (auch die Probeflächen 6 und 8 waren 1985 ausreichend versorgt). Bei der Calcium- und Magnesiumversorgung war ebenfalls eine Verbesserung zu konstatieren.

Beim Stickstoff, und weniger deutlich beim Magnesium, nahmen die Gehalte mit steigender Seehöhe in beiden Untersuchungsjahren ab.

Abb.18: Nährstoffgehalte der Fichtennadelproben
(NJ.1, Untersuchungsjahre 1984 und 1985)

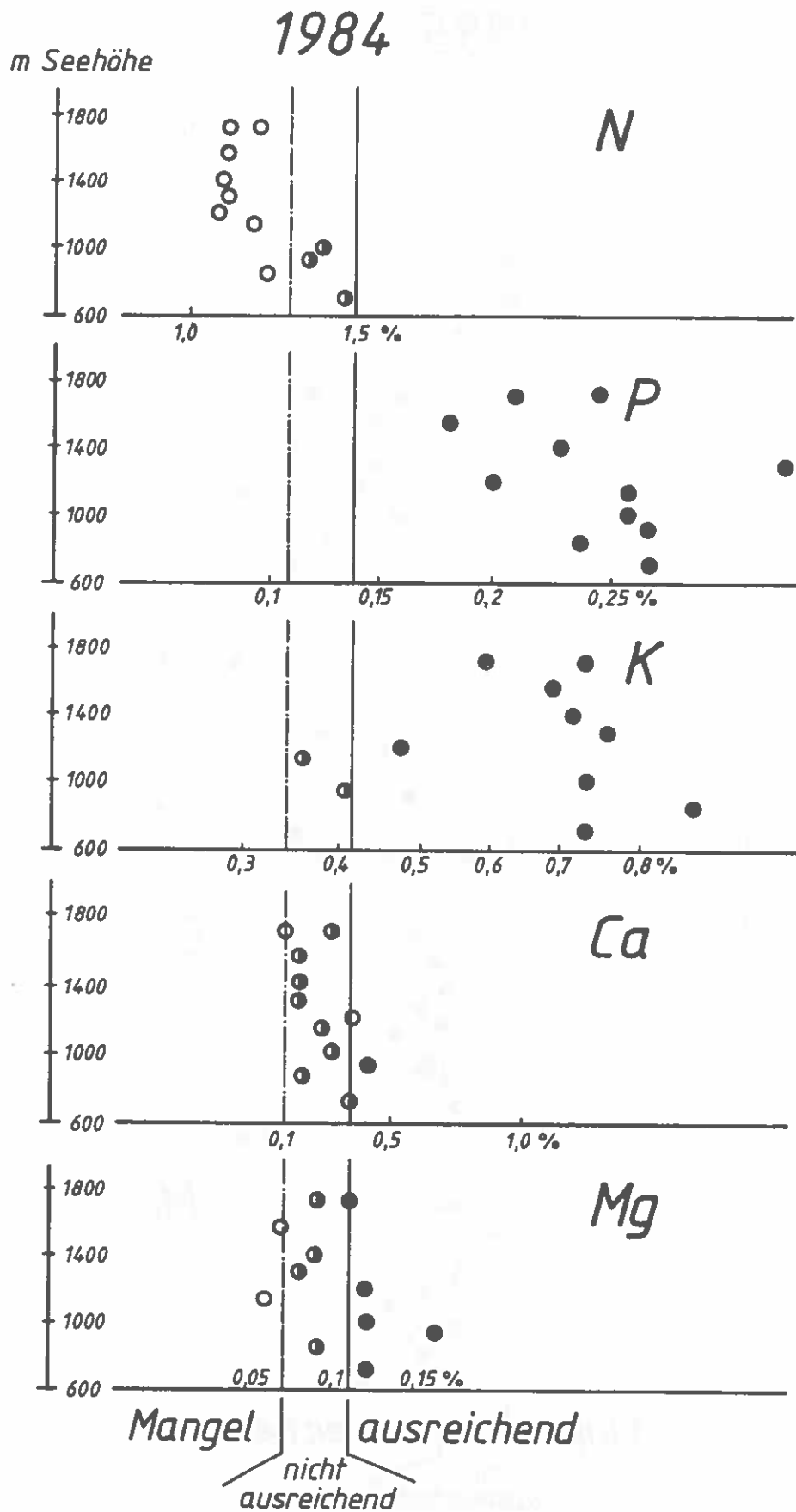
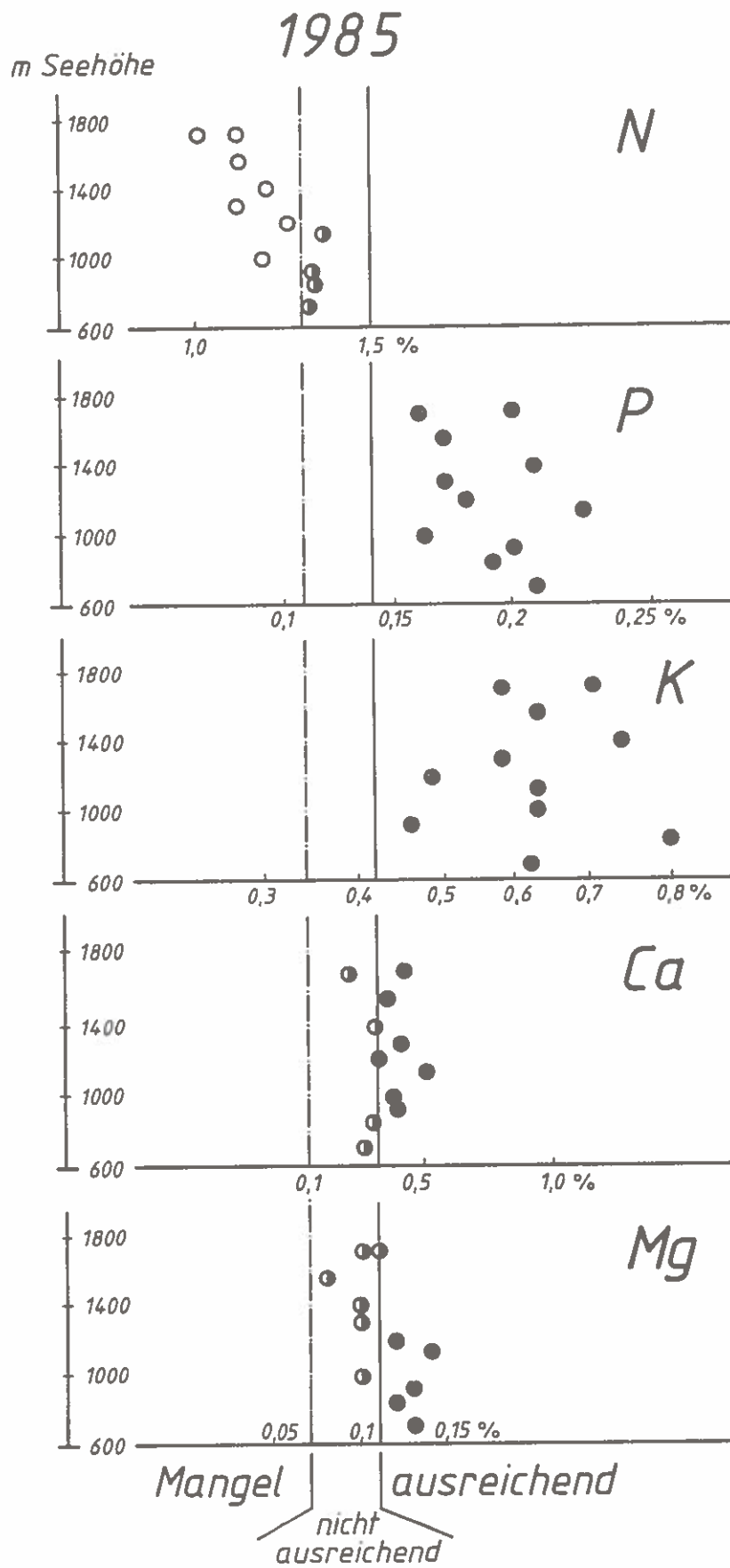


Abb.18, Fortsetzung:



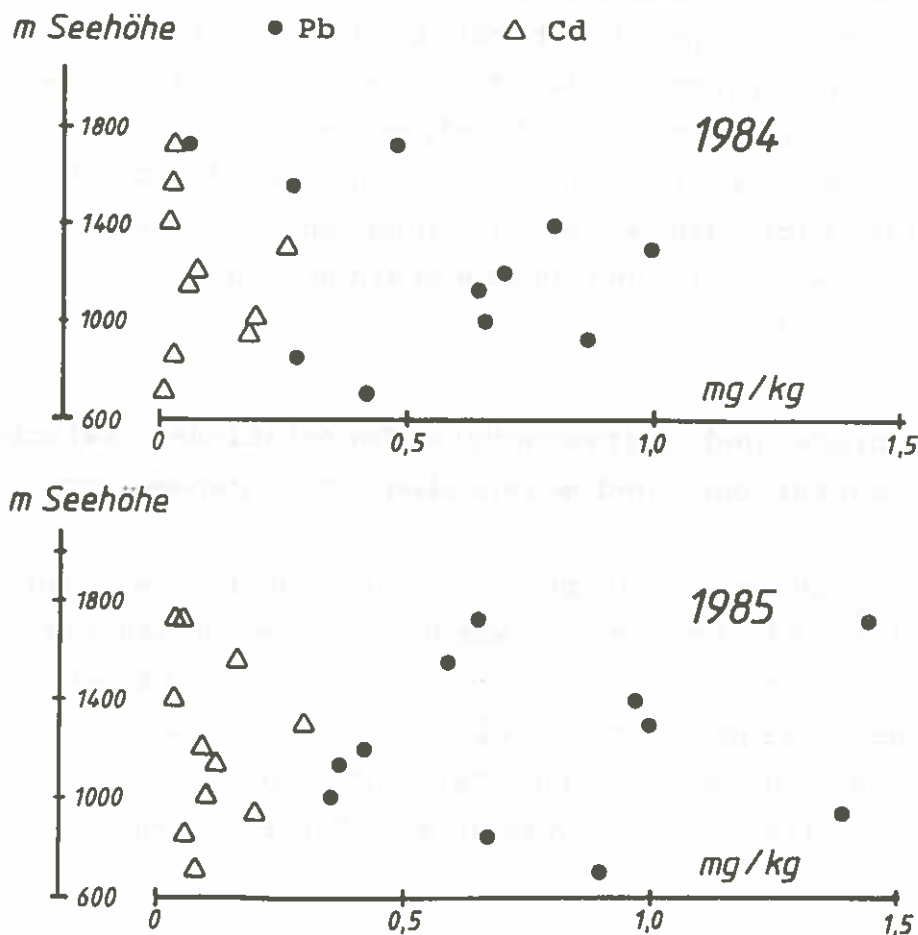
Schwermetallgehalte

Die Bleigehalte der Nadelproben (Fichte und Zirbe, Entnahme 1985) lagen innerhalb der in der Literatur als "natürlich" (0,1 bis 6mg/kg) angegebenen Konzentrationen. In den Nadelproben des Jahres 1984 war der maximale Bleigehalt 0,99 mg/kg (Probefläche 4, 1300m Seehöhe), 1985 1,44 mg/kg (Probefläche 1a, 1720m Seehöhe). Vergleicht man die Bleigehalte der Proben des Jahres 1984 mit jenen des Jahres 1985, findet man höhere Werte für die Probeflächen oberhalb 1300m Seehöhe (Probeflächen 1-4) sowie an den talnahen Probeflächen, geringere hingegen zwischen 1000m und 1200m (Abb.19).

Die Cadmiumgehalte der Fichtennadelproben lagen ebenfalls in dem in der Literatur als "natürlich" angegebenen Bereich (0,05 bis 0,6 mg/kg). Die Cadmiumgehalte der Nadelproben des Jahres 1985 waren mit einer Ausnahme (Probefläche 7) höher als 1984. Die höchsten Gehalte wurden (ebenso wie 1984) in den Nadelproben der Probefläche 4 gefunden.

Die Cadmiumgehalte der Zirbennadeln der Probeflächen H2 und H3 lagen über dem als natürlich angenommenen Gehalt in Blattorganen.

Abb.19: Blei- und Cadmiumgehalte der Fichtennadelproben
(Nadeljahrgang 1, Untersuchungsjahre 1984 und 1985)



zentrationen mit den bis zu vier Stunden zurück zeitversetzten meteorologischen Parametern ermittelt (d.h., es wurde berechnet, wie hoch der Korrelationskoeffizient zwischen der Ozonkonzentration und der Strahlung/Temperatur/Windgeschwindigkeit vor 0,5, 1 ... und vier Stunden war). Anzumerken ist, daß die Meßzeiträume an den drei Meßstellen nicht ident waren. Die Korrelationskoeffizienten ergaben für alle Meßstellen unterschiedliche Kurvenverläufe auf Grund der unterschiedlichen Ozontagesgänge (vgl. Abb. 2, 3 und 5) und der Variation der meteorologischen Parameter.

Zusammenhänge Ozon - Strahlung (Abb.21, oben)

Die Korrelationskoeffizienten waren an allen drei Meßstellen positiv und mit einer Ausnahme (im Dezember 1985 bei einer Zeitversetzung von 4 Stunden) signifikant von Null verschieden. An der Meßstelle X3 nahm der Korrelationskoeffizient im November 1985 mit zunehmender Zeitverschiebung ab, im Dezember erst ab einer Zeitversetzung von einer Stunde. Diese beiden Charakteristika weichen von der der Meßstelle PF9 (VI-IX/1984 und VI-IX/1985) deutlich ab, wobei der Zusammenhang zwischen Ozon und Strahlung am deutlichsten bei einer Zeitversetzung von 2,5 bis 3 Stunden gegeben war. Diese Charakteristika weisen auf die strahlungsabhängige Ozonbildung in Gegenwart von Stickstoffoxiden hin. Im Gegensatz dazu ergab sich an der Meßstelle X2 keine Veränderung der Ozonkonzentration mit der Strahlung, was darauf hinweist, daß keine Ozonbildung durch Präkursoren gegeben zu sein scheint.

Zusammenhänge Ozon - Temperatur (Abb.21, Mitte)

Die Korrelationskoeffizienten waren an der Meßstelle PF9 und der Meßstelle X2 positiv, an der Talmeßstation X3 während der Meßdauer November und Dezember ab einer Zeitverschiebung von drei Stunden negativ.

An der Meßstelle X3 war die stärkste Beziehung zwischen den Ozonkonzentrationen und den Temperaturen in den Monaten November und Dezember gegeben, wenn die Korrelationen ohne Zeitversetzung berechnet wurden; mit zunehmender Zeitversetzung nahm dieser ab.

Abweichend davon war an der Meßstelle PF9 der Zusammenhang zwischen Ozon und der Temperatur meist bei einer Zeitverschiebung

von 1 bis 2,5h am stärksten. Keinerlei Zusammenhang war an der Meßstelle X2 gegeben.

Zusammenhänge Ozon - Windgeschwindigkeit (Abb.21, unten)

Die Korrelationskoeffizienten, die auf Grund des geringen Datenmaterials nur für zwei Meßstellen und insgesamt 4 Monate erhoben werden konnten, waren mit Ausnahme des Meßmonats 11/1985 (Meßstelle X3) positiv.

Für die Meßstelle X3 ergaben sich die höchsten Korrelationskoeffizienten dann, wenn ohne Zeitverschiebung gerechnet wurde. Deutliche Zusammenhänge konnten an der Meßstelle PF9 festgestellt werden, wobei der Kurvenverlauf im August bei einer Zeitversetzung um 1 bzw. 1,5h ein Maximum zeigte.

Bemerkenswert erscheint bei der Betrachtung der obigen Ergebnisse, daß die Korrelationskoeffizienten an der Talstation X3 maximal waren, wenn ohne Zeitversetzung bzw. mit nur 1/2h Zeitversetzung gerechnet wurde. Sie waren jedoch - trotz der Signifikanz der Korrelationskoeffizienten - meist nur "schwach angedeutet" ($r = 0,25$ bis $0,50$) bzw. "sehr schwach angedeutet" ($r = 0,10$ bis $0,25$).

An der Meßstelle PF9 waren in mehreren Meßmonaten "deutliche" ($r = 0,50$ bis $0,75$) und teilweise auch "sehr deutliche" ($r = 0,75$ bis $0,90$) Beziehungen festzustellen.

Nur "sehr schwach angedeutet" waren die Zusammenhänge zwischen der Ozonkonzentration und Strahlung bzw. Temperatur an der Meßstelle X2.

Aus den verschiedenen Charakteristika der Kurven ist der Zusammenhang zwischen der herrschenden Ozonkonzentration und den die Ozonbildung beeinflussenden meteorologischen Parametern Strahlung und Temperatur ersichtlich. Die Kurvenverläufe sind in den warmen Monaten, in denen photochemische Reaktionen schneller ablaufen, anders ausgeprägt als in den Wintermonaten. Die Unterschiedlichkeit dieser Beziehungen hängt zudem mit den jeweiligen NO_x -Konzentrationen zusammen, die für die Ozonbildung ebenfalls mitbestimmend sind. Die kombinierte Auswertung von NO_x , Ozon und meteorologischen Parametern wird nach Vorliegen mehrjähriger Meßreihen vorgenommen.

Depositionsmessungen

Ionenkonzentrationen: Die Bulk-Niederschlagsmessungen an den drei Stationen (600m, 1000m und 1720m Seehöhe) ergaben, daß die gewichteten mittleren Ionenkonzentrationen fast aller gemessenen Ionen mit zunehmender Seehöhe abnahmen (die Chloridkonzentration war an der Mittelstation am höchsten und die H^+ - Konzentrationen nahmen "nach oben" zu). Während an der Talstation relativ hohe Anionen- und Calciumkonzentrationen gemessen wurden, können die beiden Stationen am Schwendberg in Hinblick auf die Qualität der Niederschläge als "Backgroundstationen" eingestuft werden. Beim Vergleich von Proben, die an denselben Tagen geworben wurden, stellte sich heraus, daß im Durchschnitt die Leitfähigkeiten eines Niederschlagsereignisses an den jeweils höhergelegenen Meßstellen geringer waren. Umgekehrt verhielt es sich - mit wenigen Ausnahmen - bei den H^+ -Konzentrationen.

Elementeinträge: Die H^+ -Einträge waren an der Bergstation (PF1) am höchsten, Schwefel- und Stickstoffeinträge zeigten unstetige Verläufe. Die geringsten H^+ -, S- bzw. N-Einträge wurden an der Mittelstation (Talwiese) festgestellt. Die für 1985 berechneten Wasserstoffeinträge lagen zwischen 0,03 und 0,16 kg $H/ha.a$, die Schwefeleinträge zwischen 4,0 und 7,8 kg $S/ha.a$ und die Gesamtstickstoffeinträge zwischen 5,4 und 7,2 kg $S/ha.a$. Die Quantitäten aller drei Einträge können als gering bezeichnet werden.

Nadelanalysen

Nährstoffgehalte: Die Versorgung der Nadeln mit Phosphor und Kalium war 1985 an allen Probeflächen ausreichend. Die Calciumversorgung war (an fünf der 11 Probeflächen) unzureichend, ebenso die mit Magnesium (diese vorwiegend an den höher gelegenen Probeflächen). Die Stickstoffgehalte waren an allen Probeflächen mangelhaft bzw. unzureichend und wurden mit zunehmender Seehöhe deutlich geringer.

Die Zirben der Hochlagenflächen zeigten eine ausreichende Versorgung mit Calcium und Magnesium und eine wechselnde, nicht ausreichende Versorgung mit Stickstoff und Kalium.

Schwefelgehalte: Die Schwefelgehalte der Fichtennadeln wiesen auf keine SO₂-Einwirkung hin.

Schwermetallgehalte: Die Bleigehalte der Fichten und Zirbennadelproben sowie die Cadmiumgehalte der Zirbennadelproben lagen im natürlichen Bereich, dagegen lagen die Cadmiumgehalte der Zirbennadeln auf zwei der drei Probeflächen über dem in der Literatur angeführten "natürlichen Gehalt". Blei- und Cadmiumgehalte waren in der Mehrzahl der Proben 1985 höher als 1984.

SUMMARY

Pollution measurements

Ozone: In analogy to the results of the year 1984, the mean diurnal course recorded in 1985 at the mountain station (Ahornspitze, 1950m) also showed low variation corresponding to those of an unpolluted area at higher altitudes; monthly averages in the period from May to November ranged from 29 to 47 ppb, maximum 30-min. averages from 42 to 62 ppb. At control point PF9 (850m) near the valley, increased 30-min. averages (from 72 to 103 ppb) between 14.00 and 16.00 p.m. were recorded which correspond to data registered in a polluted area, were not only "natural" ozone occurs but also ozone from precursors (mean monthly values April to September between 32 and 48 ppb).

In Austria, the Federal Republic of Germany and Switzerland, measurements at different sea levels revealed that the legal limiting values established by the Swiss Department of the Interior (30-min. averages of $100 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 50 \text{ ppb}$ /98-percentile; 1h-average $120 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 60 \text{ ppb}$, allowed to be exceeded once a year) are likely to be exceeded, especially at higher altitudes.

Nitrogen oxides: During the months of April to September, NO_x -concentrations measured at control point PF9 (850m) were very low (monthly average 6 to 9 ppb NO_x), maximum 30-min. averages were ranging from 8 to 63 ppb within these months. At the valley station X3 (600m), the NO_x measured in November and December amounted to 73 and 66 resp. (maximum 30-min. averages 194 and 252 ppb resp.).

Sulphur dioxide: The mean 30-min. values established in the Austrian Forest Law for the summer period ($0,07 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) were exceeded 110 times at control point X3 (valley station) in September and October. In November and December the 30-min. limiting value ($0,15 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) was not exceeded. The 24-h average limit ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$ for the summer period and $0,10 \text{ mg}/\text{m}^3$ for the winter period) was exceeded 8 times (in September and October) at control point X6 (valley station).

Deposition measurements

Ion concentrations: Bulk precipitation measurements at three stations (600m, 1000m, 1720m above sea level) revealed that the weighted mean ion concentrations of almost all measured ions decreased with increasing sea level (chloride concentration was on its maximum at the middle station and H^+ - concentrations increased upwards). Whereas relatively high anion and calcium concentrations were measured at the valley station, both Schwendberg stations can be considered to be "background stations", as to precipitation quality. The comparison of samples taken on the same days showed that on average, the conductivity of a precipitation event was lower at higher located control points. The opposite is true for H^+ - concentrations with a few exceptions.

Elemental input: The H^+ - input reached a maximum at the mountain station (PF1), sulfur and nitrogen input showed discontinuous courses. The lowest H^- , S^- and N^- input values were found at the middle station. The input of hydrogen established in 1985 were between 0,03 and 0,16 kg $H/ha.a$, the input of sulfur between 4,0 and 7,8 kg $S/ha.a$ and the total nitrogen input between 5,4 and 7,2 kg $N/ha.a$. All three quantities can be qualified as low.

Needle analyses

Nutrient contents: The phosphorus and potassium supply in needles was sufficient in all plots in 1985. Calcium supply was insufficient (in five of the 11 plots), the same applies for magnesium supply (especially at the higher located sample plots). Nitrogen contents were deficient and insufficient resp. in all sample plots, markedly decreasing with increasing sea level. Swiss pines at higher altitudes proved to be sufficiently supplied with calcium and magnesium, whereas nitrogen and potassium supply was changeable and insufficient.

Sulfur contents: The sulfur contents of spruce needles showed no sign of SO_2 -impact.

Heavy metal contents: The lead contents in needles of spruce and Swiss pine were within the natural range, whereas in two of three sample plots cadmium contents of Swiss pine needles were above the "natural content" known from literature. In most of the samples lead and cadmium contents were higher in 1985 than in 1984.

RESUME

Analyse des pollutions atmosphériques

Ozone: En 1985, analogiquement aux résultats de 1984, la courbe des moyennes journalières à la station de montagne (Ahornspitze, 1950m) présente une variation peu accentuée; les valeurs correspondent à celles d'une région non polluée située à une haute altitude; les moyennes mensuelles du mois de mai jusqu'au mois de novembre variaient entre 29 et 47 ppb, les moyennes 30-min. maximum variaient entre 42 et 62 ppb. Au point de mesure PF9 à proximité de la vallée (850m) on note une courbe journalière prononcée avec des moyennes 30-min. maximum très élevées (entre 72 et 103 ppb) entre 14.00 et 16.00 heures, qui correspond à celle d'une région polluée, où apparaît non seulement l'ozone "naturel" mais aussi l'ozone à partir des précurseurs (moyennes mensuelles du mois d'avril au mois de septembre entre 32 et 48 ppb).

Des mesures effectuées aux différents niveaux de mer dans les stations en Autriche, en République fédérale allemande et en Suisse révélèrent que les valeurs limite établies par le Département suisse de l'intérieur (moyenne 30 min. $100 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 50 \text{ ppb}/98$ pour-cent, moyenne pour une heure $120 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 60 \text{ ppb}$, dépassement admissible: une fois par an) sont susceptibles d'être dépassées, en particulier aux hautes altitudes.

Oxydes d'azote: Du mois d'avril au mois de septembre les concentrations de NO_x étaient très basses au point de mesure PF9 (850m), les moyennes 30 min. maximum varieraient entre 18 et 63 ppb pendant ces mois. En novembre et décembre, les valeurs NO_x mesurées à la station de vallée X3 (600m) étaient de l'ordre de 73 et 66 ppb respectivement (moyennes 30-min. maximum entre 194 et 252 ppb).

Dioxyde de soufre: Les valeurs limite des moyennes pour une demi-heure établies dans la Loi forestière autrichienne pour la période d'été ($0,07 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) ont été dépassées 110 fois au point de mesure X3 (station de vallée). En novembre et décembre aucun dépassement de la valeur limite pour la moyenne 30 min. ($0,15 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$) eut lieu. La valeur limite de la moyenne journa-

lière (0,05 pour la période d'été ou 0,10 pour la période d'hiver) fut dépassée huit fois au point de mesure X6 (station de vallée).

Analyse des dépôts polluants

Concentration en ions: Il ressort des mesures de la précipitation bulk effectuées auprès des trois stations (600m, 1000m et 1720m au-dessus de la mer) que les concentrations moyennes en ions pondérées de la quasi-totalité des ions mesurés diminuaient avec l'altitude (les concentrations en chlorure étaient au plus fort auprès de la station du milieu, les concentrations en H^+ accusaient une tendance croissante vers le haut). Alors que les concentrations en anions et en calcium mesurées auprès de la station de vallée étaient relativement élevées on peut qualifier les deux stations sur le Schwendberg "d'arrière-plan" en ce qui concerne la qualité des précipitations. En comparant les échantillons prises à des jours donnés, on note que, en moyenne, la conductivité d'un événement de précipitation s'avéra inférieure auprès des points de mesure situés à haute altitude. A quelques exceptions près, c'est l'inverse qui vaut pour les concentrations en H^+ .

Dépôt des éléments: Les dépôts de H^+ atteignèrent un maximum auprès de la station de montagne (PF1), ceux de soufre et azote présentèrent des courbes discontinues. Les dépôts de H, S et N les plus bas furent enregistrés auprès de la station du milieu (pré de vallée). Les dépôts d'hydrogène établis pour 1985 variaient entre 0,03 et 0,16 kg $H/ha.a$, ceux du soufre entre 4,0 et 7,8 kg S/ $ha.a$ et le dépôt total d'azote était de 5,4 à 7,2 kg N/ $ha.a$. Ces quantités peuvent être qualifiées petites.

Analyse d'aiguilles

Teneur en éléments nutritifs: En 1985, l'approvisionnement des aiguilles en phosphore et potassium était suffisant sur toutes les parcelles. L'approvisionnement en calcium (sur 5 des 11 parcelles-échantillon) et celui en magnésium (en particulier sur les parcelles situées plus haut) était insuffisant. La teneur en azote était déficiente ou bien insuffisante sur toutes les

parcelles et diminuait sensiblement avec l'altitude. Le pin cembro reçut suffisamment de calcium et magnésium aux hautes altitudes tandis que l'approvisionnement en azote et potassium était insuffisant et sujet aux changements.

Teneur en soufre: La teneur en soufre des aiguilles de l'épicéa ne présenta aucun signe d'impact de SO₂.

Teneur en métal lourd: La teneur en plomb des aiguilles d'épicéa et de pin cembro resta dans les limites naturelles tandis que la teneur en cadmium des aiguilles de pin cembro dépassa la "teneur naturelle" sur deux des trois parcelles telle qu'elle est connue de la littérature. Sur la plupart des parcelles la teneur en plomb et en cadmium fut plus élevée en 1985 qu'en 1984.

6. LITERATUR

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (Landesbaudirektion, Immissionsschutz), 1985: Automatisches Luftüberwachungsnetz Oberösterreich, Monatsberichte.

AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, 1986: Zustand der Tiroler Wälder.- Bericht an den Tiroler Landtag für das Jahr 1985.

ARNDT U. 1985: Ozon und seine Bedeutung für das Waldsterben in Mitteleuropa.- Was wir über das Waldsterben wissen (E. NIESSLEIN, G. VOSS, Hrsg.), Deutscher Institutsverlag G.m.b.H. Köln, 160-174.

BUCHER J.B., W. LANDOLT, P.BLEULER, 1986: Ozonmessungen auf dem Rötiboden ob Göschenen UR.- Schweiz. Z. Forstwes. 137, 7, 607-621.

BUNDESGESETZBLATT FÜR DIE REPUBLIK ÖSTERREICH.- Jahrgang 1984, 89. Stück: Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen.

DER RAT VON SACHVERSTÄNDIGEN FÜR UMWELTFRAGEN, 1983: Waldschäden durch Luftverunreinigungen. Sondergutachten März 1983. Verlag W. Kohlhammer G.m.b.H. Stuttgart und Mainz (Juli 1983).

EIDGENÖSSISCHES DEPARTMENT DES INNEREN, 1985: Luftreinhalteverordnung (LRV).

ELSTNER F.E., 1984: Fichtensterben in "Reinluftgebieten": Strukturresistenzverlust.- Naturwiss. Rundschau 37, 52-61.

FEDERAL REGISTER, 1979: National primary and secondary ambient air quality standards for ozone. 44, FR 8220, Feb.8.

FRICKE W., 1983: Großräumige Verteilung und Transport von Ozon und Vorläufern.- VDI-Berichte Nr. 500.

GLATTES F., S.SMIDT, A.DRESCHER, C.MAJER, F.MUTSCH, 1985: Höhenprofil Zillertal - Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden, Einrichtung und Ergebnisse 1984.- FBVA-Berichte 9.

GLATTES F., 1985: Ozongehalte in verschiedenen Höhenlagen.- Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Bericht 1985, 130-140.

GLATTES F., 1986: Schwermetall- und Ozongehalte in Waldökosystemen.- Beiträge zur Umweltgestaltung A98, Erich Schmidt Verlag Berlin, 77-87.

GUDERIAN R., 1985: Air Pollution by Photochemical Oxidants.- Formation, Transport, Control, and Effects on Plants.- Ecological Studies 52, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo.

GUSSONE H.A., 1963: Ergebnisse eines Düngungsversuches an Kiefern auf nährstoffarmen Böden Norddeutschlands.- Allg. Forst- und Jagdztg., 2, 45-53.

GUSSONE H.A., 1964: Faustzahlen für Düngung im Walde.- Bayr. Landw. Verl. München, Basel, Wien.

KAISER A., 1986: Bericht über die vertikale Temperaturschichtung im Gebiet des Schwendberges im Zillertal.- Bericht der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

KNABE W., 1984: Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen.- Allg. Forstzeitschr., 847-848.

KRAUSE G.H.M., U.ARNDT, C.J.BRANDT, J.B.BUCHER, G.KENK, E.MATZNER, 1985: Forest decline in Europe: possible causes and etiology. Int. Symp. Acid. Prec. Muskoka, Ont., Canada, 1985. Water, Air, Soil Poll., im Druck.

NICKUS V., I. VERGEINER, 1984: The thermal structure of the Inn Valley atmosphere.- Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. A33, 199-215.

OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development), 1975: Photochemical oxidant air pollution. Paris.

PRINZ B., 1985: Zur Problematik der neuartigen Waldschäden.- Was wir über das Waldsterben wissen (E.NIESSLEIN, G.VOSS, Hrsg.), Deutscher Institutsverlag G.m.b.H. Köln, 175-189.

REITER R., R.SLADKOVIC, H.J.KANTER, 1985: Concentration of trace gases in the lower troposphere, simultaneously recorded at neighboring mountain stations at 740, 1780, and 2964 m.a.s.l. as a function of time and meteorological parameters, Part II: Ozone.- Fraunhofer Institut Garmisch-Partenkirchen.

RICHARD H.G., F. SCHNEIDER, J.JANICKA, 1985: Ausbreitung und Reaktion von Stickoxiden in Abgasfahnen von Punktquellen.- Staub Reinh. Luft 45, 2, 74-79.

SINGH H.B., F.L.LUDWIG, W.B.JOHNSON, 1978: Tropospheric ozone, concentrations and variabilities in clean remote atmospheres.- Atmospheric Environment 12, 2185-2196.

SMIDT S., 1983: Über das Auftreten von Ozon und Stickstoffoxiden in Waldgebieten Österreichs.- Eur. J. For. Pathol. 13, 133-141.

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

SMIDT S., 1985: Bulk-Messungen an drei Höhenprofilen.- Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Bericht 1985, 120-129.

SMIDT S., 1986: Bulkmessungen aus Waldgebieten Österreichs, Ergebnisse 1984 und 1985.- FBVA-Berichte Nr. 13.

TECHNISCHE ANLEITUNG ZUR REINHALTUNG DER LUFT (TA-LUFT), 1986.- Carl Heymanns Verlag KG. Köln, Berlin, Bonn, München.

UMWELTBUNDESAMT, 1983: Berichte 5/83: Luftqualitätskriterien für photochemische Oxidantien.- Erich Schmidt Verlag Berlin.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1978: Maximale Immissions-Werte, Richtlinie Nr. 2310.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1985: Consultation on ecological effects of air pollutants. Neukirchen, Austria, 24-28.Juni 1985, BP/CEH 002/m71(S), 7838I.

ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK, 1982: Arbeiten der Zentralanstalt, 53.

