

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>Methodik</b>	<b>3</b>
Meßstationen - Probenahme . . . . .	3
Chemische Analyse . . . . .	6
<b>Ergebnisse</b>	<b>7</b>
Räumliche Variabilität . . . . .	7
Zeitreihenanalyse . . . . .	12
<i>Haunsberg</i> .....	13
<i>St.Koloman</i> .....	16
<i>Werfenweng</i> .....	19
<i>Kolm-Saigurn</i> .....	22
<i>Sonnblick</i> .....	25
Saisonalitäten . . . . .	28
Trends . . . . .	30
<i>Interpretation der Graphiken</i> .....	30
<i>Trendbestimmung</i> .....	31
<b>Klassifizierung</b>	<b>33</b>
Cross-Correlation . . . . .	33
Zeitreihenvergleich . . . . .	37
<b>Anhang - Tabellen</b>	<b>39</b>
Jahresmittelwerte Konzentration . . . . .	39
Jahresmittelwerte Deposition . . . . .	41
10-Jahresmittelwerte Konzentration . . . . .	43
10-Jahresmittelwerte Deposition . . . . .	44
<b>Literatur</b>	<b>45</b>

# 1. Zusammenfassung

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der im Zeitraum Oktober 1983 bis September 1994 im Bundesland Salzburg durchgeführten Niederschlagsuntersuchungen präsentiert und verstärkt auf ihre statistische Aussagekraft untersucht. Zu den Zielsetzungen des Projektes gehörten die Untersuchung der zeitlichen Variabilität der Ionenkonzentration im Niederschlagswasser und die Abschätzung der Ioneneinträge im Untersuchungsgebiet.

An sieben Meßstellen (Haunsberg, St. Koloman, Werfenweng, Kolm Saigurn, Sonnblick, Salzburg-Flughafen und Gaisberg) wurden täglich "wet-only"-Niederschlagsproben gesammelt und die Niederschlagsmengen gemessen. Der pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit und der Ionengehalt der Niederschlagsproben wurden im Labor bestimmt. Dabei wurden im Niederschlagswasser die  $\text{NH}_4^+$ -,  $\text{Na}^+$ -,  $\text{K}^+$ -,  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ -,  $\text{Cl}^-$ -,  $\text{NO}_3^-$ - und  $\text{SO}_4^{2-}$ -Konzentrationen, sowie der Pb-Gehalt analysiert. Mit dem Niederschlagswasser wurden in den Untersuchungsjahren 1983 bis 1994 im Gebiet der Salzburger Meßstellen im Schnitt etwa 3-9 kg S/ha und etwa 5-15 kg N/ha eingetragen.

Die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser sind im Westen Österreichs geringer als in den östlichen Bundesländern, im Norden höher als im Süden. Ein weiterer Unterschied besteht zwischen den Stationen im inneralpinen Raum und den Stationen nördlich, östlich und südlich der Alpen. In inneralpinen Gebieten sind die Ionenkonzentrationen geringer als im Alpenvorland. Damit ist die Station Haunsberg mit den höchsten Ionenkonzentrationen des Salzburger Landesmeßnetzes belastet. Aufgrund der ergiebigen Niederschläge können jedoch auch in hochalpinen Lagen ökologisch relevante Ionenmengen deponiert werden. Unter Berücksichtigung der abgeschätzten trockenen Depositionen lassen die Naßdepositionsdaten der Salzburger Meßstellen Überschreitungen der critical loads für Schwefel- und Stickstoffverbindungen in den Voralpen und im Nordstau der Alpen vermuten.

Die Betrachtung der zeitlichen Verläufe der Jahresmittelwerte ergibt für die Ionen Ammonium und Nitrat keine augenscheinlichen Trends in der elfjährigen Untersuchungsperiode. Einzig der Ammoniumgehalt an der Station Haunsberg zeigt steigende Tendenz, was mit Untersuchungen an den Tiroler Meßstellen Reutte und Kufstein am Alpennordrand übereinstimmt. Der Zuwachs betrug zwischen 1984 und 1994 etwa 30%. Auffallend sind auch die relativ hohen Kalzium- und Chloridwerte an der Station Nußdorf ab 1993. Ähnliche Jahrgänge können auch für Werfenweng und die oberösterreichische Station Schöneben aufgezeigt werden. Die Ursache für dieses Phänomen der hohen Kalzium- und Chloridwerte, das auch Stationen in Niederösterreich betrifft, ist noch ungeklärt, zumal die Stationsbetreuer lokale Kontaminationen ausschließen.

Blei und Sulfatschwefel zeigen eindeutig fallende Trends bei allen betrachteten Stationen. Die Bedeutung Österreichs als "Importland" für Schwefel- und Stickstoffverbindungen wird durch den Import/Export - Vergleich mit dem Transportmodell der EMEP deutlich. Eine Reduktion der sauren Deposition in Österreich kann nur durch gesamteuropäische Emissionsbeschränkungen erreicht werden. Dagegen hängt die Abnahme der Bleikonzentration im Niederschlag direkt mit dem Rückgang des Verkaufs von verbleitem Benzin in Österreich zusammen. Die Korrelationskoeffizienten betragen für die Daten der Station Werfenweng 0.86, für Haunsberg und Sonnblick 0.69 und für Kolm Saigurn 0.87. Die Abnahme der Sulfatkonzentrationen betrug zwischen 1984 und 1994 an den Stationen Naunsberg, St. Koloman und Werfenweng zwischen 30% und 50%.

Im allgemeinen weisen die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser eine starke saisonale Variation auf. In den Wintermonaten sind die Ionenkonzentrationen geringer als in der Periode vom Frühjahr bis zum Herbst. Auffällig ist in allen Zeitreihen das Auftreten eines lokalen Konzentrations-Maximums zwischen März und Mai und eines zweiten Maximums im Spätsommer. Jahreszeitlich unterschiedlich starke Emissionen sowie jahreszeitliche Unterschiede bei luftchemischen Prozessen dürften ursächlich für das saisonabhängige Auftreten hoher Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser sein. Das Frühjahrsmaximum mit den höchsten Konzentrationswerten im Jahrgang stellt zwar ein luftchemisches Phänomen dar, nachteiligen physiologischen Wirkungen sind aber nicht bekannt.

## 2. Einleitung

---

Im Zusammenhang mit dem Phänomen der "neuartigen Waldschäden" wird seit über 10 Jahren die Bedeutung von Säureeinträgen aus der Atmosphäre im Waldökosysteme diskutiert. Obwohl der sogenannte "Saure Regen" nicht die einzige maßgebliche Ursache für die beobachteten Waldschäden ist, kommt dem durch saure Niederschläge verursachten ökologischen Streß eine wesentliche Bedeutung zu und ist damit auch ein ökonomischer Risikofaktor. Aufgrund der ergiebigen Niederschläge und den damit verbundenen hohen Ioneneinträgen sind die sensitiven Ökosysteme der Alpenregion im besonderen Maße betroffen. In den vergangenen 11 Jahren wurde deshalb im Bundesland Salzburg die Situation der nassen Deposition im Gebiet der Voralpen und Zentralalpen untersucht. Die Vorreiterrolle des Amtes der Salzburger Landesregierung bei der Untersuchung "nasser Depositionen" darf an dieser Stelle hervorgehoben werden. Bei der Entwicklung eines Prototyps für einen "Wet only" Niederschlagsammler war Salzburg schon im Jahre 1982 beteiligt. Auch an der Erarbeitung der Richtlinie 11 "Immissionsmessung des nassen Niederschlags und des sedimentierten Staubes" aus der Reihe "Luftverunreinigung - Immissionsmessung" des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz war Salzburg federführend beteiligt. Diese Studie wurde mit dem Ziel einer Abschätzung der räumlichen Verteilung und der zeitlichen Variation der Deposition von Ionen durchgeführt. In der Folge soll eine Diskussion über die daraus resultierenden Einträge stattfinden. Nicht zuletzt dient die Untersuchung natürlich auch der Informationsgewinnung zur effizienten Planung weiterer Untersuchungen "saurer Depositionen" im Alpenraum.

Im vorliegenden Bericht werden die Meßergebnisse des Untersuchungszeitraumes Oktober 1983 bis September 1994 vorgestellt. Damit bestehen für das Land Salzburg Datensätze "nasser Depositionen" über einen Zeitraum von 11 Jahren.

Ergänzende Informationen zur Situation der nassen Deposition in den umliegenden Ländern und Niederschlagsdaten wurden uns von der Landesforstdirektion Tirol, dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung und der Wetterdienststelle Salzburg, der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung gestellt.

An dieser Stelle sei auch der Dank an die Betreuer dieses Niederschlagsmeßnetzes ausgesprochen. Die exakte Wartung der Meßgeräte und gewissenhafte Probenahme ist Voraussetzung für die Qualität der Meßergebnisse. Für die technische Betreuung sei Herrn Eichriedler vom Amt der Salzburger Landesregierung gedankt, sowie für ihre langjährige Probenahmetätigkeit Herrn Gautsch für die Meßstelle Haunsberg, Frau Kurz für die Meßstelle St. Koloman und der Familie Lackner für die Meßstelle Werfenweng. Ebenfalls gedankt sei der Wetterdienststelle Salzburg für die von der ersten Stunde an guten Zusammenarbeit bei der Messung der nassen Deposition im Land Salzburg.

## 3. Methodik

Die Probenahme und Analyse der Niederschlagsproben erfolgt entsprechend der Richtlinie 11 "Immissionsmessung des nassen Niederschlags und des sedimentierten Staubes" der Reihe "Luftverunreinigung - Immissionsmessung" des Bundesministeriums für Gesundheit und Umweltschutz (BMUJF, 1984). Die in der Untersuchung angewandten Methoden der Probenahme und der chemischen Analyse gewährleisten die bundesweite und internationale Vergleichbarkeit der Meßdaten der Niederschlagsuntersuchung.

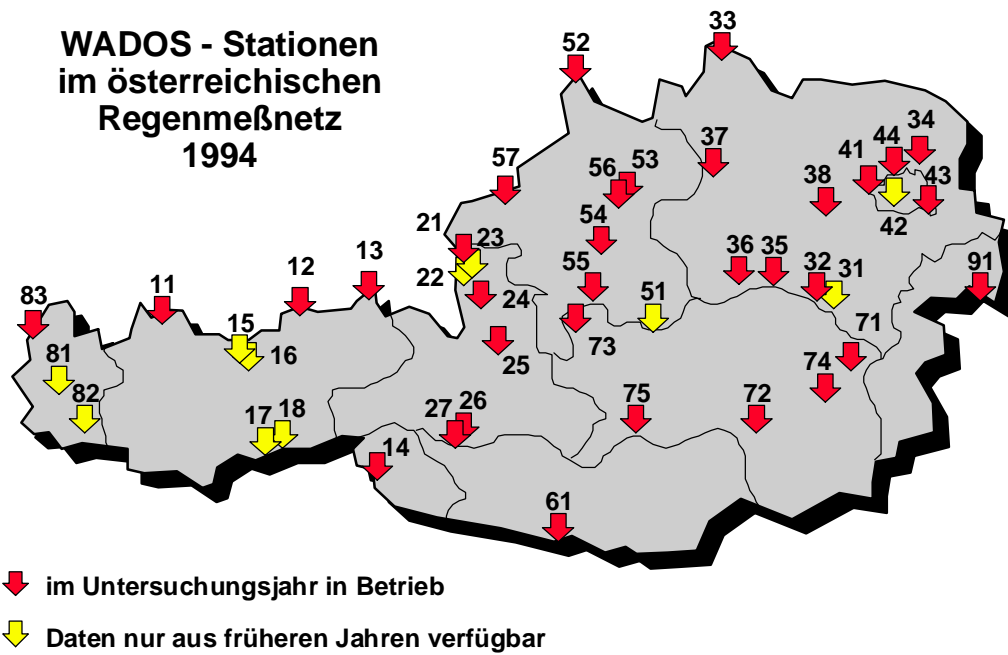
### 3.1. Meßstationen - Probenahme

Die ersten systematischen chemischen Untersuchungen von "Nassen Niederschlägen" (Regen und Schnee) in Österreich begannen 1957 mit einer Probenahme an der Meßstelle Retz. Die Meßstelle Retz war der österreichische Meßpunkt im "European Air Chemistry Network" (EACN) und gleichzeitig Teil des WMO "Background Air Pollution Monitoring Network" (BAPMON). Die Probenahme erfolgte monatlich mit offenen Sammelgefäßen ("bulk-collectors"). Trotz der mit den damaligen Methoden erhaltenen "geringen Datenqualität" (Granat, 1978) zeigen die Meßdaten einen deutlichen Anstieg bei Sulfat, Ammonium und Nitrat von der Periode vor 1960 bei Sulfat und Nitrat bis zur Mitte, bei Ammonium bis Ende der Siebzigerjahre (Cehak und Chalupa, 1985). Der Anstieg des Sulfats wurde in ganz Mitteleuropa im Zeitraum von den späten Fünfzigern bis in die frühen Siebzigerjahre mit einem Zuwachs von 40-60% beobachtet (Rohde und Granat 1984). Besonders dramatisch war jedoch die Zunahme der Stickstoffdeposition, die sich an der Meßstelle Retz von den späten Fünfzigerjahren bis in die späten Siebzigerjahre scheinbar mehr als verdoppelte.

Im Jahr 1982 wurden Richtlinien zum Aufbau eines nationalen Niederschlagsmeßnetzes in Österreich basierend auf täglicher Probenahme mit "Wet only" - Sammlern (BMUJF 1984) erstellt. Dieses Meßnetz umfaßt derzeit 32 Meßstellen. Abb.1 zeigt die Verteilung der Meßstellen in Österreich für den Untersuchungszeitraum Oktober 1983 bis September 1994. Die Meßstellen, die nur einen kürzeren Zeitraum in Betrieb waren, sind ebenfalls eingezeichnet. In Tab.1 sind die Stationsdaten zu den Zahlencodes der Meßstellen in Abb.1 aufgelistet. Drei dieser Meßstellen sind Teil des "EMEP" - Meßnetzes und werden vom Umweltbundesamt, die weiteren Meßstellen von den jeweiligen für Umweltschutz zuständigen Landesbehörden betrieben. Von den Meßstellen sind die EMEP - Meßstellen Achenkirch, Illmitz und St.Koloman seit 1983 in Betrieb. Die ersten Meßstellen in den jeweiligen Landesmeßnetzen wurden 1983 in Tirol und Salzburg, 1984 in Oberösterreich, 1986 in Vorarlberg und Wien, 1989 in Kärnten und Niederösterreich und 1990 in der Steiermark eingerichtet.

Eigentlich wurde schon 1982 im Bundesland Salzburg die erste "wet-only" Meßstelle im Wettergarten der Wetterdienststelle Salzburg-Flughafen vom Amt der Salzburger Landesregierung in Betrieb genommen. Sie diente in erster Linie der Prüfung der Sammeleffizienz und weiterer Tests am Prototypen für den Niederschlagssammler. So konnte dann mit der Aufstellung des ersten WADOS (wet and dry only precipitation sampler) an der Meßstelle Salzburg Flughafen im Jahre 1983 mit dem Niederschlagsmeßnetz im Land Salzburg begonnen werden. Anschließend wurden die Meßstellen Haunsberg, St.Koloman und Werfenweng eingerichtet. 1987 wurde die Meßstelle Salzburg Flughafen auf das Observatorium des Hohen Sonnblicks (3106 m a.s.l.) verlegt. Der Niederschlagsmeßstelle am Hohen Sonnblick kommt aufgrund der einzigartigen Lage des Observatoriums besondere wissenschaftliche Bedeutung zu. Neben der großen Seehöhe zeichnet sich die Meßstation durch die Entfernung zu starken Emissionsgebieten und das Fehlen lokaler Emissionen aus. Die Messungen an der Station Kolm Saigurn am Fuß des Sonnblicks (1600 m a.s.l.) und die Untersuchungen am Sonnblick selbst dienen der Abschätzung des Ioneneintrags in hoch- und inneralpinen Backgroundgebieten. Die Station am Gaisberg nahe der Stadt Salzburg wurde im Rahmen einer einjährigen Sonderstudie vorübergehend in Betrieb genommen. Die Auswahl der Standorte für die langfristig eingesetzten Niederschlagssammelgeräte im Land Salzburg sollte eine Abschätzung der nassen Deposition im Gebiet zwischen dem Alpenvorland und dem Alpenhauptkamm in Form eines Nord/Süd-Profiles ermöglichen (siehe Abb.1).

Im Rahmen der Immissionsstudie "Nasse Deposition im Bundesland Salzburg" wurden im Laufe des Zeitraums Oktober 1983 bis September 1994 Niederschlagsproben von sieben Meßstellen analysiert. Als Probenahmegerät dient ein WADOS (wet and dry only precipitation sampler), hergestellt von der Fa. Kroneis, Wien. Die elektronische Steuerung des Gerätes gewährleistet die Sammlung von "wet-only" Niederschlagsproben. Sensorgesteuert wird das Sammelgefäß nur während eines Niederschlagsereignisses geöffnet. Somit schließt der WADOS die trockene Deposition von Gasen und Partikeln aus. Abb.2 zeigt den WADOS an der Station Hoher Sonnblick (3106 m a.s.l.). Die Probenahme erfolgt nach einem Niederschlagsereignis täglich zwischen 7:00 und 8:00 MEZ. Die Proben werden in Versandflaschen abgefüllt und bis zum Transport in das Analysenlabor gekühlt aufbewahrt.



**Abb.1:** Überblick über alle WADOS Meßstellen in Österreich die Zahlen geben eine interne Stationskennung an

**Abb.2:** WADOS (wet and dry only precipitation sampler) Hoher Sonnblick (3106m)

Tab.1: Meßnetz Österreich

Land Code	Station	Länge E	Breite N	Seehöhe [m]	Periode [MM/JJ]	Labor
<b>Tirol</b>						
11	Reutte	1040'54"	4729'11"	930	11/83-	IAC
12	Achenkirch	1138'25"	4734'55"	840	11/83-	UBA
13	Kufstein	1213'38"	4739'47"	680	11/83-	IAC
14	Innervillgraten	1221'10"	4649'06"	1730	8/84-	IAC
15	IBK-Seegrube	1122'48"	4718'24"	1960	10/86-3/88	IAC
17	IBK-Reichenau	1125'05"	4716'36"	570	10/86-3/88	IAC
18	Nößlach	1128'20"	4703'22"	1420	10/84-9/85	IAC
19	Innerschmirn	1136'18"	4706'34"	1570	10/85-3/88	IAC
<b>Salzburg</b>						
21	Haunsberg	1301'00"	4757'23"	520	10/83-	IAC
22	Szbg Flughafen	1255'53"	4747'36"	433	10/83-9/86	IAC
23	Gaisberg	1306'53"	4747'45"	1010	10/89-11/90	IAC
24	St.Koloman	1314'00"	4739'03"	1020	10/83-	UBA
25	Werfenweng	1315'12"	4725'18"	940	10/83-	IAC
26	Kolm Saigurn	1259'04"	4704'05"	1600	10/89-	IAC
27	Sonnblick	1257'32"	4703'15"	3106	10/87-	IAC
<b>Niederösterreich</b>						
31	Hirschwang	1548'28"	4742'33"	500	4/86-3/88	IAC
32	Naßwald	1542'26"	4746'04"	600	5/88-	IAC
33	Litschau	1502'20"	4857'20"	560	10/89-	IAC
34	Wolkersdorf	1631'22"	4823'02"	180	10/89-	IAC
35	Josefsberg	1518'56"	4750'42"	1010	11/89-	IAC
36	Lunz	1504'07"	4751'18"	618	4/90-	IAC
37	Ostrong	1505'02"	4813'15"	575	4/91-	IAC
38	Kl.-Leopoldsdorf	1559'56"	4805'20"	400	7/91-	IAC
<b>Wien</b>						
41	Lainz	1614'07"	4812'02"	230	4/86-	IAC
42	Laaer Berg	1623'39"	4809'41"	250	4/86-3/90	IAC
43	Lobau	1630'51"	4811'15"	155	4/86-	IAC
44	Bisamberg	1622'59"	4818'49"	310	4/90-	IAC
<b>Oberösterreich</b>						
51	Wurzeralm	1416'30"	4738'48"	1400	1/84-7/89	LR-OÖ
52	Schöneben	1357'02"	4842'43"	920	1/84-	LR-OÖ
53	Steyregg	1421'16"	4817'23"	335	1/84-	LR-OÖ
54	Kremsmünster	1407'49"	4803'21"	384	1/86-	LR-OÖ
55	Grünau	1357'22"	4746'22"	591	1/87-	LR-OÖ
56	Linz-ORF	1418'09"	4817'52"	263	5/90-	LR-OÖ
57	Aspach	1317'51"	4811'07"	430	2/94-	LR-OÖ
<b>Kärnten</b>						
61	Naßfeld	1316'33"	4633'37"	1530	11/89-	IAC
<b>Steiermark</b>						
71	Masenberg	1552'56"	4720'53"	1137	3/90-	IAC/FZS
72	Hochgößnitz	1501'00"	4703'33"	900	3/90-	IAC/FZS
73	Grundlsee	1347'48"	4737'50"	954	3/90-	IAC/FZS
74	Weiz	1537'49"	4713'03"	456	4/90-	IAC/FZS
75	Stolzalpe	1412'10"	4707'50"	1302	12/91-	FZS
<b>Vorarlberg</b>						
81	Thüringerberg	0947'05"	4713'05"	960	4/90-3/92	IAC
82	Gaschurn	1001'30"	4659'30"	990	4/92-3/94	IAC
83	Hard	0941'17"	4730'08"	400	5/94-	IAC
<b>Burgenland</b>						
91	Illmitz	1646'08"	4746'12"	117	8/83-	UBA

### 3.2. Chemische Analyse

Im Analysenlabor wird der pH-Wert (Maß für die Acidität) der Regenproben mit der pH - Einstabmeßkette Typ Flushtrode P/N 238'060 der Fa. Hamilton für ionenschwache Wässer und dem WTW pH-Meter Typ pH523 bestimmt. Die elektrische Leitfähigkeit wird mit der Glasstandardtauchzelle PW 9510/00 (Zellkonstante 0,5 - 0,8/cm, Bereich 10  $\mu\text{S/cm}$  bis 30 mS/cm, Temperaturbereich 0 - 50 ° C) und dem Philips PW 9505 Conductivity Meter in 10 verschiedenen Meßbereichen (zwischen 0 - 3  $\mu\text{S/cm}$  und 0 - 100 mS/cm) bei der Bezugstemperatur 25° C erfaßt. Die Bestimmung der Bleikonzentrationen wird mittels Atomabsorptionsspektroskopie durchgeführt (Perkin Elmer 370, Graphitrohr, linearer Arbeitsbereich 1-100 ppb). Die Analyse der Kationen Natrium, Ammonium, Kalium, Kalzium und Magnesium, sowie der Anionen Chlorid, Nitrat und Sulfat erfolgt ionenchromatographisch auf zwei parallel geführten Analysenstraßen getrennt nach Anionen und Kationen. Die Auswertung erfolgt über Kalibration mit externen Standards, wobei jede 6. Probe als Standard gefahren wird. Tab.2 zeigt die Analysenparameter der ionenchromatographischen Systeme. Die Qualität der Analysen wird durch interne Qualitätskontrollen und durch die Teilnahme des Labors an internationalen Ringversuchen getestet (Universität Hamburg 1987 und 1988, ALPTRAC - Ringversuche 1991 und 1992, WMO 1992 und 1993, Paul Scherrer Institut 1993, JRC/Ispra 1993 und 1994).

Durch Kontamination können die im Labor eingelangten Niederschlagsproben verunreinigt sein. Im langjährigen Mittel wurden etwa 5 % der Niederschlagsproben als verunreinigt ausgeschieden. Neben sichtbaren Verunreinigungen im Niederschlagswasser wurden Verunreinigungen der Proben meist bei der chemischen Analyse erkannt. Aus den Berechnungen wurden diese Analysendaten ausgeschlossen. Durch zeitweise Ausfälle der Probennahmereinheit können ebenfalls Lücken im Datensatz der Untersuchung entstehen. Um eine systematische Unterschätzung der durch nasse Deposition eingetragenen Ionenmengen zu vermeiden, wurde der Anteil der fehlenden Niederschlagsproben am Ioneneintrag hochgerechnet. Dabei wurden fehlende Niederschlagsmessungen und Unterbrechungen in der Probenahme durch Niederschlagsdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und des Hydrographischen Dienstes ergänzt.

**Tab.2:** Analysenparameter der Ionenchromatographie

	Kationen	Anionen
Gerät	Dionex-Qic Analyzer	Dionex GPM-2, CD 20
Säule	Dionex Ion Pac CS12	Dionex Ion Pac AS4A-SC
Vorsäule	Dionex Ion Pac CG12	Dionex Pac AG4A-SC
Eluent	17mM MSA	1,8mM Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + 1,7mM NaHCO <sub>3</sub>
Flow	1ml/min	1ml/min
Suppressor	Dionex CSRS-I 4mm (elektrochemisch)	ASRS-I 4mm (elektrochemisch)
Regenerant	Eluent im Kreislauf	Eluent im Kreislauf
Probenschleife	20 $\mu\text{l}$	30 $\mu\text{l}$
Detektion	Leitfähigkeitsdetektor	Leitfähigkeitsdetektor
Detektorempfindlichkeit	10 $\mu\text{S}$	5-30 $\mu\text{S}$

## 4. Ergebnisse

Die Auswertung der Untersuchungen der nassen Deposition im Land Salzburg wurden in jährlichen Berichten des Institutes für Analytische Chemie der Technischen Universität Wien in Zusammenarbeit mit dem Amt der Salzburger Landesregierung herausgegeben. In den folgenden Abschnitten werden die zentralen Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammengefaßt und mit den gesamten Daten aus den 11 Jahren verstärkt auf ihre statistische Aussagekraft untersucht.

Die Niederschlagsuntersuchungen dienen der Erfassung der zeitlichen und räumlichen Trends der Stoffeinträge von Schwefel und Stickstoffverbindungen, freier Säure sowie von neutralisierenden Kationen. Diese Daten sind von besonderer Bedeutung für die Abschätzung der Entwicklung des Zustands der Böden im Rahmen des "Critical Load" Konzepts. Weiters erlauben die Meßdaten Rückschlüsse auf atmosphärisch-chemische Prozesse (Puxbaum et al., 1988 bzw 1991) und fungieren als Datenbasis für die Validierung luftchemischer Modelle (EMEP, Sandnes 1993).

Durch den Niederschlag werden Ionen aus der Atmosphäre in Ökosysteme eingetragen. Dabei sind sowohl die Konzentration der Ionen im Niederschlagswasser, als auch die Niederschlagsmenge für das Ausmaß der Ionendeposition von Bedeutung. Bis zur Sättigung eines Ökosystemes kann der Eintrag an Ionen unter Umständen einen günstigen Nährstoffeintrag darstellen. Wird jedoch eine kritische Belastungsgrenze überschritten, führt die weitere Zufuhr von Ionen zu Schädigungen. Das Festlegen dieser vom jeweiligen Ökosystem abhängigen kritischen Belastungsgrenzen gestaltet sich als äußerst komplex. Die Diskussion um solche "Critical Loads" ist derzeit international im Gange. Unter Berücksichtigung der abgeschätzten trockenen Depositionen (Kovar et al., 1991) lassen die Naßdepositionsdaten der Salzburger Meßstellen Überschreitungen der critical loads für Schwefel- und Stickstoffverbindungen in den Voralpen und im Nordstau der Alpen vermuten (Schulze et al., 1990).

### 4.1. Räumliche Variabilität

Aufgrund der Messungen der nassen Deposition in Salzburg und in den angrenzenden Bundesländern, sowie der Informationen aus Niederschlagsberechnungen sind detaillierte Aussagen über die räumlichen Unterschiede der Niederschlagsqualität und des jährlichen Ioneneintrags im untersuchten Gebiet möglich.

Basierend auf den Ergebnissen der chemischen Analyse der Niederschlagsproben und den gemessenen Niederschlagsmengen wurden die Elfjahresmittelwerte der Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser, sowie die Elfjahresmittelwerte der Massenflüsse der untersuchten Komponenten berechnet. In Tab.27-30 im Datenanhang ab S.43 sind die mengengewichteten Elfjahresmittelwerte der Salzburger WADOS-Stationen und zum Vergleich die Mittelwerte der Tiroler und dreier oberösterreichischer Stationen für die betrachteten Ionen als Konzentrations- und Depositionswerte aufgelistet. Das jeweilige Untersuchungsintervall ist ebenso angegeben, wie die mittlere Niederschlagsmenge. Die den Berechnungen zugrunde liegenden Jahresdaten der Salzburger Stationen sind im Anhang (Tab.15 bis Tab.26 ab S.39) sowohl als Jahresmittelwerte der Ionenkonzentrationen in mg/l, als auch als Jahresmittelwerte der Depositionen in kg/ha für die einzelnen Stationen aufgelistet. Die Daten der oberösterreichischen Stationen sind dem Meßbericht 6 der oberösterreichischen Landesregierung (Sommer et al., 1994) entnommen, die Daten der Tiroler Stationen entstammen der institutseigenen Datenbank. Die räumliche Verteilung der mengengewichteten Elfjahreskonzentrationen im Niederschlag, sowie der Einträge an Sulfat-Schwefel, Nitrat-Stickstoff und Ammonium-Stickstoff, ist darüber hinaus in den Abbildungen 3 bis 8 dargestellt. In den Österreichkarten sind die Niederschlagsmeßstellen mit Pfeilen gekennzeichnet, die Konzentrationswerte sind auf eine Nachkommastelle gerundet angegeben. Die Pfeile sind in vier Größenklassen und Farben eingeteilt, um die Verteilungsstrukturen besser visualisieren zu können.

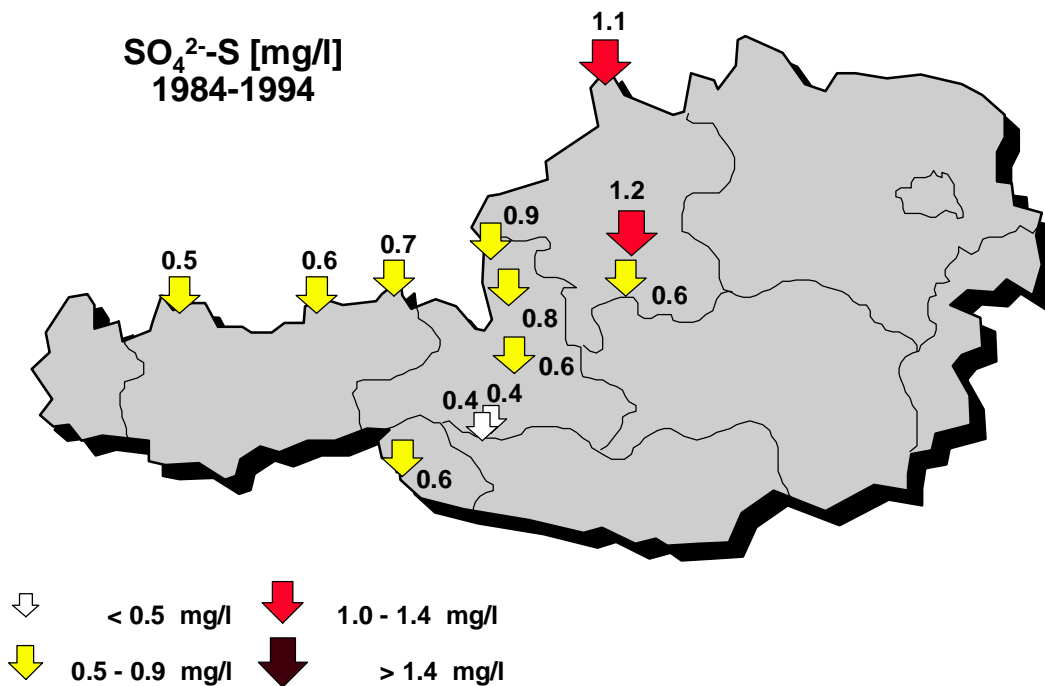
Da lokale Emissionen eine geringe Relevanz für die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser haben, sind die Untersuchungsergebnisse einer Meßstelle für ein größeres Gebiet repräsentativ. Bei der räumlichen Verteilung der Ionenkonzentrationen sind ein West-Ost- und ein Nord-Süd-Gradient zu bemerken. Die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser sind im Westen Österreichs geringer als in den östlichen Bundesländern und im Süden geringer als an den nördlichen Stationen. Ein weiterer Unterschied besteht zwischen den Stationen im inneralpinen Raum und den Stationen nördlich, östlich und südlich der Alpen. In inneralpinen Gebieten sind die Ionenkonzentrationen geringer als im Alpenvorland. Das Gebiet der Hohen Tauern mit den Stationen Sonnblick und Kolm Saigurn gehört zu diesem inneralpinen Typus. Die Konzentrationen an der Station Werfenweng sind deutlich geringer als an der Station Nußdorf am Haunsberg im Alpenvorland. Am Haunsberg werden die höchsten Ionenkonzentrationen der Salzburger Stationen gemessen. Die Gradienten wurden schon bei Puxbaum et al. (1991)



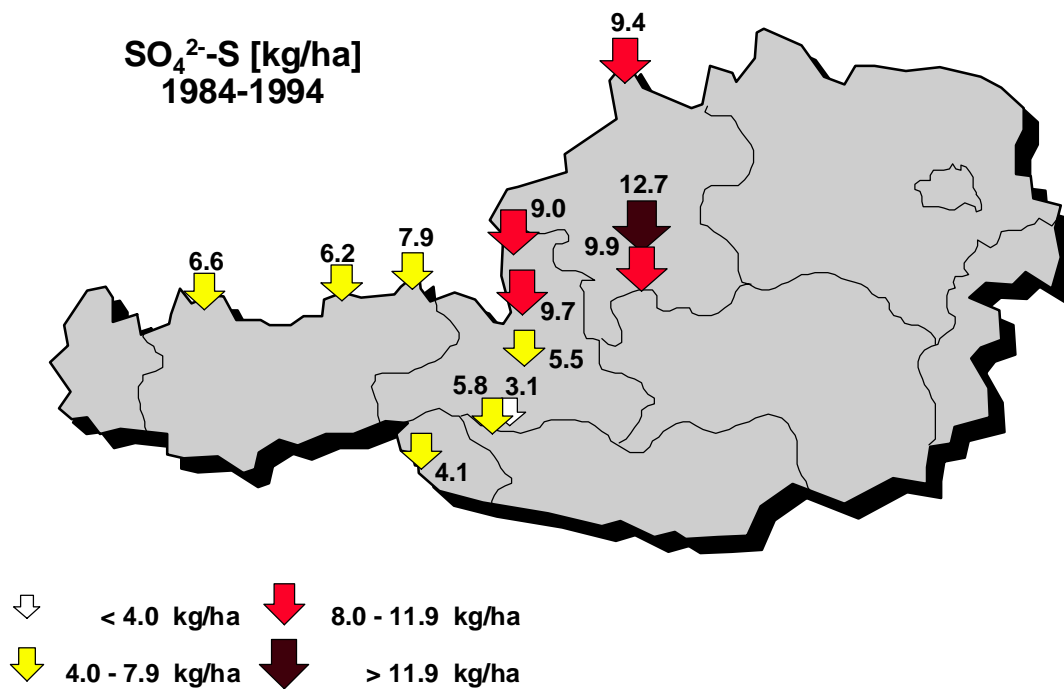
für die Stationen Reutte, Kufstein und Haunsberg mit Daten aus den Jahren 1987/88 und 1988/89 aufgezeigt. Sie konnten mit den Daten der WADOS-Stationen des gesamten österreichischen Meßnetzes zusammen mit den Daten angrenzender benachbarter Meßstationen in Deutschland, Italien und Kroatien in zwei Überblicksarbeiten für die Jahre 1991 und 1992 (Kalina und Puxbaum, 1994 und 1995) belegt und hier in den Elfjahresmittelwerten wiederum bestätigt werden.

Die nasse Deposition wird von der Ionenkonzentration im Niederschlag und der gefallenen Wassermenge bestimmt. Hohe Einträge können daher sowohl von hohen Konzentrationen als auch von ergiebigen Niederschlägen verursacht werden. Abgesehen von den Konzentrationsgradienten weist auch die Menge des gefallenen Niederschlages erhebliche regionale Unterschiede auf. An den betrachteten Stationen variierte die mittlere Jahresniederschlagsmenge (NS in Tab.27 und Tab.28 auf S.43 im Datenanhang) zwischen 698 mm (Innervillgraten) und 1572 mm (Grünau). Aufgrund der hohen Ionenkonzentrationen im Voralpengebiet und den ergiebigen Niederschlägen in den Randzonen der Alpen werden entlang der Nordkette der Alpen und im Süden Österreichs die höchsten Mengen an Ionen "naß" deponiert. Bedingt durch die hohen Niederschlagsmengen werden aber auch in den hochalpinen Lagen ökologisch relevante Ionenmengen deponiert. Ein gutes Beispiel gibt der Vergleich der Salzburger Stationen Sonnblick (3106m Seehöhe) und Kolm Saigurn (1600m Seehöhe), die nur durch eine nahezu senkrechte Steilwand voneinander getrennt sind. Die Konzentrationen beispielsweise des Sulfatschwefels sind mit 0.4 mg/l im Elfjahresmittel an beiden Stationen gleich, während die nasse Deposition am Sonnblick 5.8 kg/ha und in Kolm Saigurn bedingt durch den um einen Faktor 2 geringeren Niederschlag nur 3.1 kg/ha aufweist. Jüngere Studien mit Totalisatoren, die der Problematik der Niederschlagsmengenmessung an der Gipfelstation Sonnblick eher gerecht werden als die zur Zeit angewendete Ombrometertechnik (Puxbaum et al., 1991), sprechen von doppelt so hohen Niederschlagsmengen für den Sonnblick, als bisher publiziert (Schöner, 1995). Das würde sogar einen mittleren Eintrag von 11.6 kg/ha bedeuten. Solche hohen Depositionswerte an den hochalpinen Meßstellen überschreiten die critical loads für sensitive Ökosysteme (Schulze et al., 1990).

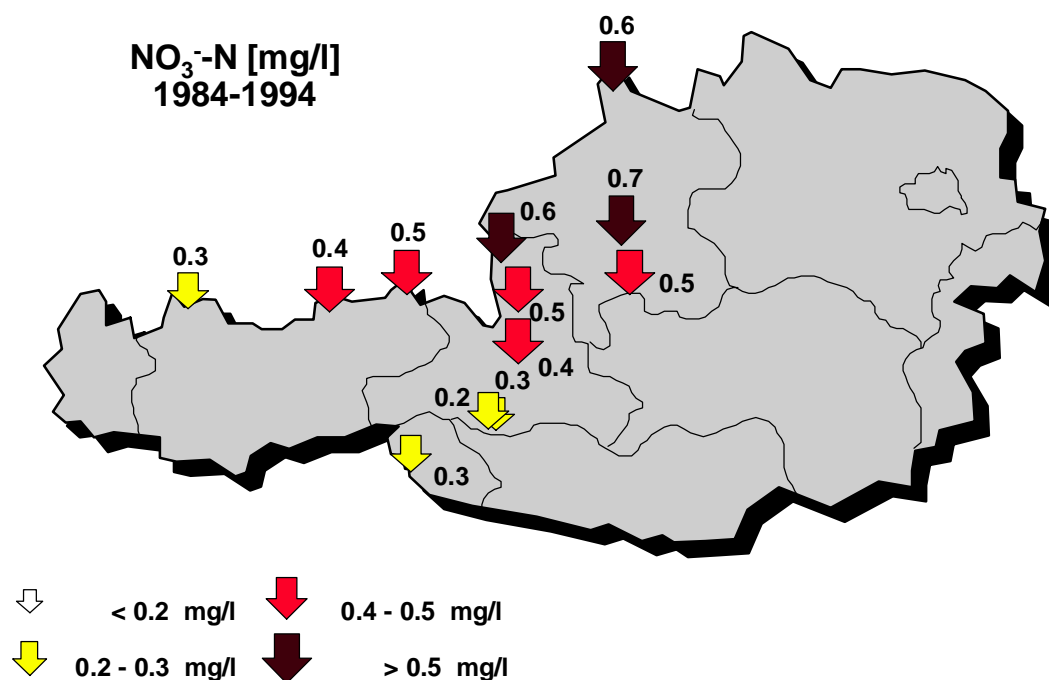
Durch nasse Deposition wurden an den Salzburger Meßstellen im Untersuchungszeitraum im Schnitt 3-9 kg Schwefel, 5-15 kg Gesamtstickstoff, 3-13 kg Kalzium und 2-18 kg Chlorid pro ha eingetragen. Die höchsten Einträge wurden dabei von den Ionen Kalzium und Chlorid ausgemacht, die damit als durchaus relevant für luftchemische Betrachtungen eingestuft werden müssen. Die Quelle für dieses gemeinsame Auftreten von Kalzium und Chlorid ist bis jetzt noch nicht geklärt, zumal die Stationsbetreuer lokale Kontaminationen ausschließen.



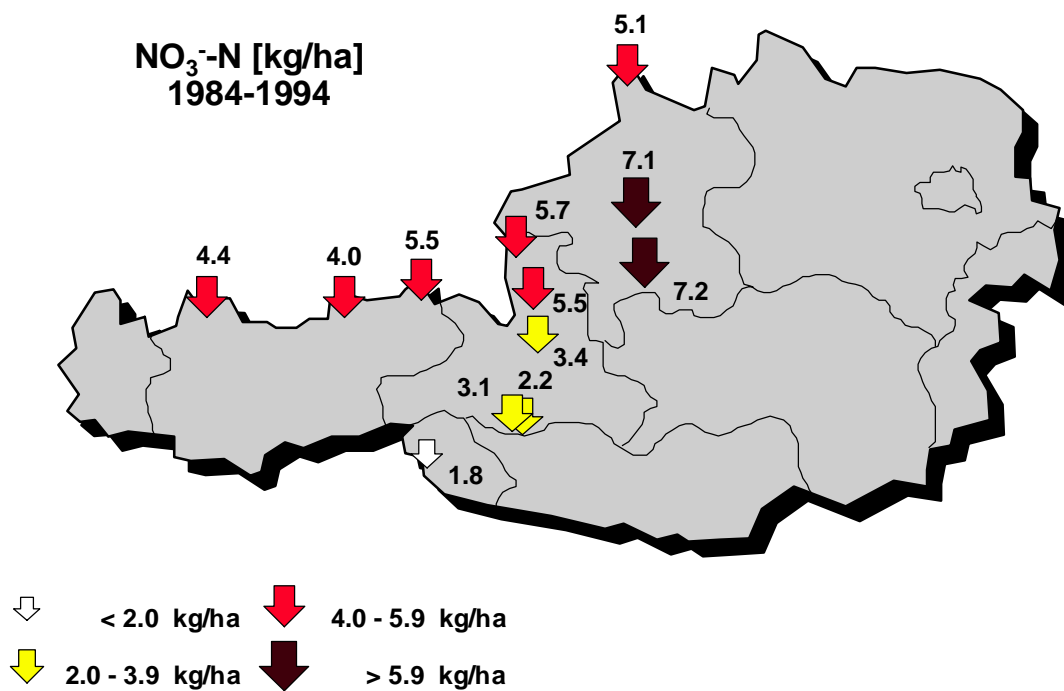
**Abb.3:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Sulfatkonzentrationen im Regen in [mg/l] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen



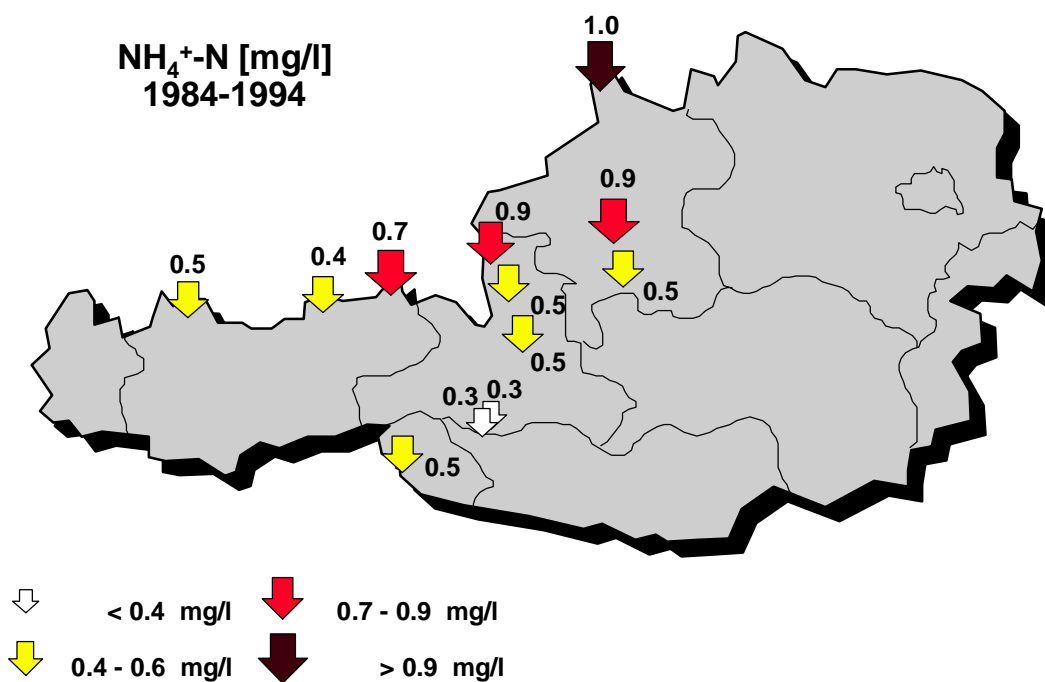
**Abb.4:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Sulfatdepositionen in [kg/ha] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen



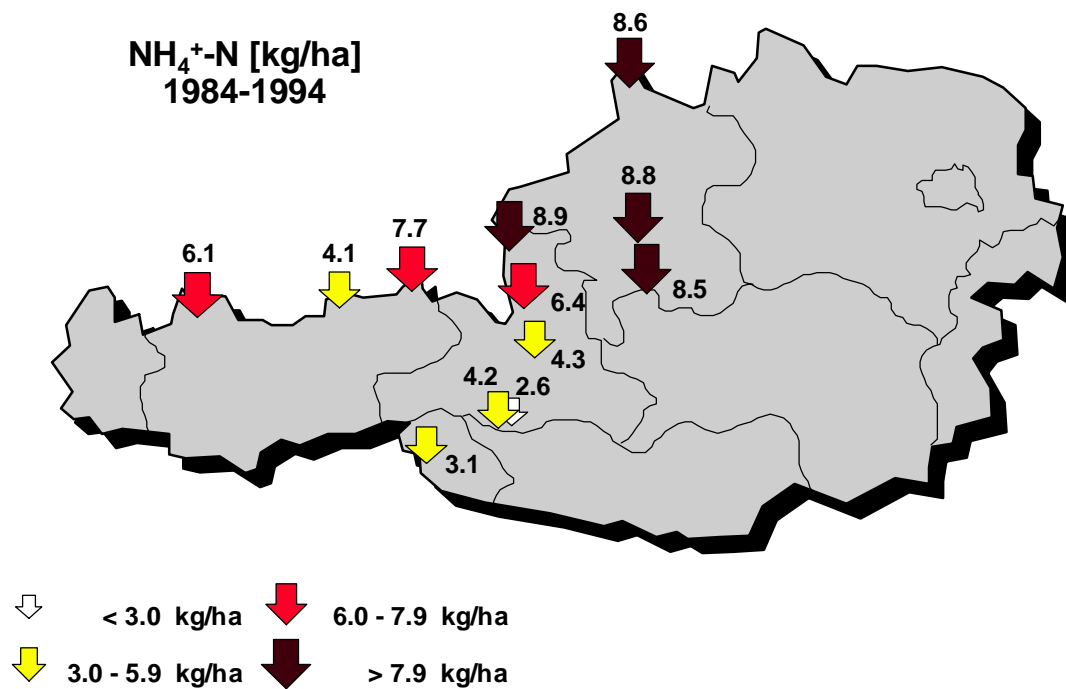
**Abb.5:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Nitratkonzentrationen im Regen in [mg/l] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen



**Abb.6:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Nitratdepositionen in [kg/ha] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen



**Abb.7:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Ammoniumkonzentrationen im Regen in [mg/l] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen



**Abb.8:** Überblick über die 10-Jahresmittelwerte der Ammoniumdepositionen in [kg/ha] in Westösterreich von 1984 - 1994, Kolm-Saigurn wurde erst ab 1990, Sonnblick ab 1988 gemessen

## 4.2. Zeitreihenanalyse

Bei der Analyse der Zeitreihen der Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser ist neben der langjährigen Entwicklung der Immissionssituation die Untersuchung der periodischen, jahreszeitlichen Variation von Interesse.

In den Abb.9 bis 57 sind die Jahresniederschlagssummen, die mengengewichteten Jahresmittelwerte der Ammonstickstoff-, Sulfatschwefel-, Nitratstickstoffkonzentrationen, der Kalzium- und Chloridkonzentrationen, sowie der Blei- und Gesamtstickstoffkonzentrationen nach Meßstellen geordnet für die elfjährige Untersuchungsperiode dargestellt. Dabei wurden die Daten der Stationen Salzburg-Flughafen und Gaisberg wegen der zu kurzen Meßperioden aus diesen Betrachtungen ausgeschlossen. Weiters sind die Zeitreihen der mengengewichteten Monatsmittelwerte der Ionen Ammonstickstoff, Sulfatschwefel und Nitratstickstoff für eine erste Abschätzung der jahreszeitlichen Variationen an den entsprechenden Stationen angeführt.

Die Jahreszahl 1994 ist in den Graphiken und Tabellen mit einem Stern versehen, da hier nur Werte bis zum September vorliegen, in St.Koloman wurde kein Blei analysiert, demzufolge fehlt auch die entsprechende Graphik.

In Tab.3 werden die Abkürzungen, die in den Graphiken und bei den Cross Correlations verwendet werden erklärt.

**Tab.3:** *Abkürzungen der Ionen bei Beschriftungen*

Ion	Abkürzung
$\text{NH}_4^+$	NH4
$\text{NO}_3^-$	NO3
$\text{SO}_4^{2-}$	SO4
$\text{Pb}^{2+}$	Pb
$\text{Ca}^{2+}$	Ca
$\text{Cl}^-$	Cl
$\text{NH}_4^+$ bezogen auf Stickstoff	NH4-N, $\text{NH}_4^+$ -N
$\text{NO}_3^-$ bezogen auf Stickstoff	NO3-N, $\text{NO}_3^-$ -N

## 4.2.a. Haunsberg

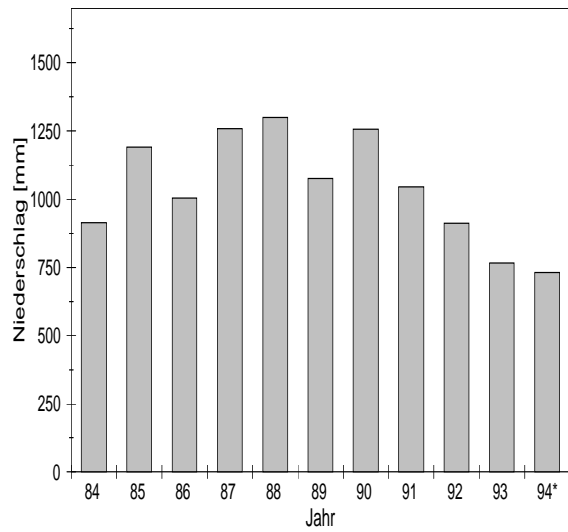
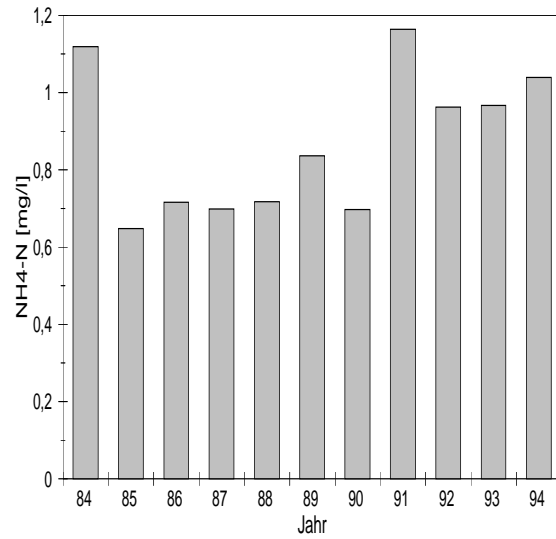
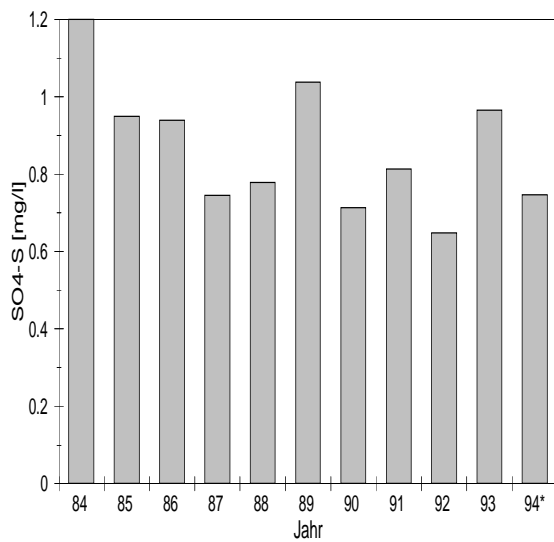
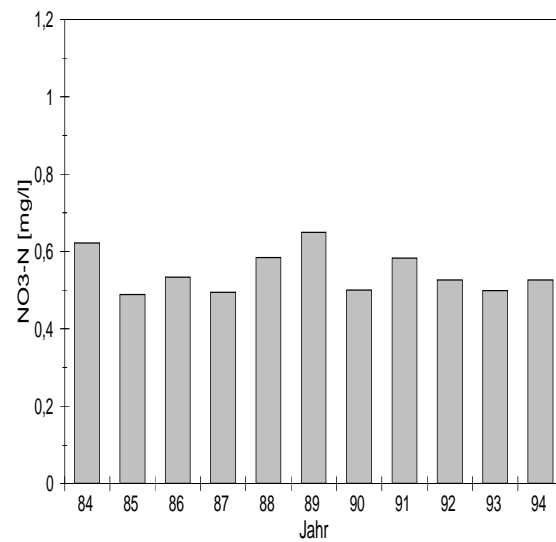


Abb.9: Jahressummen Niederschlag

Abb.10: Jahresmittelwerte  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Abb.11: Jahresmittelwerte  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ Abb.12: Jahresmittelwerte  $\text{NO}_3^-\text{-N}$

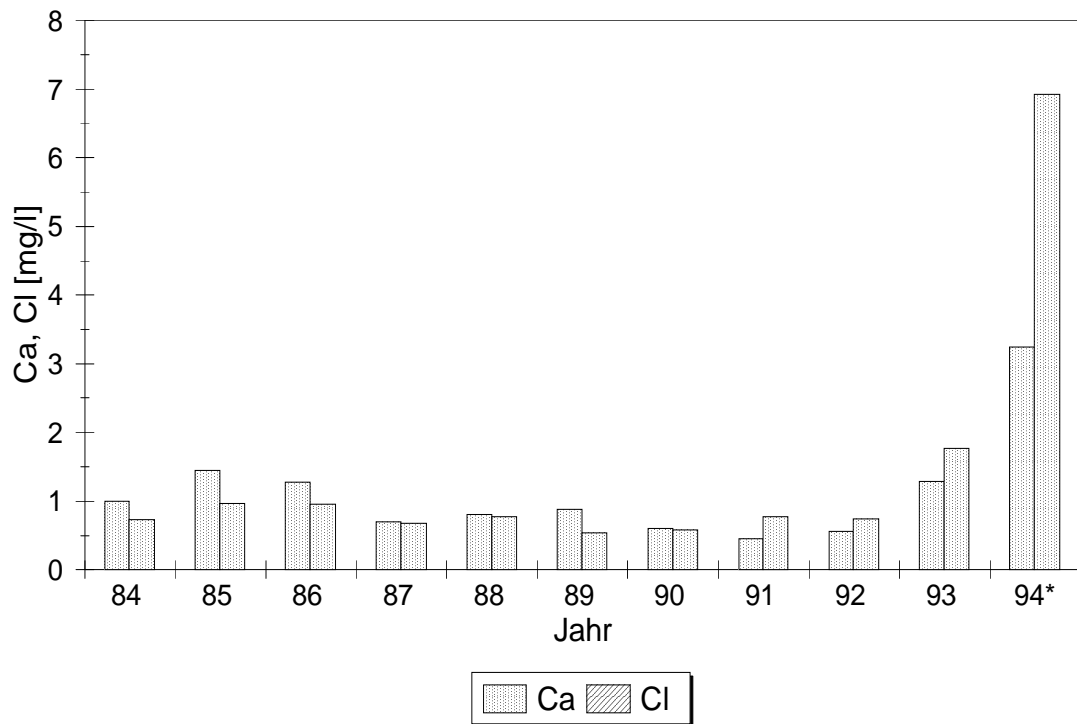


Abb.13: Jahresmittelwerte Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>

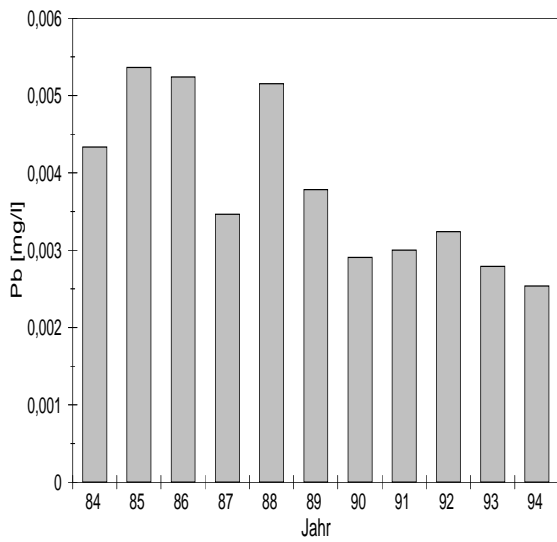


Abb.14: Jahresmittelwerte Pb<sup>2+</sup>

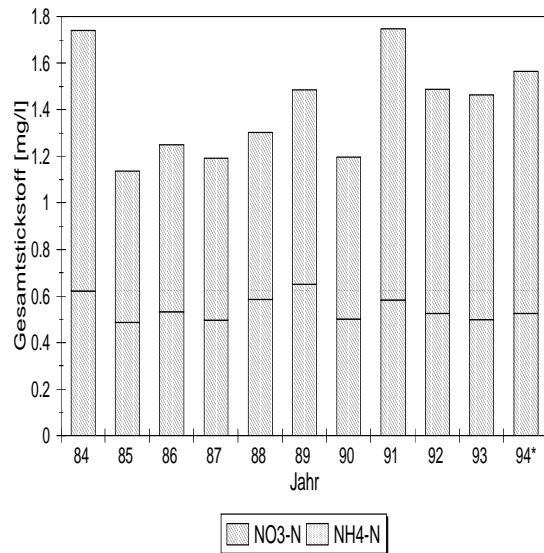


Abb.15: Jahresmittelwerte Gesamtstickstoff

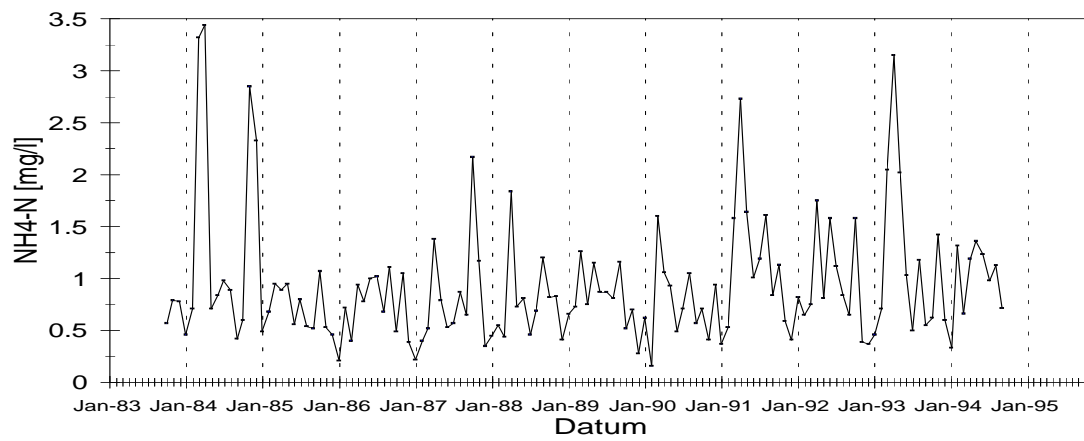


Abb.16: Zeitreihe  $\text{NH}_4^+$ -N (Monatsmittelwerte)

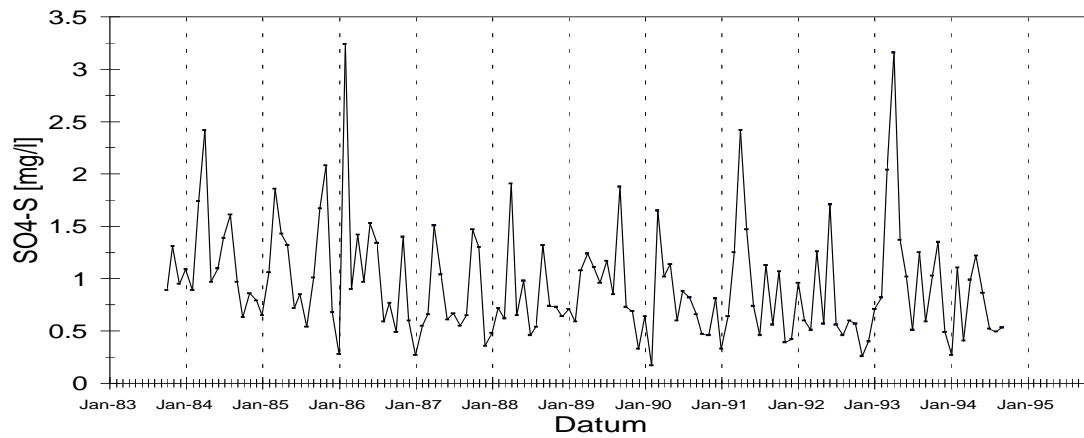


Abb.17: Zeitreihe  $\text{SO}_4^{2-}$ -S (Monatsmittelwerte)

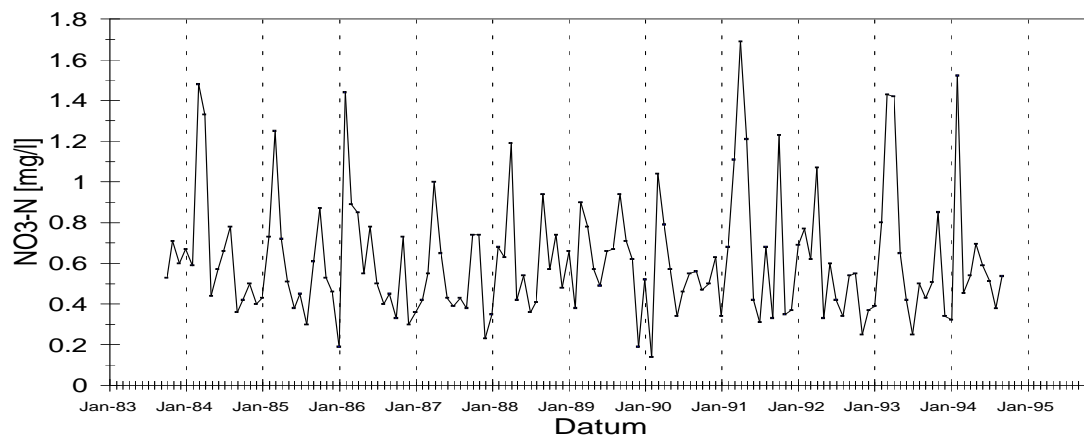


Abb.18: Zeitreihe  $\text{NO}_3^-$ -N (Monatsmittelwerte)



## 4.2.b. St.Koloman

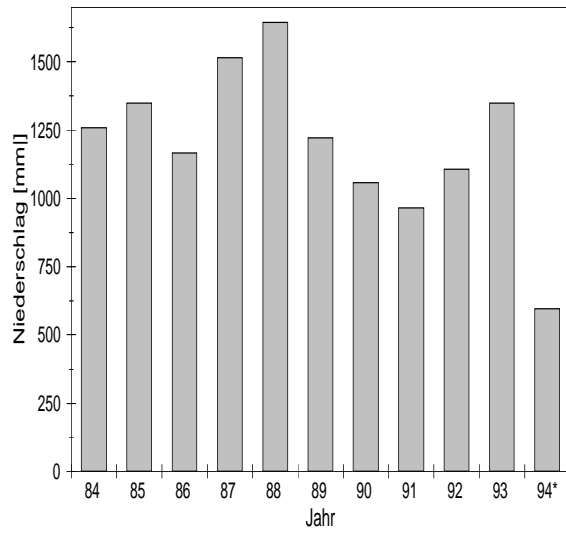
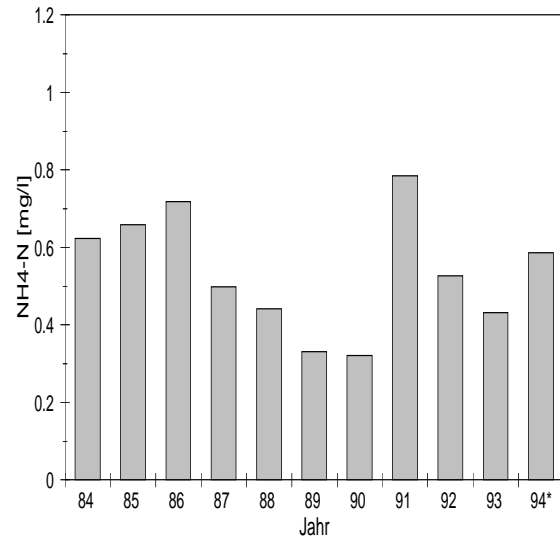
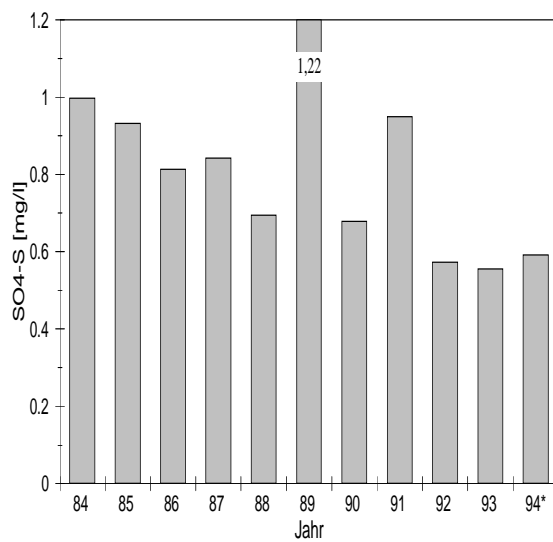
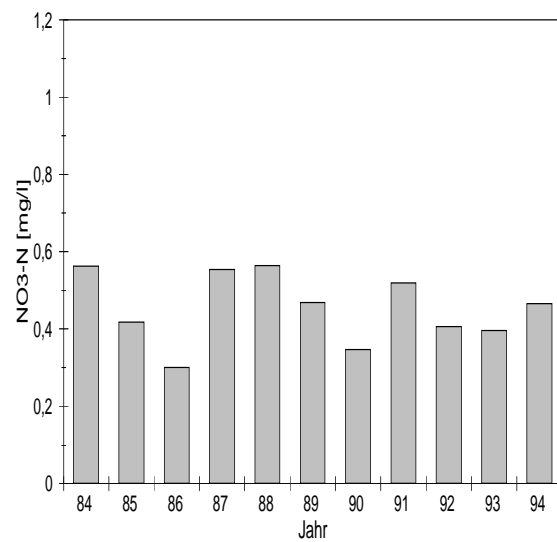


Abb.19: Jahressummen Niederschlag

Abb.20: Jahresmittelwerte  $\text{NH}_4^+$ -NAbb.21: Jahresmittelwerte  $\text{SO}_4^{2-}$ -SAbb.22: Jahresmittelwert  $\text{NO}_3^-$ -N

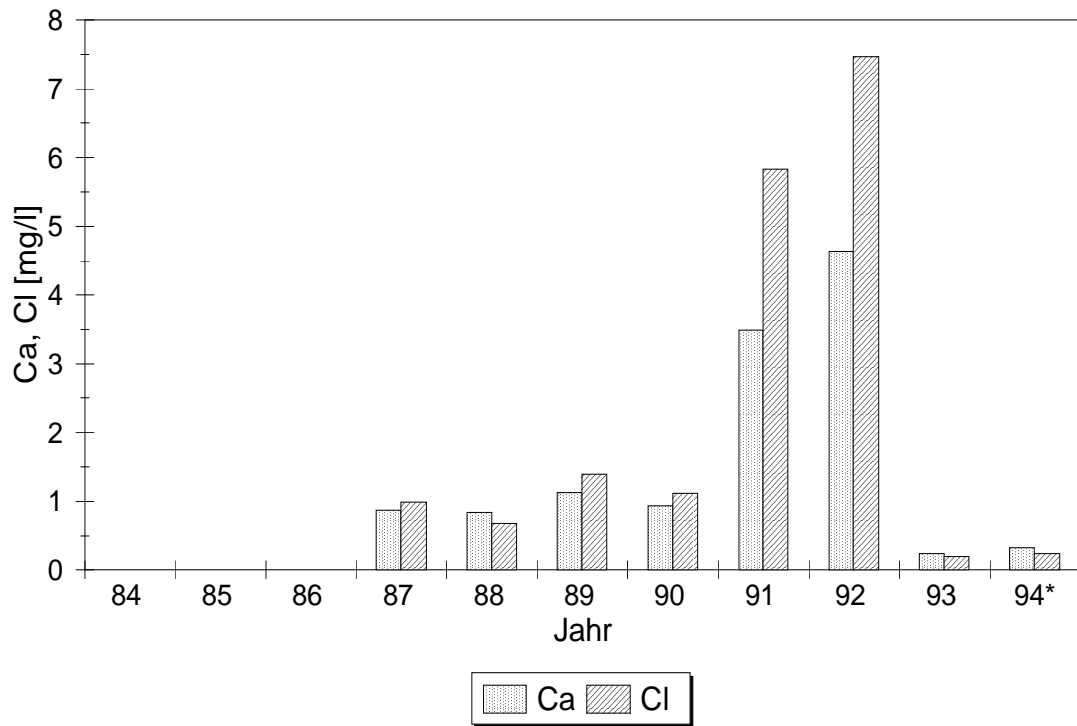


Abb.23: Jahresmittelwerte Ca<sup>2+</sup>, Cl

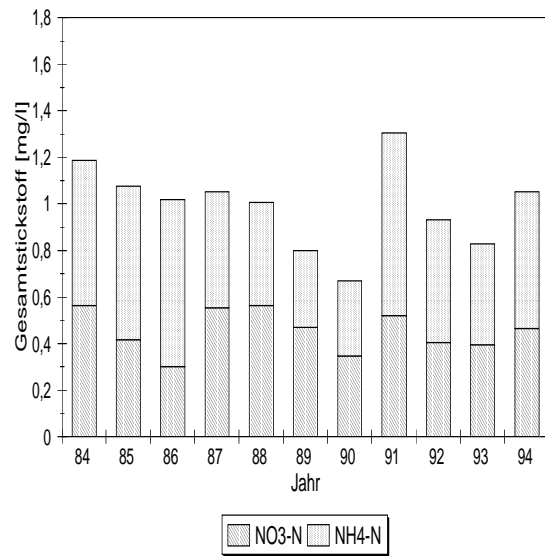


Abb.24: Jahresmittelwerte Gesamtstickstoff

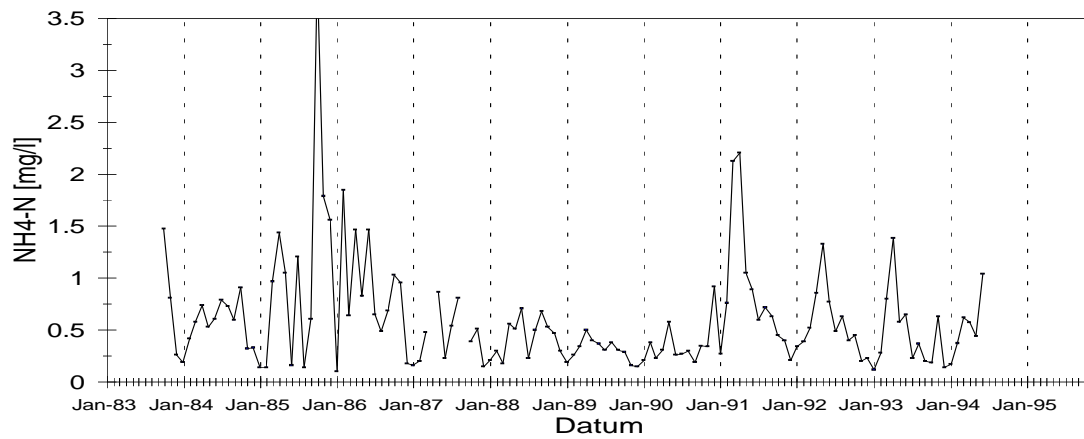


Abb.25: Zeitreihe  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

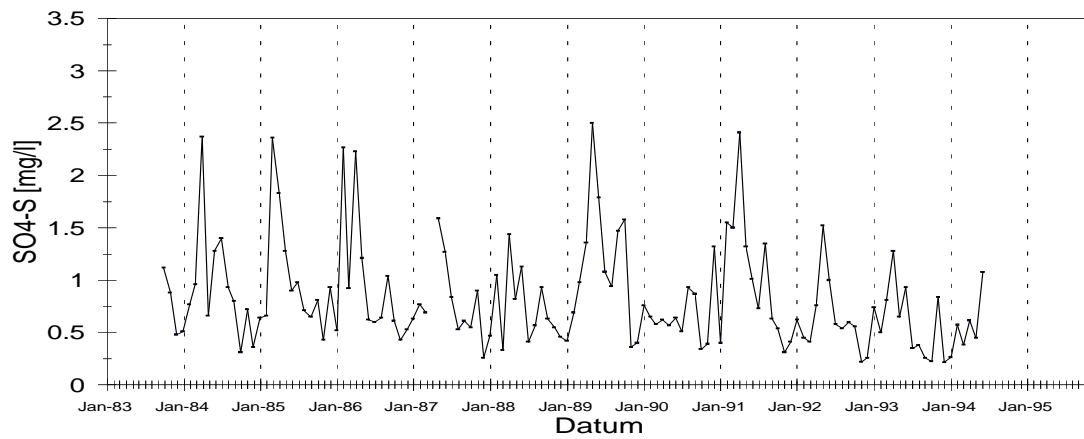


Abb.26: Zeitreihe  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  (Monatsmittelwerte)

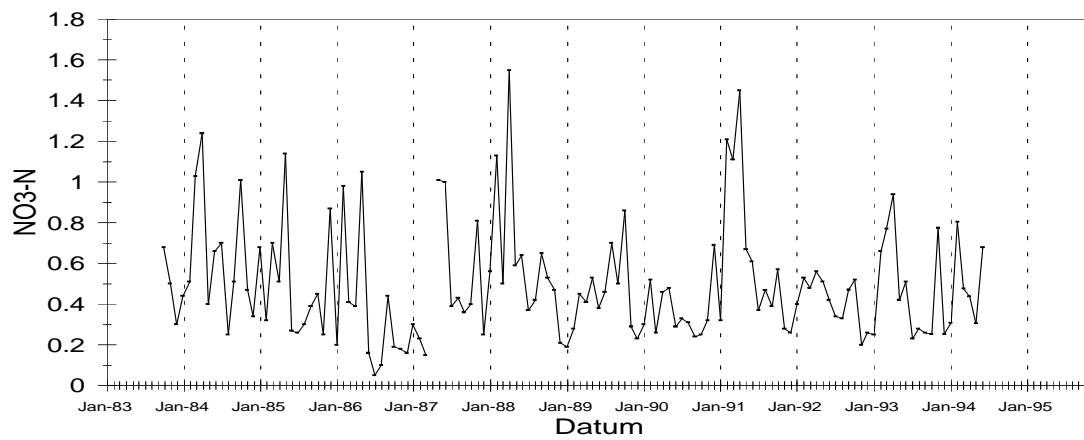


Abb.27: Zeitreihe  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

## 4.2.c. Werfenweng

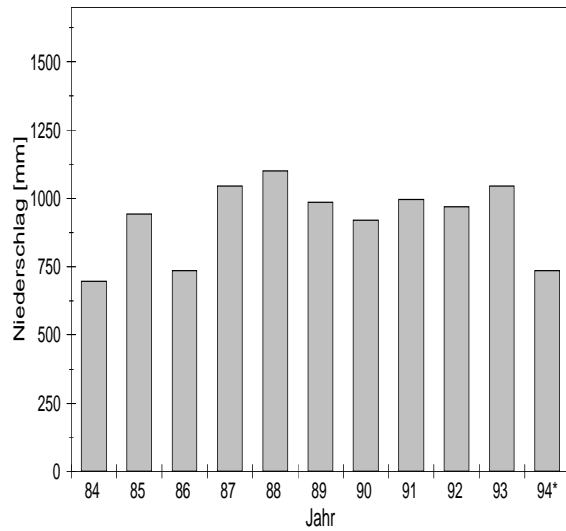
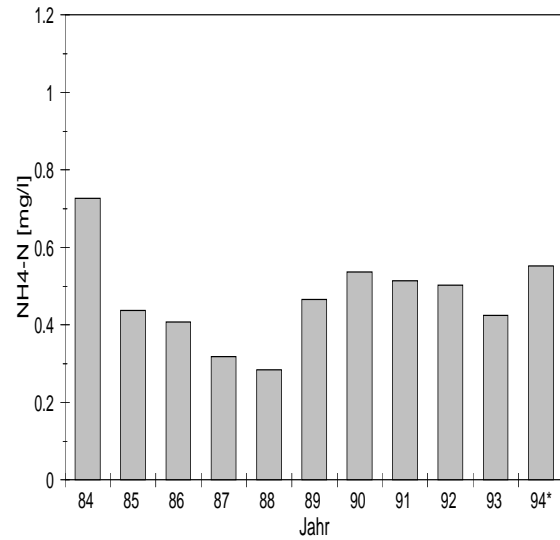
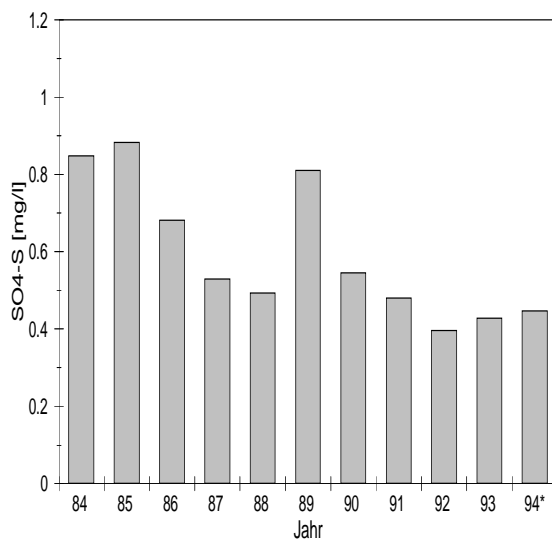
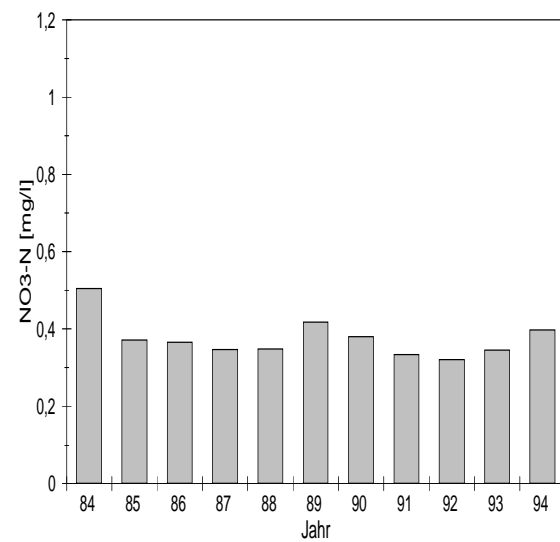


Abb.28: Jahressummen Niederschlag

Abb.29: Jahresmittelwerte  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Abb.30: Jahresmittelwert  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ Abb.31: Jahresmittelwerte  $\text{NO}_3^-\text{-N}$

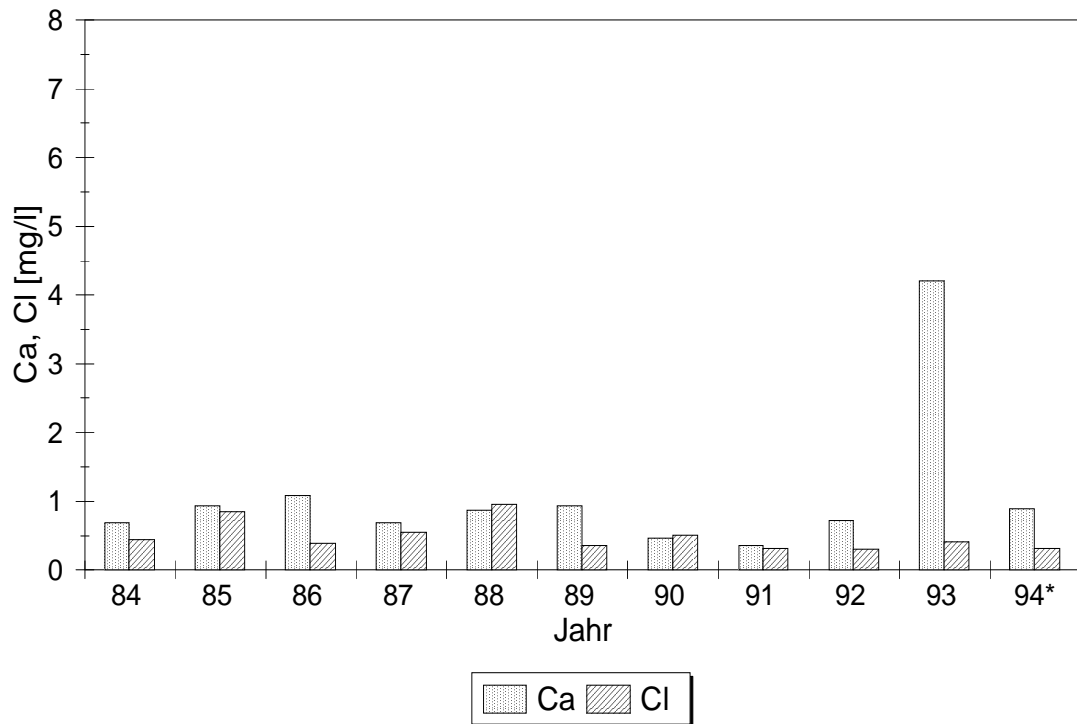


Abb.32: Jahresmittelwerte Ca<sup>2+</sup>, Cl

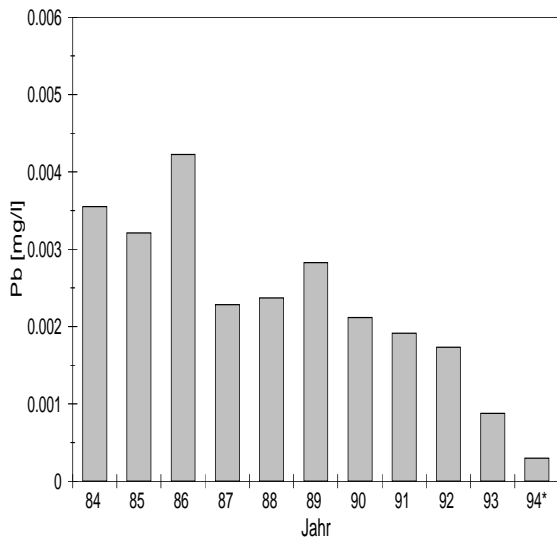


Abb.33: Jahresmittelwerte Pb<sup>2+</sup>

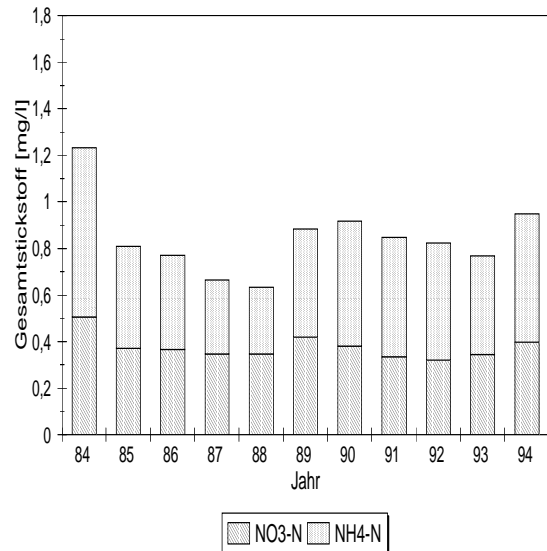


Abb.34: Jahresmittelwerte Gesamtstickstoff

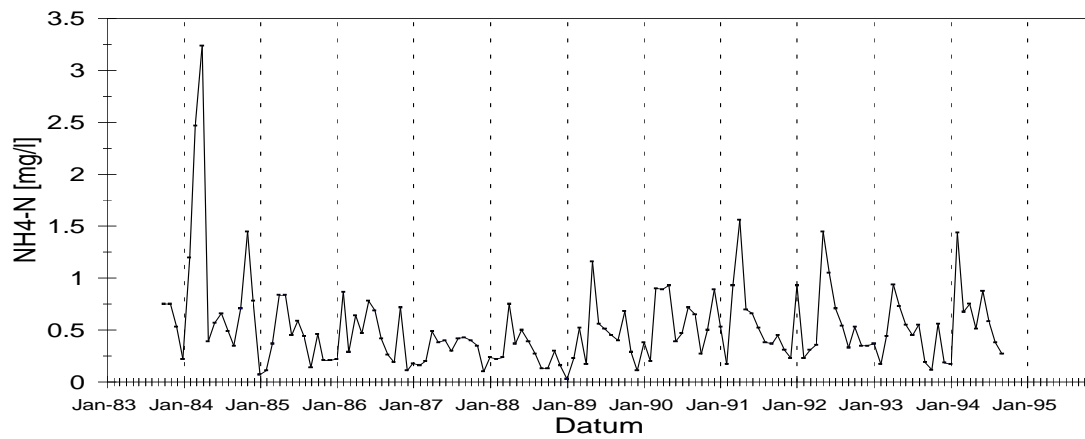


Abb.35: Zeitreihe  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

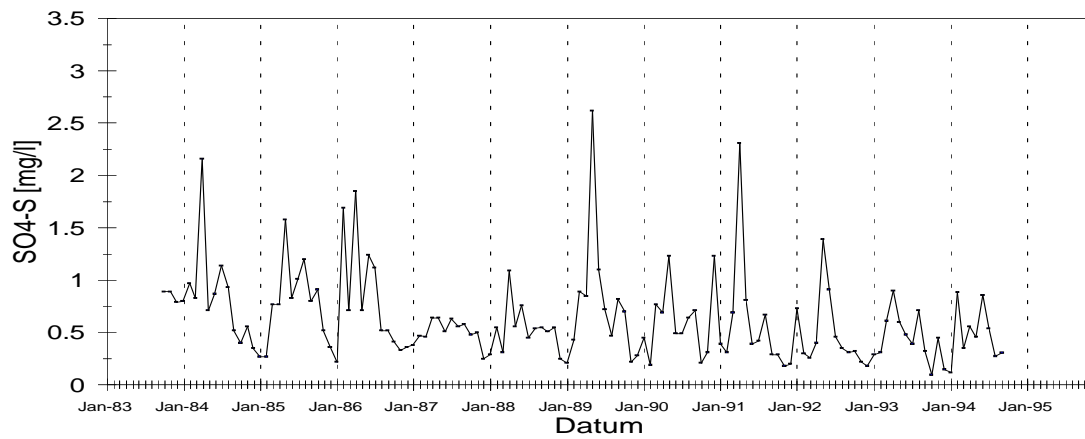


Abb.36: Zeitreihe  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  (Monatsmittelwerte)

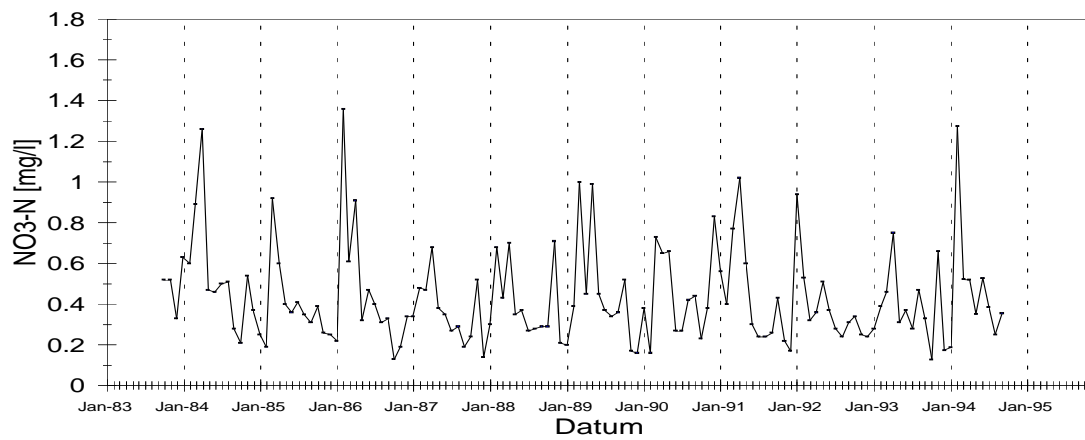


Abb.37: Zeitreihe  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

## 4.2.d. Kolm-Saigurn

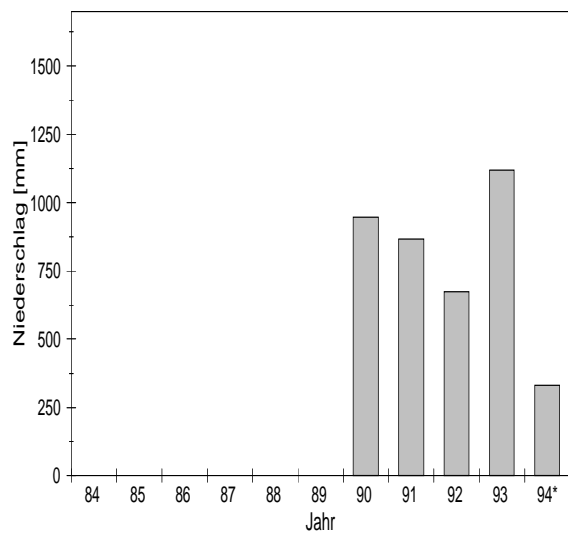
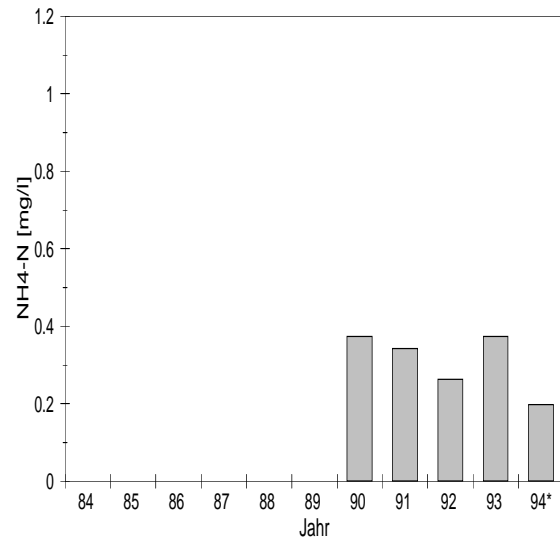
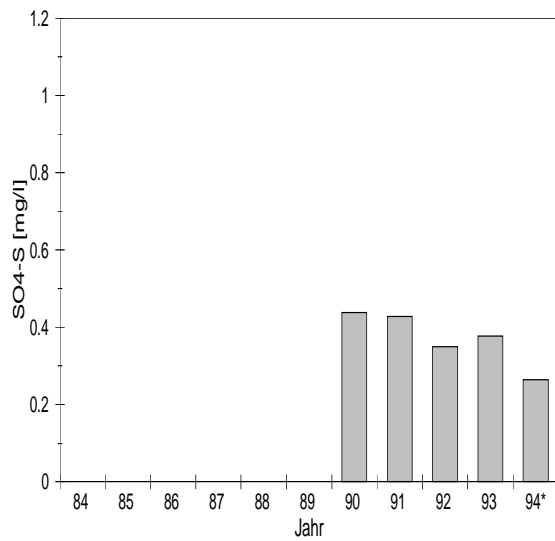
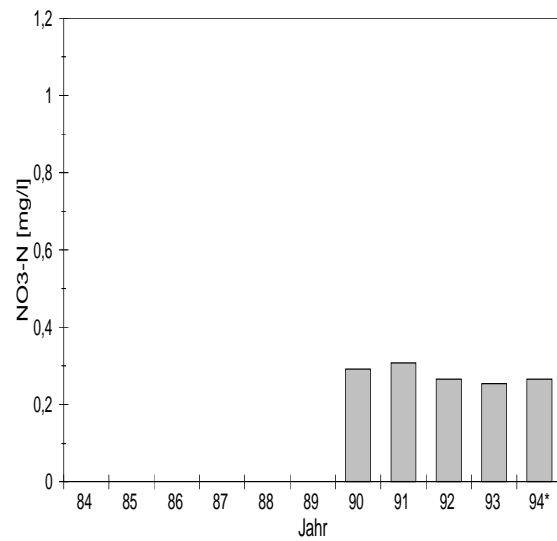


Abb.38: Jahressummen Niederschlag

Abb.39: Jahresmittelwerte  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ Abb.40: Jahresmittelwerte  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$ Abb.41: Jahresmittelwerte  $\text{NO}_3^-\text{-N}$

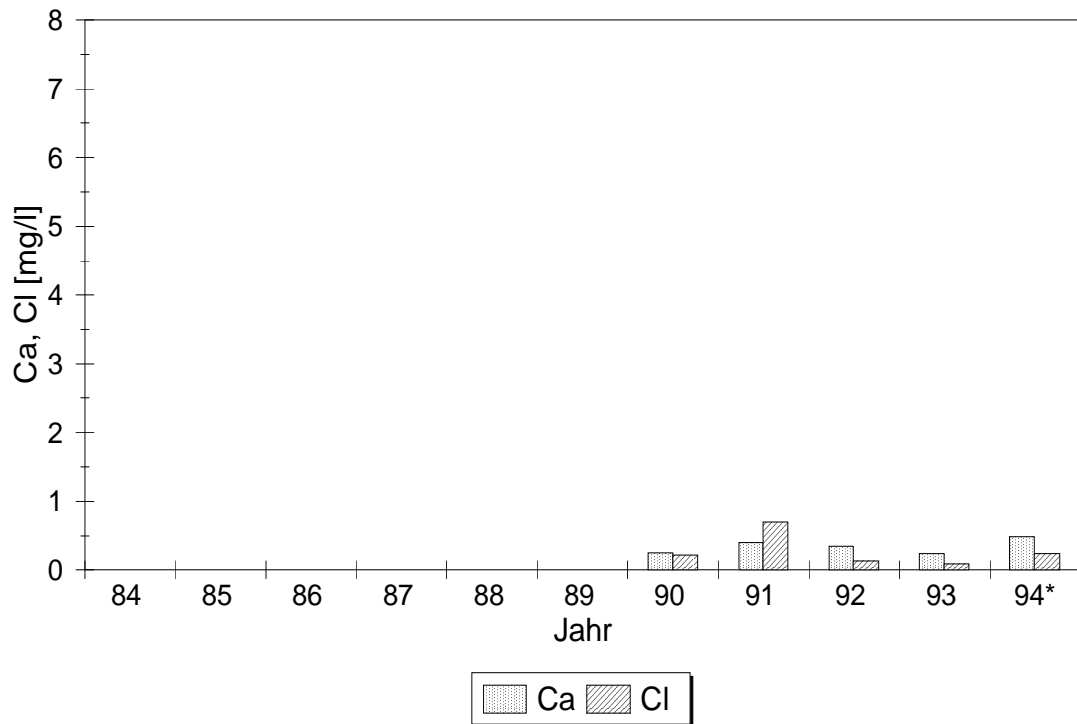


Abb.42: Jahresmittelwerte  $Ca^{2+}$ ,  $Cl$

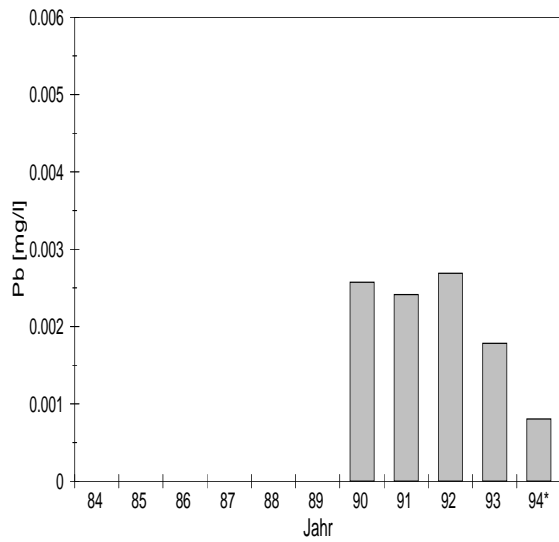


Abb.43: Jahresmittelwerte  $Pb^{2+}$

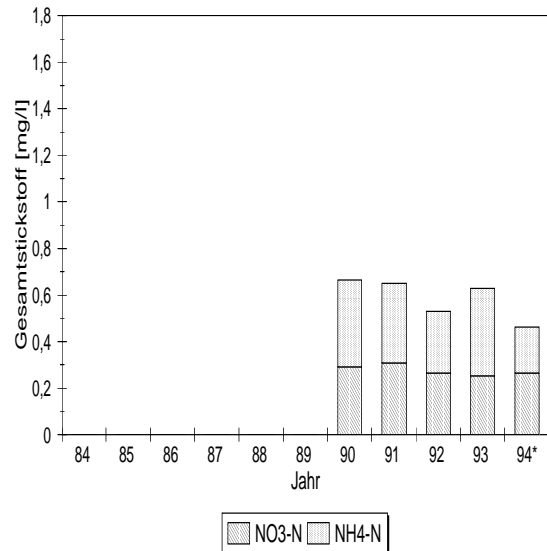


Abb.44: Jahresmittelwerte Gesamtstickstoff



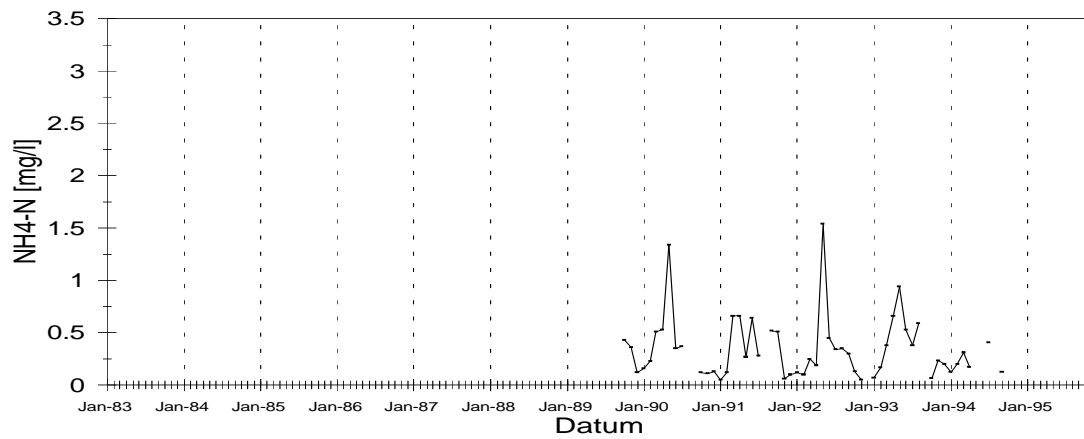


Abb.45: Zeitreihe  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

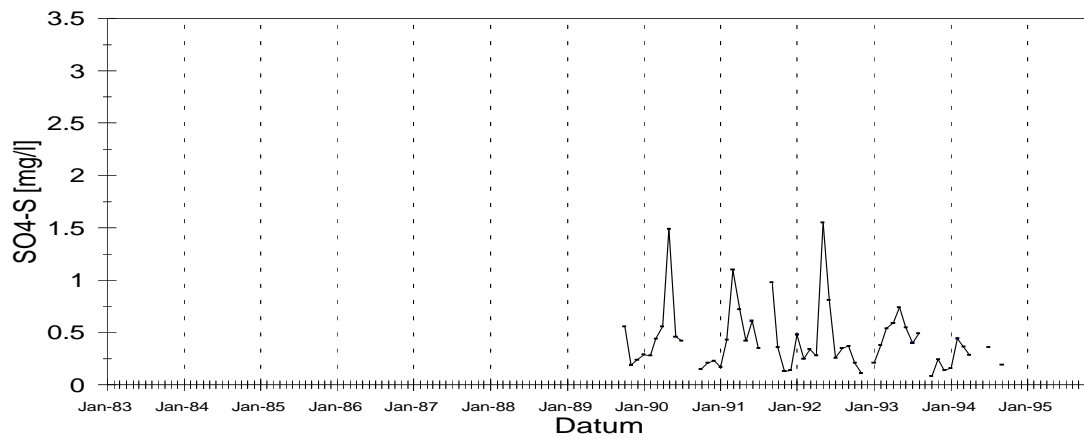


Abb.46: Zeitreihe  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  (Monatsmittelwerte)

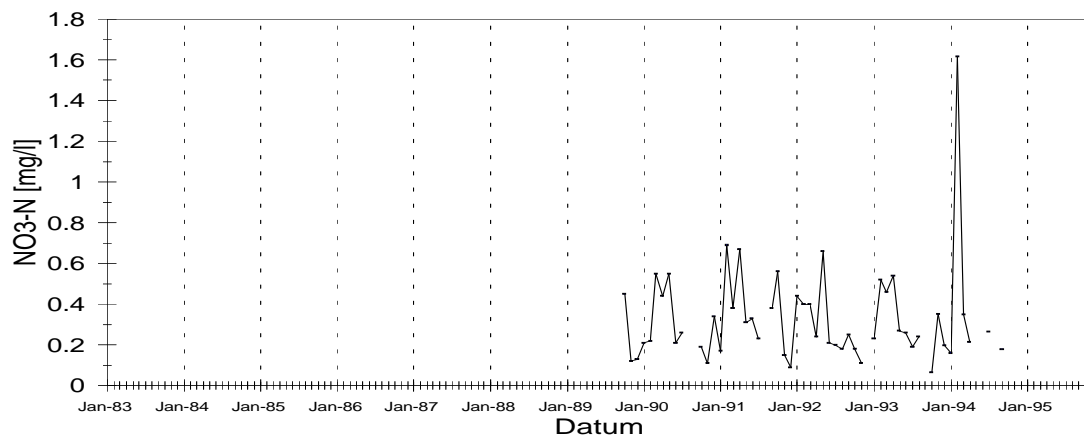


Abb.47: Zeitreihe  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

## 4.2.e. Sonnblick

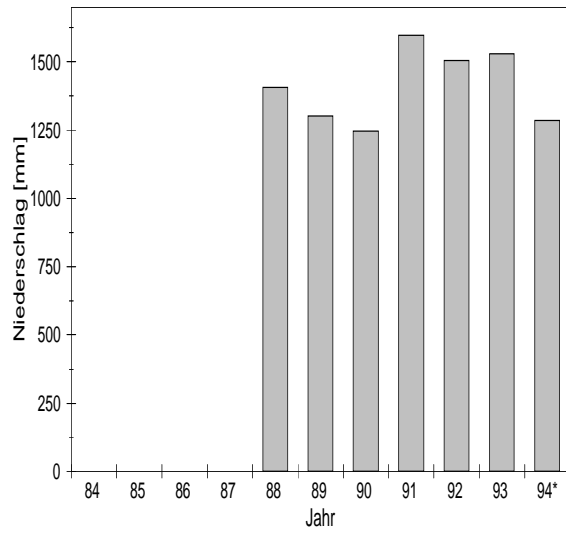
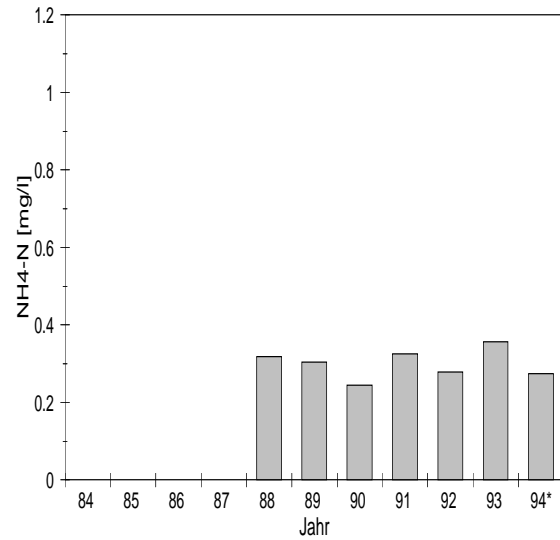
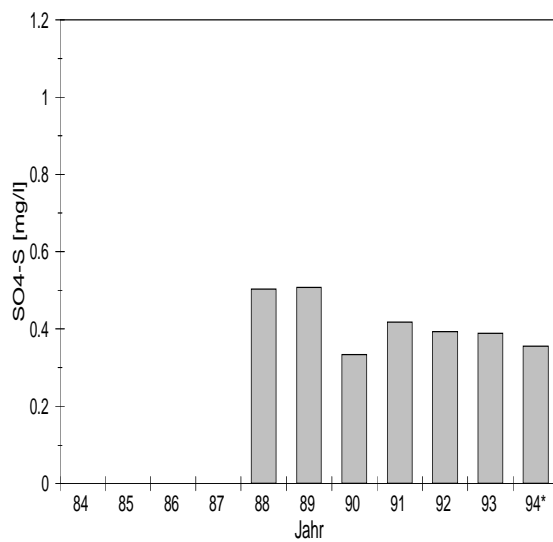
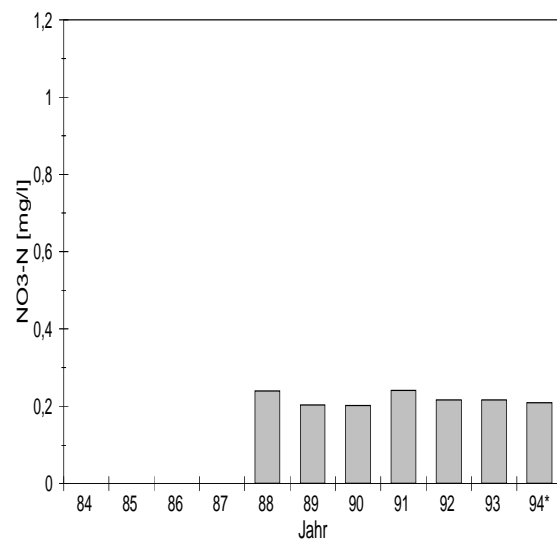


Abb.48: Jahressummen Niederschlag

Abb.49: Jahresmittelwerte  $\text{NH}_4^+$ -NAbb.50: Jahresmittelwerte  $\text{SO}_4^{2-}$ -SAbb.51: Jahresmittelwerte  $\text{NO}_3^-$ -N

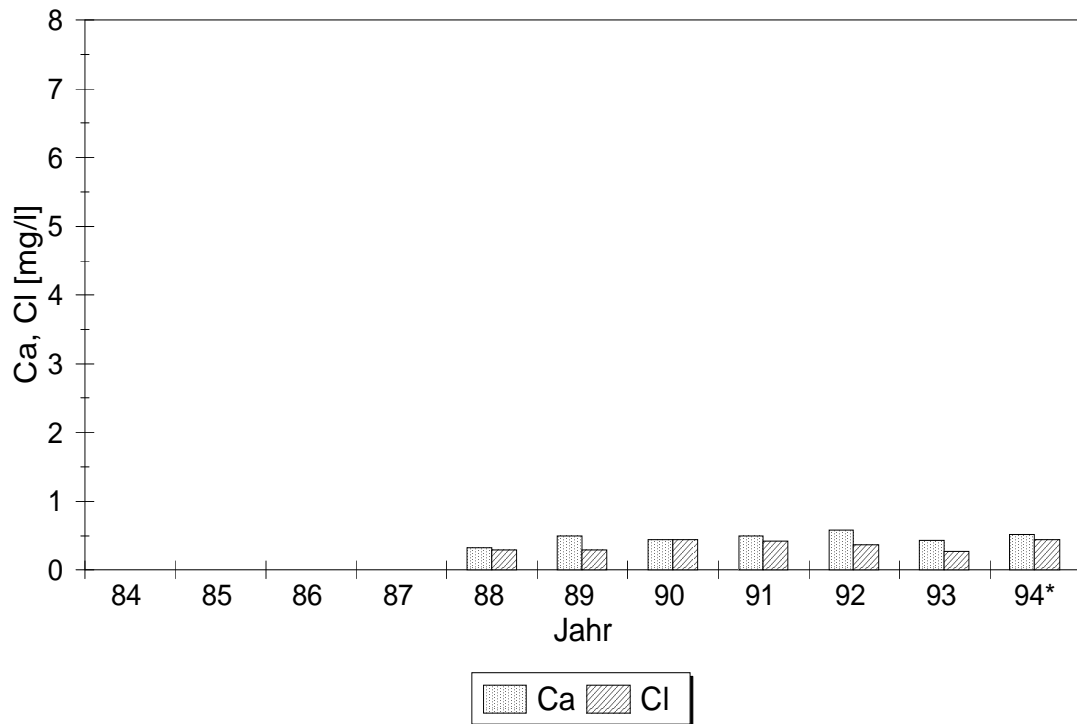


Abb.52: Jahresmittelwerte Ca<sup>2+</sup>, Cl

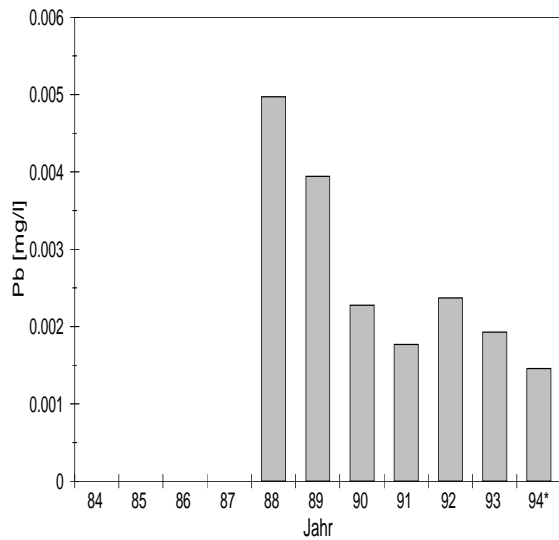


Abb.53: Jahresmittelwerte Pb<sup>2+</sup>

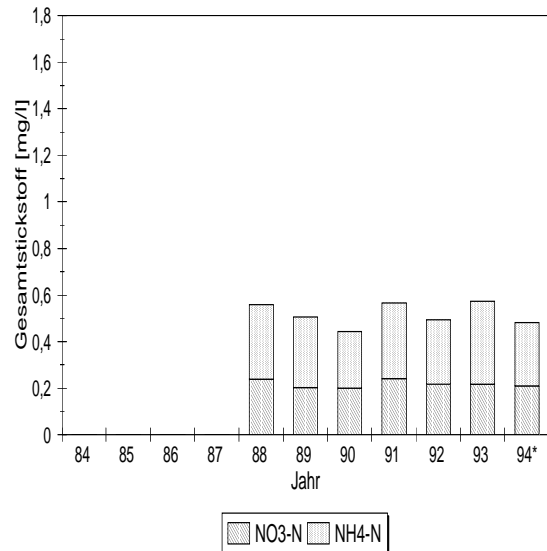


Abb.54: Jahresmittelwerte Gesamtstickstoff

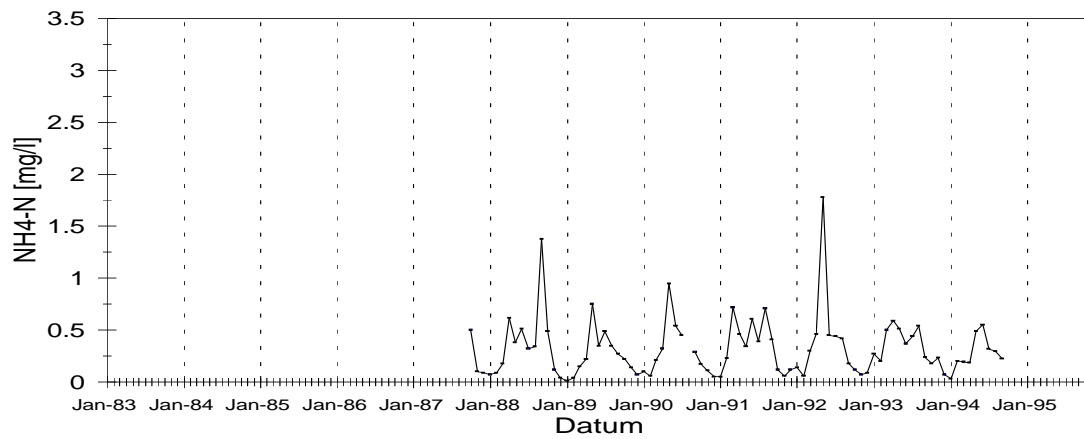


Abb.55: Zeitreihe  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

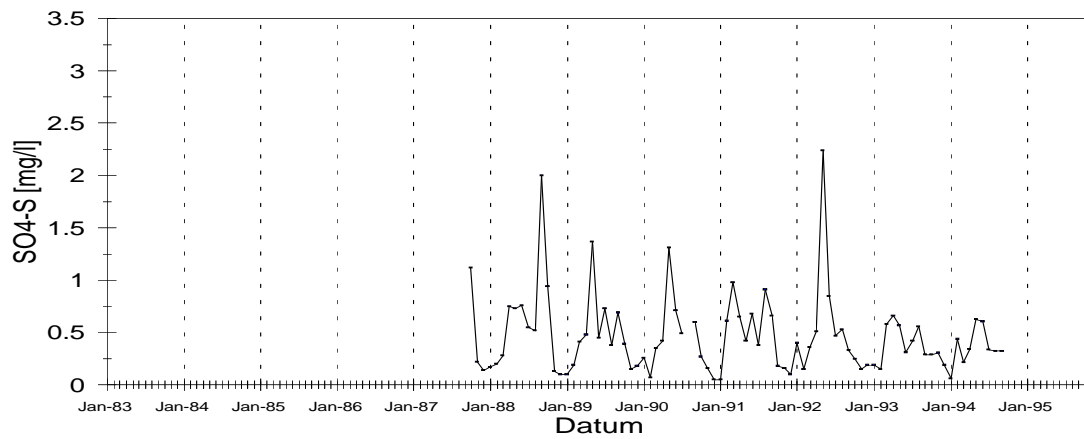


Abb.56: Zeitreihe  $\text{SO}_4^{2-}\text{-S}$  (Monatsmittelwerte)

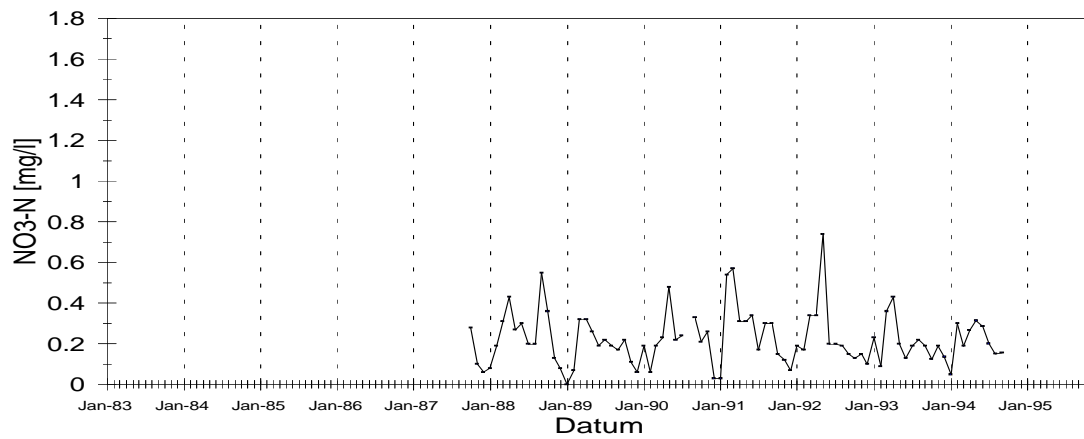
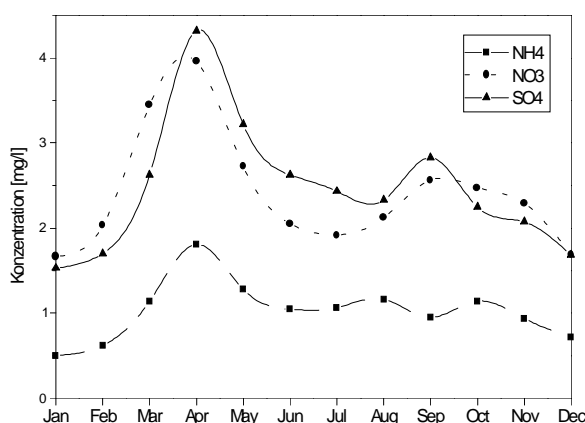


Abb.57: Zeitreihe  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  (Monatsmittelwerte)

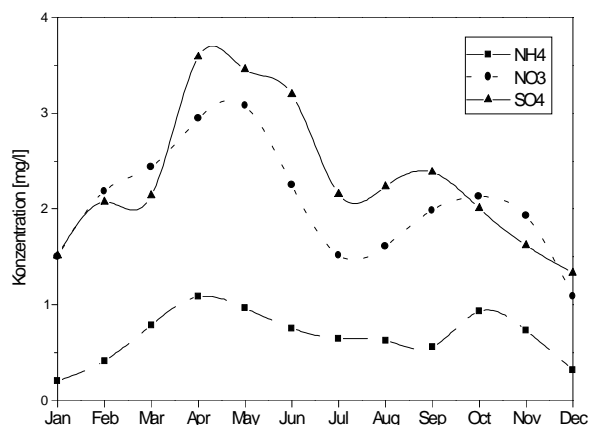
### 4.3. Saisonalitäten

Im allgemeinen weisen die Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser eine starke saisonale Variation auf. In den Wintermonaten sind die Ionenkonzentrationen geringer als in der Periode vom Frühjahr bis zum Herbst. L. Horváth und E. Mészáros (1974, 1984) sowie H. Rodhe und L. Granat (1984) untersuchten die jahreszeitlichen Abhängigkeiten von Sulfat- und Nitratkonzentrationen im Niederschlagswasser an verschiedenen Standorten in Europa. Übereinstimmend stellten sie die geringsten Ionenkonzentrationen während der Wintermonate, die höchsten im Frühjahr und im Sommer fest.

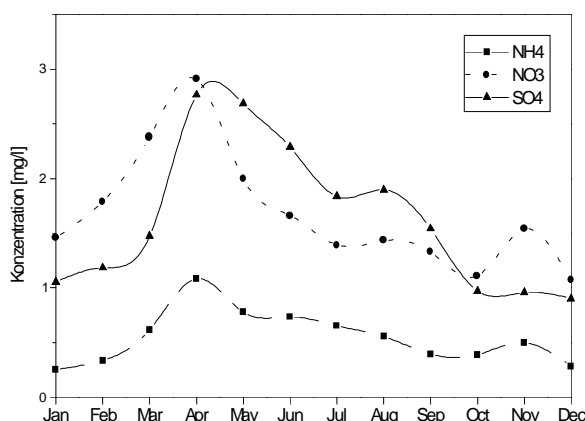
Vergleichbare Ergebnisse zeigen die Jahresgänge an den Salzburger Meßstellen im Untersuchungszeitraum. Auffällig ist in allen Zeitreihen das Auftreten eines lokalen Konzentrations-Maximums im Zeitraum März bis Mai. Auch die Ergebnisse von Messungen im übrigen Bundesgebiet weisen auf saisonabhängige regelmäßige Erhöhungen der Konzentration an Ionen im Niederschlagswasser hin (Puxbaum et al., 1991). Jahreszeitlich unterschiedlich starke Emissionen sowie jahreszeitliche Unterschiede bei luftchemischen Prozessen dürften ursächlich für das saisonabhängige Auftreten hoher Ionenkonzentrationen im Niederschlagswasser sein (Hedin et al. 1991, Kasper und Puxbaum 1994, Kalina und Puxbaum 1994). Beispielsweise läßt sich das Frühjahrsmaximum des Sulfates, das hauptsächlich durch Oxidation des Schwefeldioxides in Abhängigkeit von photochemischen Prozessen gebildet wird, durch die stark zunehmende Sonneneinstrahlung im Frühjahr zusammen mit den noch hohen SO<sub>2</sub>-Emissionen im Ausklang der winterlichen Heizperiode erklären (Kovar und Puxbaum, 1990). An dieser Stelle sei auch betont,



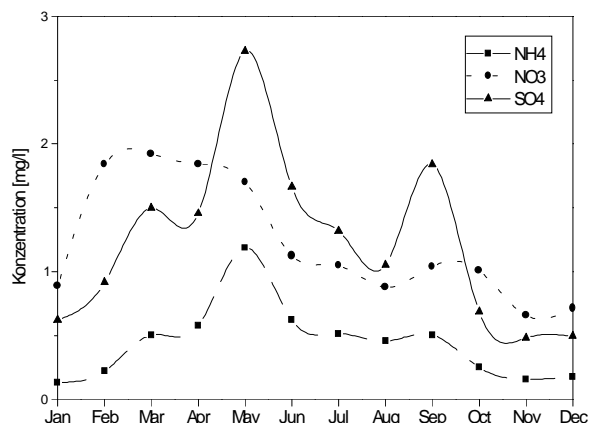
**Abb.58:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, *Haunsberg, Okt. 83 - Sep.94*



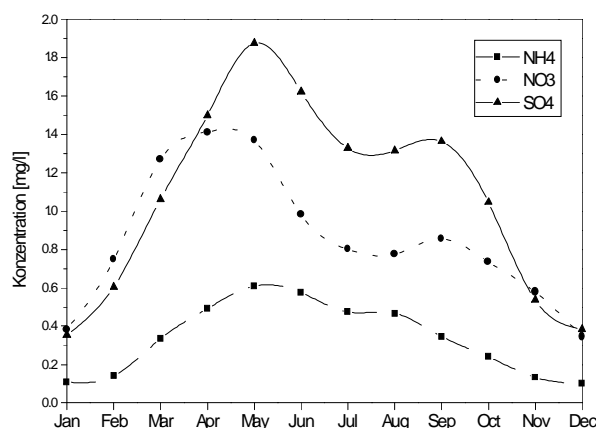
**Abb.59:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, *St. Koloman, Okt.83 - Sep. 94*



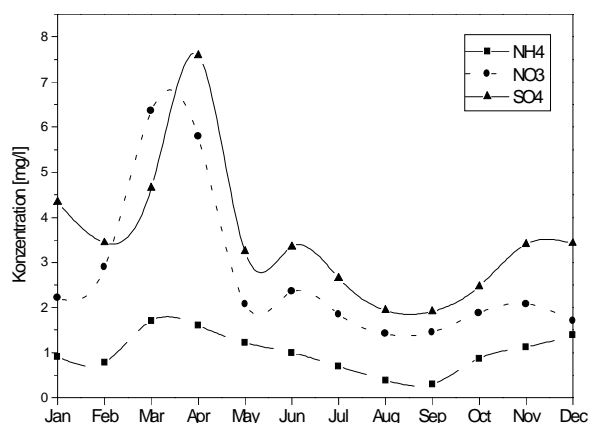
**Abb.60:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, *Werfenweng, Okt.83 - Sep.94*



**Abb.61:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, *Kolm-Saigurn, Okt.89 - Sep.94*



**Abb.62:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, Sonnblick, Okt. 87 - Sep.94

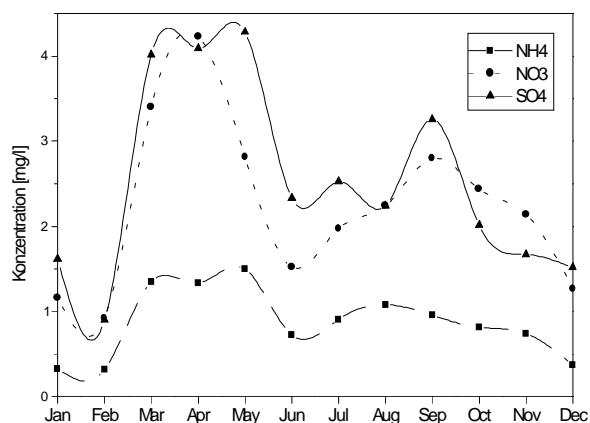


**Abb.63:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, Flughafen Salzburg, Okt.83 - Sep.86

daß das Frühjahrsmaximum ein luftchemisches Phänomen darstellt und keine nachteiligen physiologischen Wirkungen bekannt sind (Smidt, 1995).

Da bedingt durch das Rauschen und die individuellen Unterschiede zwischen den Meßserien der einzelnen Jahre die saisonale Variation der Meßdaten aus den Zeitreihen alleine nicht gut ersichtlich ist, wurde eine andere Art der Darstellung gewählt, die den aus zehn Jahren niederschlagsgewichtet gemittelten Jahresgang der Sulfat-, Nitrat- und Ammoniumionen deutlich besser visualisiert. Die Graphiken wurden auf folgende Weise generiert:

- ◆ die Tagesdaten der Konzentrationen wurden nach Monaten sortiert, d.h. die Ergebnistabelle enthielt nach wie vor alle Tagesdaten, aber alle Tage gleicher Monate hintereinander. z.B. 1.Jän 84, 1.Jän 85, 1.Jän 86,..., 31.Dez 92, 31.Dez 93, 31.Dez 94
- ◆ nun wurden alle Tage gleicher Monate niederschlagsgewichtet gemittelt und in einer Graphik dargestellt, die berechneten Punkte wurden der besseren Interpretierbarkeit wegen mittels Spline Kurve verbunden.



**Abb.64:** Saisonale Variation von Sulfat, Nitrat und Ammonium, Gaisberg, Okt.89 - Nov.90

Aus den Abb.58 bis 64 ist eindeutig das Frühjahrsmaximum bei allen betrachteten Komponenten an den Salzburger Stationen zu beobachten. Deutlich zu erkennen ist auch ein zweites Maximum im Herbst, das erst aus den Graphiken der saisonalen Zehnjahresmittelwerte (Abb.58-64) ersichtlich ist. Dieses Maximum im Spätsommer tritt mit einer Ausnahme nämlich an der Station Werfenweng (Abb. 60), immer genau im September auf. (Die zweite Abweichung - Flughafen Salzburg (Abb. 63) - ist möglicherweise auf die zu kurze Meßdauer, und auf örtliche Einflüsse zurückzuführen.) Ähnliche Saisonalitäten fielen erstmals bei den Tiroler Stationen Kufstein und Reutte bei dem Versuch die Konzentrationen zu modellieren, auf. Da einige international anerkannte Modelle (Buishand et al., 1988, Berge, 1988) den saisonalen Konzentrationsverlauf mittels harmonischer Funktionen zu beschreiben versuchen, und diese auch von uns auf Kufstein angewendet wurden, fielen dort die deutlichen Abweichungen zum ersten Mal auf. Das zweite Maximum darf nämlich keinesfalls in erster Näherung vernachlässigt werden da

- ◆ die Modelle auf Basis *Multipler Linearer Regression* mittels Optimierung der *least sums of squared residuals* dazu neigen in den oben genannten Fällen das Maximum *zwischen* die beiden tatsächlichen Maxima zu setzen, wo in Realität das Sommer-Minimum liegt, und
- ◆ neben dieser Phasenverschiebung auch zu bedenken ist, daß die harmonischen Funktionen zu breit sind um die Periodizität *ein Jahr* aufzuweisen.

Bemerkenswert ist auch die gute Korrelation zwischen Sulfat und Nitrat im saisonalen Verlauf, die auch in den *Cross-Correlations* (siehe auch Seite 33 ff) durch hohe Korrelationskoeffizienten aufgezeigt werden konnten.

## 4.4. Trends

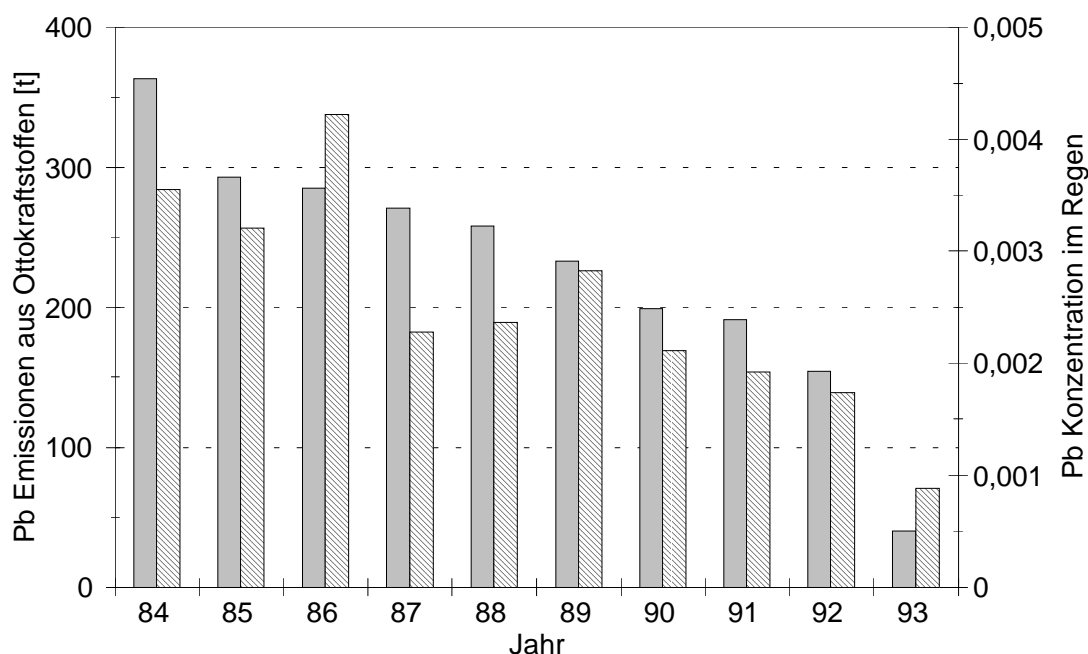
### 4.4.a. Interpretation der Graphiken

Die Betrachtung der zeitlichen Verläufe der Jahresmittelwerte in den Abb.9 bis 54 ergibt für die Ionen Ammonium und Nitrat keine augenscheinlichen Trends in der elfjährigen Untersuchungsperiode. Einzig der Ammoniumgehalt an der Station Haunsberg zeigt steigende Tendenz, wodurch auch Haunsberg die einzige Station mit einem möglichen steigenden Trend für den Gesamtstickstoff darstellt.

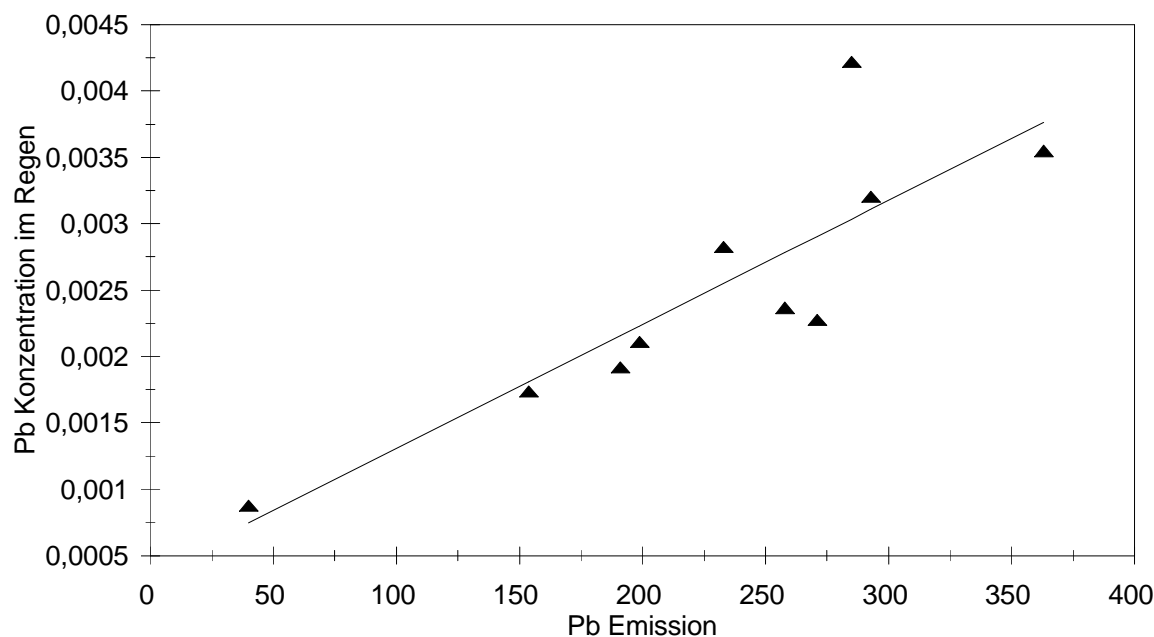
Ähnliche Trends für den Ammoniumstickstoff konnten für die ebenfalls am Alpennordrand liegende Tiroler Meßstationen Reutte und Kufstein (s.Abb.1 auf S.4) für den Untersuchungszeitraum 1984 bis 1994 aufgezeigt werden (Landesforstdirektion, 1995). Dagegen zeigt die inneralpine Tiroler Meßstelle Innervillgraten, wie auch die übrigen Salzburger Meßstellen keinen Anstieg an Ammoniumstickstoff im Untersuchungszeitraum.

Auffallend sind auch die relativ hohen Kalzium- und Chloridwerte an der Station Nußdorf ab 1993. Ähnliche Jahrgänge können auch für Werfenweng und die oberösterreichische Station Schöneben (Sommer et al., 1994) aufgezeigt werden. Die Ursache für dieses Phänomen der hohen Kalzium- und Chloridwerte, das auch Stationen in Niederösterreich betrifft (Kalina et al., 1994), ist noch ungeklärt, zumal die Stationsbetreuer lokale Kontaminationen ausschließen.

Blei und Sulfatschwefel zeigen eindeutig fallende Trends bei allen betrachteten Stationen. Für die Änderung der Sulfatkonzentration im Niederschlagswasser könnten neben der wahrscheinlichen Ursache, der Entwicklung der Emissionen in Europa auch meteorologische und klimatische Schwankungen verantwortlich sein (Puxbaum et al., 1991). Trotz massiver Reduktionen bei den SO<sub>2</sub>-Emissionen (EMEP, Sandnes, 1993) haben die Einträge nur vergleichsweise geringfügig abgenommen. Die Bedeutung Österreichs als "Importland" für Schwefel- und Stickstoffverbindungen wird durch den Import/Export - Vergleich mit dem Transportmodell der EMEP deutlich (Umweltbundesamt, 1993). 1991 wurden 176000 t S nach Österreich importiert, 20000 t exportiert und nur 12000 t durch Eigendeposition eingetragen. Die Zahlenwerte für den Gesamtstickstoff bestätigen dieses Bild mit 167000 t N Import gegenüber 29000 t Export und 38000 t Eigendeposition für 1991. Damit kann eine Reduktion der sauren Deposition in Österreich nur durch gesamteuropäische Emissionsbeschränkungen erreicht werden.



**Abb.65:** Bleiemissionen durch Verbrennung von Ottokraftstoffen in Österreich (ÖMV, 1994) und niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte der Bleikonzentrationen im Regen an der Station Werfenweng



**Abb.66:** Regression zwischen Bleiemissionen und Konzentration im Regen an der Station Werfenweng (s.o.), der Regressionskoeffizient beträgt 0,86

Dagegen zeigt der Vergleich der sinkenden Bleiwerte an den Salzburger Stationen mit den jährlichen Bleiemissionen aus der Verbrennung von Ottokraftstoffen in Österreich (ÖMV, 1994) eine gute Korrelation. Dieser Vergleich ist für die Station Werfenweng in Abb.65 als Balkendiagramm, in Abb.66 als direkte Korrelation dargestellt. Der Korrelationskoeffizient liegt für die Daten der Station Werfenweng bei 0,86, für Haunsberg und Sonnblick bei 0,69 und für Kolm Saigurn bei 0,87. Die Abnahme der Bleikonzentration im Niederschlag hängt direkt mit dem Rückgang des Verkaufs von verbleitem Benzin in Österreich, wie auch in ganz Europa, zusammen.

#### 4.4.b. Trendbestimmung

Die Trendbestimmung der Zeitreihen erweist sich als ziemlich problematisch, da einerseits keine sehr großen Trends vorliegen, und somit die Größe des Langzeittrends deutlich unter den saisonalen Schwankungen liegt, andererseits alle Voraussetzungen für die Anwendung einer linearen Regression verletzt werden (Sachs, 1992):

- ◆ die Residuen sind nicht normalverteilt (es liegt vielmehr eine Lognormalverteilung vor)
- ◆ die Restvarianz  $\sigma_{y,x}^2$  ist nicht konstant, außerdem liegen viele Ausreißer vor
- ◆ die einzelnen Werte der Zeitreihe sind nicht unabhängig voneinander, wobei die Nichterfüllung dieser Bedingung für eine Analyse noch das geringste Problem darstellen würde.

Somit würde eine lineare Regression auf Basis der *least sums of squared residuals*, ob der zu erwartende Fehler bei den an sich kleinen Trends (v.a. bei Ammonium und Nitrat) möglicherweise zu groben Fehlinterpretationen führen (Rousseeuw, 1984).

Daher wurde eine qualitative Trendbestimmung der Zeitreihen der niederschlagsgewichteten Monatsmittelwerten mit dem Vorzeichen-trendtest nach Cox-Stuart (Sachs, 1992) durchgeführt. Anstelle von Tagesdaten wurden die Monatsmittelwerte zur Berechnung herangezogen, da durch die Durchschnittsbildung bereits eine gewisse Glättung der Daten erfolgt und somit das starke Rauschen etwas gedämpft wird. Die prinzipielle Vorgangsweise ist folgende:

- ◆ Die  $n$  Werte der Zeitreihe werden in drei Gruppen geteilt, sodaß die erste und die letzte mit  $n' = n/3$  gleich viele Meßwerte enthält. (Das mittlere Drittel wird bei Stichprobenumfängen, die nicht durch drei teilbar sind, um ein bis zwei Werte reduziert.)



**Tab.4:** Ergebnisse des Cox-Stuart Trendtests

Stationen		NH4-N	NO3-N	SO4-S
Haunsberg	+	27	20	16
	-	16	23	26
	=	0	0	1
	<b>z</b>	<b>1.68</b>	0.46	1.37
St.Koloman	+	19	24	14
	-	24	18	29
	=	0	1	0
	<b>z</b>	0.76	0.76	<b>2.29</b>
Werfenweng	+	21	15	9
	-	21	25	33
	=	1	3	1

- ◆ Nun wird jeder Wert des ersten Drittels mit dem entsprechenden Wert des dritten Drittels verglichen, wobei für jedes Wertepaar, bei dem der Wert des zweiten Drittels größer als der Wert des ersten Drittels ist ein Plus notiert, für den gegenteiligen Fall ein Minus.
- ◆ Die Signifikanz eines Trends kann anhand des Prüfwertes  $\hat{z}$  abgeschätzt werden:

$$\hat{z} = \frac{|S - n/6|}{\sqrt{n/12}}$$

In der Tabelle 4 sind die Trendanalysen der Stationen: Haunsberg, St.Koloman und Werfenweng dargestellt. Die anderen Stationen konnten nicht berücksichtigt werden, da zu wenig Daten zur Verfügung standen.

Die einzelnen Zeilen in der Tabelle bedeuten:

- ◆ + entspricht den Wertepaaren mit steigendem Trend
- ◆ - entspricht den Wertepaaren mit sinkendem Trend
- ◆ = entspricht den identischen Wertepaaren

Nach Analyse der z-Statistik, wobei die Grenzen für den einseitigen Test bei 1.64 und für den zweiseitigen Test bei 1.96 liegt, lassen sich die erwarteten Trends auch statistisch erhärten:

Die *Zunahme von Ammonium* für den Untersuchungszeitraum an der Station Haunsberg ist statistisch gesehen wahrscheinlich. *Nitrat* ist bei allen drei Stationen als *annähernd konstant* anzusehen, während die *Abnahme von Sulfat* an den Stationen St.Koloman und Werfenweng als statistisch signifikant bezeichnet werden kann.

Dieses Resultat entspricht durchaus den Beobachtungen der Trends aus den Abbildungen 9 bis 57. Diese Ergebnisse entsprechen auch in etwa denen der Tiroler Stationen Kufstein und Reutte (Landesforstdirektion Tirol, 1995). Die Abnahme von Sulfat an den Stationen Haunsberg, St.Koloman und Werfenweng über den Zeitraum 1984 bis 1994 konnte in einer ersten Näherung durch **lineare** Regression über die Jahresmittelwerte auf etwa 30 - 50% ,die Zunahme von Ammonium an der Station Haunsberg auf etwa 30% geschätzt werden.

## 5. Klassifizierung

Um über den Rahmen der Beschreibung der räumlichen Trends in Salzburg hinaus eine Klassifizierung der Stationen anhand der Belastungssituation durchführen zu können, wurden zunächst die Cross Correlations der einzelnen Ionen an den Salzburger Stationen betrachtet, dann aber ein Ansatz gewählt, der sowohl saisonale Konzentrationsunterschiede, als auch Langzeittrends miteinbezieht.

### 5.1. Cross-Correlation

Um einen Hinweis auf lineare Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen der einzelnen Ionen zu bekommen wurden die Korrelationskoeffizienten  $r$  aller Ionen einer Station gegeneinander berechnet. Korrelationskoeffizienten können Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Ein Korrelationskoeffizient von 0 bedeutet, daß die beiden Variablen nicht miteinander korrelieren. Eine Variable, die mit sich selbst korreliert wird, ergibt einen Korrelationskoeffizienten von 1. Bei zwei Variablen mit  $r = 1$  oder  $r = -1$  spricht man auch von funktionalem Zusammenhang. Positive Werte von  $r$  bedeuten direkte Proportionalität der Variablen, negative Werte entsprechend indirekte Proportionalität.

Quadriert man den Korrelationskoeffizienten und multipliziert man das Ergebnis mit 100, berechnet man also  $r^2 \cdot 100$ , so kann man das Ergebnis als den Prozentsatz der Daten verstehen, die durch eine Regression repräsentiert würden.

*Direkte* Rückschlüsse von statistischen auf chemische oder andere Zusammenhänge sind a priori **nicht** zulässig, umso weniger als bei Korrelationsrechnungen von Zeitreihen immer die Gefahr von Gemeinsamkeitskorrelation besteht [5], sondern müssen von Fall zu Fall durch weitere Untersuchungen verifiziert werden! Die Cross-Correlation sollte also nur als *Hinweis* auf mögliche Zusammenhänge verstanden werden!

Die Korrelationen wurden im konkreten Fall aus folgenden Gründen aus den Monatsmittelwerten errechnet:

- ◆ die Berechnung aus Tagesdaten wäre aufgrund der vielen Ausreißer und der Tatsache daß die Daten stark verrauscht sind nicht sehr zuverlässig. Durch die niederschlagsgewichteten Monatsmittelwerte fallen die Störungen nicht so stark ins Gewicht.
- ◆ die Berechnung aus Jahresmittelwerten ist nicht sinnvoll, da man jede Saisonalität vernachlässigen würde. So könnten Variable korrelieren, wo eine z.B. ein Maximum im Frühjahr und die andere ein Maximum im Sommer hat - im Jahresmittel würde somit u.U. derselbe Wert herauskommen!

Somit ergab sich die Korrelation aus Monatmittelwerten als guter Kompromiß zwischen zu starkem Rauschen und zu starker Generalisierung.

Die Berechnungen für die Stationen *Kolm-Saigurn* und *Salzburg Flughafen* sind aufgrund der vielen Ausfälle nicht sehr zuverlässig. (Unter Ausfällen sind fehlende Tagesmeßwerte an den einzelnen Stationen gemeint, was eine geringe Zuverlässigkeit der Monatsmittelwerte impliziert. Die Tagesdaten der einzelnen Stationen sind den entsprechenden Jahresberichten zu entnehmen.) Auch an der Meßstation am *Hohen Sonnblick* wurden sehr viele Ausfälle registriert. An der Station *St.Koloman* wurde nicht auf Blei analysiert, Werte für Natrium und Kalium liegen erst ab 1990 vor, Calcium, Magnesium und Chlorid ab 1987.

Aufgrund der Ergebnisse der Cross-Correlations konnten keine Stationsklassen zugeordnet werden, es zeigten sich viel mehr die für das gesamte Landesgebiet charakteristischen Korrelationen.

In Tabelle 5 ist eine Zusammenfassung der Ionenpaare zu finden, die bei mehr als 2 Stationen hohe Korrelationskoeffizienten zeigen. Die Auswertung nach einzelnen Stationen ist in den Tabellen 6 bis 8 aufgelistet.

Die bei vielen Stationen gute Korrelation zwischen Sulfat, Nitrat und Ammonium ist statistisch gesehen sehr schwierig zu interpretieren, da neben einer tatsächlichen Gemeinsamkeit der drei Ionen genauso eine Gemeinsam-

**Tab.5:** Anzahl der Stationen die einen Korrelationskoeffizienten bei den entsprechenden Ionenpaaren von über 6,5 aufweisen

Korrelation zwischen	Anzahl
$\text{SO}_4^{2-} / \text{NO}_3^-$	4
$\text{SO}_4^{2-} / \text{NH}_4^+$	4
$\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$	3
$\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	3
$\text{Ca}^{2+} / \text{Cl}^-$	3
$\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$	3

keits korrelation vorliegen könnte. (Korreliert z.B. tatsächlich Sulfat mit Nitrat und Sulfat mit Ammonium, so hat automatisch auch Ammonium mit Nitrat einen hohen Korrelationskoeffizienten, der mit realen Zusammenhängen aber nichts zu tun haben muß!)

Die gute Korrelation spiegelt aber zusammen mit der Tatsache, daß an allen Stationen die Protonen besser mit den Nitrat- als mit den Sulfatwerten korreliert sind, die bei Saxena et al (1983) beschrieben und in Studien am Hohen Sonnblick (Brantner et al., 1994, Kasper, 1994) und in Achenkirch (Kalina et al., 1995) bestätigten Zusammenhänge des Neutralisationsgleichgewichtes zwischen Ammoniak und Salpeter- bzw. Schwefelsäure wieder. Die Neutralisation der säurebildenden Ionen in der Probe erfolgt hauptsächlich durch Ammoniak, wobei zuerst die Schwefelsäure neutralisiert wird, da die Neutralisation der Salpetersäure durch Ammoniak unter Bildung von Ammoniumnitrat erst im Gleichgewicht mit Diammoniumsulfat thermodynamisch beständig ist (Saxena et al., 1983).

Die Ergebnisse der Calcium/Magnesium Berechnungen sind auf das Vorhandensein von Dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) zurückzuführen, was durch den Einfluß der Kalkalpen nicht weiter verwunderlich ist. Da Dolomit in großen Mengen als Baumaterial, Straßenunterlage, zur Kalkherstellung und in weiten Bereichen der chemischen Industrie Verwendung findet und außerdem große Landmassen bildet (Greenwood, Earnshaw, 1990), ist auch eine Kontamination der Meßstellen durch Stäube nicht auszuschließen.

Die Betrachtung von Calcium und Chlorid ist nicht nur aus Sicht der guten Korrelation interessant, was ein Vorkommen als  $\text{CaCl}_2$  wahrscheinlich erscheinen läßt, sondern auch aufgrund der Tatsache daß ein starker Anstieg bei vielen Meßstationen in den letzten Jahren beobachtet werden konnte (siehe z.B. Station Haunsberg: Abb.13 und St.Koloman: Abb.23).

## CrossCorrelation Haunsberg, St.Koloman, Werfenweng

**Tab.6:** Cross-Correlation Haunsberg, Oktober 1983 bis September 1994, sehr wenige Ausfälle

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.166	1.000								
Na	-0.146	0.250	1.000							
K	0.089	0.144	0.060	1.000						
Ca	-0.128	0.143	<b>0.850</b>	-0.005	1.000					
Mg	0.147	0.156	0.467	0.314	0.324	1.000				
Pb	0.195	0.231	0.037	0.038	0.019	0.055	1.000			
Cl	-0.141	0.152	<b>0.940</b>	-0.036	<b>0.925</b>	0.218	-0.016	1.000		
NO <sub>3</sub>	0.506	<b>0.647</b>	0.233	0.296	0.204	0.270	0.338	0.146	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.441	<b>0.641</b>	0.151	0.162	0.223	0.326	0.327	0.066	<b>0.802</b>	1.000

**Tab.7:** Cross-Correlation St.Koloman, Oktober 1987 bis September 1994, Oktober 1983 bis Juni 1994, von Natrium und Kalium liegen nur wenige Werte vor

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.205	1.000								
Na	0.204	0.036	1.000							
K	0.069	0.332	<b>0.764</b>	1.000						
Ca	-0.389	0.277	-0.114	-0.025	1.000					
Mg	-0.188	0.334	0.047	0.124	<b>0.742</b>	1.000				
Pb		-	-	-	-	-	-			
Cl	-0.393	0.265	-0.087	-0.057	<b>0.983</b>	<b>0.722</b>	-	1.000		
NO <sub>3</sub>	0.447	0.350	0.151	0.279	-0.020	0.205	-	-0.026	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.516	0.436	0.244	0.498	0.064	0.334	-	0.019	0.593	1.000

**Tab.8:** Cross-Correlation Werfenweng, Oktober 1983 bis September 1994, von Natrium und Kalium fehlen die ersten Monate bis Oktober 1984

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.345	1.000								
Na	-0.051	0.017	1.000							
K	-0.100	0.337	0.214	1.000						
Ca	-0.217	0.044	0.051	0.356	1.000					
Mg	-0.118	-0.016	0.108	0.056	0.125	1.000				
Pb	0.438	0.275	-0.024	-0.086	-0.069	-0.077	1.000			
Cl	-0.064	0.074	<b>0.844</b>	0.357	0.098	0.096	0.077	1.000		
NO <sub>3</sub>	0.430	<b>0.649</b>	0.182	0.345	0.122	-0.008	0.249	0.302	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.374	<b>0.636</b>	0.274	0.235	0.084	-0.008	0.447	0.209	<b>0.695</b>	1.000

**Tab.9:** *Cross-Correlation Kolm-Saigurn, Oktober 89 bis September 94, einige Ausfälle*

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.025	1.000								
Na	-0.276	0.063	1.000							
K	-0.161	0.142	0.300	1.000						
Ca	-0.364	0.150	0.483	0.096	1.000					
Mg	-0.263	0.504	0.561	0.170	<b>0.665</b>	1.000				
Pb	0.405	0.328	-0.044	-0.058	-0.090	0.166	1.000			
Cl	-0.158	0.084	<b>0.756</b>	<b>0.657</b>	0.472	0.441	-0.023	1.000		
NO <sub>3</sub>	<b>0.816</b>	0.305	0.006	0.023	-0.128	0.096	0.449	0.056	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.149	<b>0.900</b>	0.167	0.126	0.165	0.543	0.549	0.219	0.403	1.000

**Tab.10:** *Cross-Correlation Sonnblick, Oktober 1987 bis September 1994, viele Ausfälle*

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.146	1.000								
Na	-0.162	0.220	1.000							
K	-0.040	0.510	<b>0.653</b>	1.000						
Ca	-0.309	0.294	0.349	0.281	1.000					
Mg	-0.179	0.425	0.350	0.299	<b>0.881</b>	1.000				
Pb	0.200	0.183	0.108	0.108	0.005	0.233	1.000			
Cl	-0.213	0.394	0.360	0.312	<b>0.754</b>	0.617	-0.112	1.000		
NO <sub>3</sub>	0.475	<b>0.789</b>	0.238	0.423	0.218	0.367	0.206	0.233	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.263	<b>0.943</b>	0.314	0.560	0.281	0.430	0.225	0.352	<b>0.797</b>	1.000

**Tab.11:** *Cross-Correlation Flughafen Salzburg, Oktober 1983 bis September 1986*

	H	NH <sub>4</sub>	Na	K	Ca	Mg	Pb	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>
H	1.000									
NH <sub>4</sub>	0.025	1.000								
Na	-0.276	-0.226	1.000							
K	-0.161	-0.131	0.212	1.000						
Ca	-0.364	0.246	-0.521	-0.101	1.000					
Mg	-0.263	0.318	<b>0.639</b>	0.066	0.127	1.000				
Pb	0.405	0.422	-0.357	0.122	0.373	0.151	1.000			
Cl	-0.158	0.536	0.031	-0.094	0.397	0.344	0.341	1.000		
NO <sub>3</sub>	<b>0.816</b>	0.537	0.262	-0.086	0.363	<b>0.652</b>	0.623	0.477	1.000	
SO <sub>4</sub>	0.149	0.496	0.171	-0.090	0.466	0.491	0.482	0.447	<b>0.804</b>	1.000

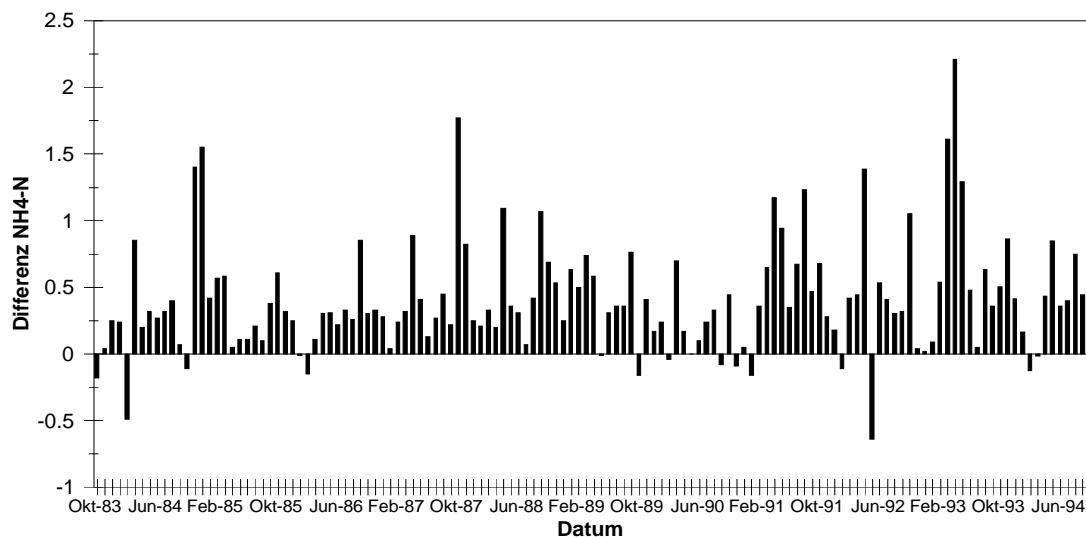
## 5.2. Zeitreihenvergleich

Beim Versuch die Stationen in Gruppen einzuteilen, die sich an den Belastungen durch sauren Regen orientieren, muß man erkennen, daß eine Klassifizierung der Stationen nach Jahres- bzw. 10-Jahresmittelwerten offensichtlich problematisch ist, da in diesen Fällen Trends und v.a. Saisonalitäten vernachlässigt werden. Unser Ansatz versucht den Vergleich von vier Stationen - Haunsberg, Werfenweng, Sonnblick, St.Koloman und Innervillgraten<sup>1</sup> - durch ein anderes Verfahren, daß sowohl saisonale Konzentrationsunterschiede, wie auch Langzeittrends miteinbezieht. Die Klassifizierung erfolgt nach den drei Ionen Sulfat, Nitrat und Ammonium, wobei die prinzipielle Vorgangsweise folgende ist:

- ◆ **Subtraktion der Zeitreihen** der Monatsmittelwerte (s.a.Abb.67), wodurch auch Saisonalitäten und Trends berücksichtigt werden
- ◆ **Summierung der absoluten Werte der Differenzen**, um einen für dieses Paar repräsentativen Zahlenwert zu erhalten, der mit anderen Paaren verglichen werden kann
- ◆ **Vergleich der Paare:**
  - ◆ Paare mit niedrigem Summenwert bilden eine Gruppe
  - ◆ Paare mit hohem Summenwert trennen Gruppen

Aus den Tabellen 12 bis 14 lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- ◆ Die Werte der Gruppierung der Stationen Innervillgraten(Tirol) und Sonnblick zeigen sowohl bei Sulfat, als auch bei Nitrat und Ammonium die deutlich niedrigsten Werte, was auch den Erwartung entspricht, handelt es sich doch bei beiden Meßstellen um inneralpine Stationen (Innervillgraten liegt auf 1700m, Sonnblick auf 3100m).



**Abb.67:** Differenz der Ammonium Zeitreihen (Monatsmittelwerte) von Haunsberg - Werfenweng, wobei immer gleiche Monate gleicher Jahre subtrahiert wurden. In diesem Beispiel zeigt sich, daß die Konzentrationen in Haunsberg durchwegs höher liegen als in Werfenweng.

<sup>1</sup> Innervillgraten ist zwar eine Tiroler Station, wurde aber, weil sie eine inneralpine Station ist, zu Vergleichszwecken dazugenommen.

Tab.12: Klassifizierung nach Sulfat

	Haunsberg	Werfenweng	Sonnblick	St.Koloman	Innervillgraten
Haunsberg	0	33,1	41,7	29,1	40,2
Werfenweng		0	20,8	20,7	21,8
Sonnblick			0	33,0	<b>16,6</b>
St.Koloman				0	33,9
Innervillgraten					0

Tab.13: Klassifizierung nach Nitrat

	Haunsberg	Werfenweng	Sonnblick	St.Koloman	Innervillgraten
Haunsberg	0	19,7	34,2	18,4	30,3
Werfenweng		0	18,7	<b>15,1</b>	<b>16,3</b>
Sonnblick			0	22,7	<b>9,8</b>
St.Koloman				0	21,1
Innervillgraten					0

Tab.14: Klassifizierung nach Ammonium

	Haunsberg	Werfenweng	Sonnblick	St.Koloman	Innervillgraten
Haunsberg	0	41,2	55,6	43,2	45,6
Werfenweng		0	<b>21,0</b>	<b>18,8</b>	19,8
Sonnblick			0	<b>20,9</b>	<b>18,1</b>
St.Koloman				0	23,3
Innervillgraten					0

- ◆ Ins andere Extrem tendieren die Gruppierungen mit der Station Haunsberg, im besonderen bezogen auf Innervillgraten und Sonnblick, die durchwegs die höchsten Werte im Vergleich zeigen. Auch dieses Ergebnis bestätigt die aus den großen geographischen und klimatischen Unterschieden zu erwartenden Differenzen, da es sich bei Haunsberg um eine Station außerhalb der Alpen in einer Höhe von 520m handelt.
- ◆ Die anderen Vergleiche, Werfenweng und St.Koloman betreffend, ergeben Werte die zwischen den beiden Extremen liegen, auch hier ist wieder die Bestätigung in den Karten zu finden: St.Koloman und Werfenweng liegen bereits in den Alpen, auf 1020m und 940m Höhe, zwischen den Stationen Haunsberg und Sonnblick (bzw. Innervillgraten)

Aufgrund der Analysen lassen sich drei Gruppen von Stationen bestätigen: die Inneralpinen Stationen mit Innervillgraten und Sonnblick, die Stationen im Alpenvorland mit Haunsberg und die alpinen Stationen niedriger Höhenlage in Salzburg, nämlich Werfenweng und St.Koloman.

## 6. Anhang - Tabellen

### 6.1. Jahresmittelwerte Konzentration

Alle Konzentrationsangaben sind in [mg/l], der Niederschlag (NS) ist in [mm] angegeben, die Mittelwerte sind niederschlagsgewichtet.  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  Konzentrationen sind auf Stickstoff,  $\text{SO}_4^{2-}$  auf Schwefel bezogen. 94\* bedeutet: Messungen bis September 94.

Tab.15: Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte Haunsberg

Jahr	NS [mm]	pH	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
[mg/l]												
84	913.0	4.6	0.027	1.12		1.00	0.09	0.004	0.73	0.62	1.21	
85	1190.5	4.7	0.020	0.65	0.24	0.17	1.45	0.10	0.005	0.96	0.49	0.95
86	1003.8	4.7	0.022	0.72	0.16	0.09	1.28	0.09	0.005	0.96	0.53	0.94
87	1259.4	4.7	0.022	0.70	0.15	0.11	0.70	0.07	0.003	0.67	0.50	0.75
88	1299.5	4.7	0.020	0.72	0.16	0.09	0.81	0.08	0.005	0.77	0.58	0.78
89	1075.6	4.5	0.032	0.84	0.16	0.14	0.88	0.07	0.004	0.53	0.65	1.04
90	1255.5	4.7	0.019	0.70	0.15	0.06	0.61	0.06	0.003	0.58	0.50	0.71
91	1044.4	4.9	0.013	1.16	0.44	0.18	0.44	0.06	0.003	0.77	0.58	0.81
92	912.3	4.9	0.013	0.96	0.34	0.13	0.55	0.06	0.003	0.74	0.53	0.65
93	764.9	4.6	0.024	0.97	0.30	0.12	1.29	0.08	0.003	1.77	0.50	0.97
94*	730.2	5.1	0.008	1.04	1.09	0.07	3.24	0.10	0.003	6.93	0.53	0.75

Tab.16: Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte St.Koloman

Jahr	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
[mg/l]											
84	1257.8	4.3	0.62							0.56	1.00
85	1349.4	4.3	0.66							0.42	0.93
86	1167.2	4.7	0.72							0.30	0.81
87	1515.6	4.7	0.50			0.86	0.0910		0.99	0.55	0.84
88	1643.3	4.6	0.44			0.83	0.0727		0.67	0.56	0.70
89	1221.3	4.4	0.33			1.12	0.1155		1.39	0.47	1.22
90	1057.1	4.7	0.32	0.16	0.05	0.93	0.1104		1.11	0.35	0.68
91	963.6	5.0	0.78	0.16	0.06	3.49	0.1301		5.83	0.52	0.95
92	1106.5	5.0	0.53	0.11	0.04	4.63	0.1581		7.47	0.41	0.57
93	1348.5	4.6	0.43	0.13	0.05	0.23	0.0323		0.19	0.40	0.55
94*	595.2	4.7	0.59	0.15	0.06	0.32	0.0441		0.23	0.46	0.59



**Tab.17:** Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte Werfenweng

Jahr	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
84	696.6	4.5	0.73			0.69	0.1271	0.0036	0.44	0.50	0.85
85	941.8	4.9	0.44	0.87	0.28	0.93	0.2408	0.0032	0.85	0.37	0.88
86	736.1	4.8	0.41	0.28	0.12	1.08	0.1522	0.0042	0.39	0.37	0.68
87	1045.4	4.8	0.32	0.38	0.12	0.69	0.1676	0.0023	0.54	0.35	0.53
88	1100.4	5.1	0.28	0.66	0.13	0.87	0.1541	0.0024	0.96	0.35	0.49
89	986.1	4.7	0.47	0.27	0.13	0.93	0.2114	0.0028	0.35	0.42	0.81
90	920.4	4.9	0.54	0.33	0.17	0.46	0.1241	0.0021	0.51	0.38	0.54
91	995.4	5.1	0.51	0.21	0.15	0.35	0.4792	0.0019	0.31	0.33	0.48
92	967.9	5.3	0.50	0.26	0.20	0.72	0.1199	0.0017	0.30	0.32	0.40
93	1045.3	5.8	0.42	0.26	0.26	4.20	0.3613	0.0009	0.41	0.34	0.43
94*	735.6	5.6	0.55	0.19	0.09	0.89	0.2232	0.0003	0.32	0.40	0.45

**Tab.18:** Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte Kolm-Saigurn

Jahr	NS [mm]	pH	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
90	945.2	4.7	0.019	0.37	0.11	0.03	0.25	0.03	0.003	0.22	0.29	0.44
91	866.7	4.9	0.011	0.34	0.20	0.35	0.40	0.04	0.002	0.70	0.31	0.43
92	674.1	4.9	0.014	0.26	0.11	0.03	0.35	0.03	0.003	0.13	0.27	0.35
93	1119.6	4.7	0.021	0.37	0.08	0.02	0.24	0.04	0.002	0.09	0.25	0.38
94*	331	4.9	0.014	0.20	0.11	0.02	0.49	0.03	0.001	0.23	0.27	0.26

**Tab.19:** Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte Sonnblick

Jahr	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
88	1405.7	4.8	0.32	0.20	0.11	0.33	0.0358	0.0050	0.29	0.24	0.50
89	1301.8	4.8	0.30	0.09	0.06	0.49	0.0491	0.0039	0.30	0.20	0.51
90	1245.7	4.8	0.24	0.11	0.06	0.43	0.0368	0.0023	0.44	0.20	0.33
91	1596.6	4.9	0.33	0.12	0.06	0.50	0.0427	0.0018	0.42	0.24	0.42
92	1505.8	5.0	0.28	0.11	0.04	0.58	0.0497	0.0024	0.36	0.22	0.39
93	1528.6	4.9	0.36	0.10	0.04	0.43	0.0388	0.0019	0.27	0.22	0.39
94*	1284.3	5.0	0.27	0.09	0.03	0.52	0.0425	0.0015	0.43	0.21	0.36

**Tab.20:** Niederschlagsgewichtete Jahresmittelwerte Flughafen Salzburg

Jahr	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup> [mg/l]	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
84	811.8	4.4	1.19	0.18	0.13	0.81	0.0938	0.0045	0.63	0.72	1.42
85	1191.5	4.6	0.53	0.25	0.16	0.89	0.0995	0.0039	0.62	0.44	0.90
86*	650	4.6	0.71	0.28	0.09	1.36	0.1210	0.0020	0.70	0.65	1.37

\* bis September 86, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> Werte ab Oktober 84

## 6.2. Jahresmittelwerte Deposition

Alle Depositionen sind in [kg/ha] angegeben, die Mittelwerte sind niederschlagsgewichtet.  $\text{NO}_3^-$  und  $\text{NH}_4^+$  Konzentrationen sind auf Stickstoff,  $\text{SO}_4^{2-}$  auf Schwefel bezogen. 94\* bedeutet: Messungen bis September 94.

**Tab.21:** Jahresmittelwerte Deposition Haunsberg

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
84	0.250	10.21			9.14	0.84	0.040	6.65	5.68	11.06
85	0.236	7.71	2.84	2.07	17.22	1.20	0.064	11.47	5.81	11.29
86	0.222	7.18	1.63	0.89	12.81	0.89	0.053	9.59	5.36	9.42
87	0.279	8.79	1.94	1.34	8.87	0.85	0.044	8.48	6.24	9.39
88	0.256	9.33	2.10	1.15	10.50	1.00	0.067	10.06	7.60	10.11
89	0.340	9.00	1.74	1.47	9.44	0.80	0.041	5.70	6.98	11.16
90	0.238	8.75	1.90	0.81	7.63	0.72	0.036	7.24	6.27	8.96
91	0.138	12.16	4.59	1.89	4.64	0.64	0.119	8.04	6.08	8.49
92	0.116	8.78	3.07	1.20	5.05	0.57	0.030	6.73	4.80	5.91
93	0.183	7.39	2.27	0.93	9.89	0.63	0.021	13.53	3.81	7.38
94*	0.056	7.58	7.98	0.53	23.69	0.74	0.019	50.58	3.84	5.46

**Tab.22:** Jahresmittelwerte Deposition St.Koloman

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
84	0.64	7.84							7.07	12.54
85	0.69	8.89							5.63	12.58
86	0.23	8.39							3.50	9.49
87	0.29	7.55			13.10	1.38		14.95	8.40	12.77
88	0.40	7.25			13.67	1.19		11.05	9.27	11.42
89	0.51	4.03			13.73	1.41		17.00	5.73	14.86
90	0.20	3.40	1.69	0.55	9.86	1.17		11.77	3.67	7.17
91	0.09	7.56	1.54	0.61	33.60	1.25		56.19	5.00	9.14
92	0.12	5.82	1.23	0.44	51.24	1.75		82.62	4.48	6.33
93	0.32	5.83	1.80	0.61	3.13	0.44		2.56	5.34	7.48
94*	0.11	3.49	0.90	0.37	1.92	0.26		1.39	2.77	3.52

**Tab.23:** Jahresmittelwerte Deposition Werfenweng

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
84	0.21	5.06	0.00	0.00	4.79	0.89	0.025	3.09	3.52	5.91
85	0.11	4.11	8.22	2.64	8.77	2.27	0.030	8.01	3.50	8.31
86	0.12	2.99	2.05	0.86	7.99	1.12	0.031	2.88	2.69	5.02
87	0.15	3.33	3.94	1.26	7.21	1.75	0.024	5.68	3.63	5.53
88	0.08	3.13	7.23	1.41	9.52	1.70	0.026	10.54	3.83	5.42
89	0.18	4.59	2.67	1.25	9.13	2.08	0.028	3.47	4.13	7.98
90	0.13	4.95	3.04	1.58	4.25	1.14	0.019	4.66	3.50	5.01
91	0.09	5.11	2.09	1.48	3.47	4.77	0.019	3.10	3.33	4.78
92	0.05	4.87	2.50	1.91	6.96	1.16	0.017	2.95	3.11	3.82
93	0.02	4.43	2.72	2.70	43.92	3.78	0.009	4.29	3.61	4.47
94*	0.02	4.06	1.43	0.68	6.56	1.64	0.002	2.35	2.92	3.29

**Tab.24:** Jahresmittelwerte Deposition Kolm-Saigurn

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
90	0.177	3.53	1.03	0.32	2.36	0.28	0.024	2.09	2.76	4.14
91	0.099	2.96	1.76	3.04	3.50	0.38	0.021	6.09	2.67	3.71
92	0.093	1.77	0.74	0.17	2.34	0.20	0.018	0.86	1.79	2.36
93	0.233	4.19	0.88	0.21	2.69	0.39	0.020	1.03	2.84	4.23
94*	0.045	0.65	0.37	0.07	1.62	0.10	0.003	0.78	0.88	0.87

**Tab.25:** Jahresmittelwerte Deposition Sonnblick

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
88	0.20	4.47	2.74	1.49	4.63	0.50	0.070	4.07	3.36	7.07
89	0.22	3.96	1.13	0.76	6.38	0.64	0.051	3.85	2.64	6.61
90	0.20	3.03	1.32	0.77	5.39	0.46	0.028	5.51	2.51	4.16
91	0.19	5.19	1.95	1.01	7.91	0.68	0.028	6.72	3.86	6.67
92	0.13	4.18	1.61	0.63	8.80	0.75	0.036	5.42	3.25	5.90
93	0.19	5.44	1.54	0.63	6.61	0.59	0.029	4.15	3.32	5.94
94*	0.14	3.51	1.10	0.38	6.69	0.55	0.019	5.56	2.68	4.57

**Tab.26:** Jahresmittelwerte Deposition Flughafen Salzburg

Jahr	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
84	0.34	9.64	1.44	1.06	6.54	0.76	0.036	5.09	5.87	11.51
85	0.31	6.26	2.95	1.93	10.58	1.19	0.046	7.43	5.19	10.76
86*	0.16	4.60	1.80	0.60	8.81	0.79	0.013	4.56	4.22	8.89

### 6.3. 10-Jahresmittelwerte Konzentration

**Tab.27:** 10-Jahresmittelwerte (niederschlagsgewichtet) Salzburg

Station *	**	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
							[mg/l]					
<b>Haunsberg</b>	84-94	1040.8	4.7	0.85	0.26	0.11	1.04	0.08	0.0046	1.21	0.55	0.86
<b>Kolm-Saigurn</b>	90-94	787.3	4.8	0.33	0.12	0.10	0.32	0.03	0.0022	0.28	0.28	0.39
<b>Sonnblick</b>	88-94	1409.8	4.9	0.30	0.12	0.06	0.47	0.04	0.0027	0.36	0.22	0.41
<b>St.Koloman</b>	84-94	1202.3	4.6	0.53	0.05	0.02	1.06	0.07	fehlt	1.49	0.46	0.81
<b>Werfenweng</b>	84-94	924.6	4.9	0.46	0.35	0.16	1.11	0.22	0.0023	0.50	0.37	0.59

bei kursiv gesetzten Werten liegt nicht die volle Meßdauer vor!

\* für Station Gaisberg und Flughafen-Salzburg lagen zu wenig Meßwerte vor

\*\* '94' bedeutet Messungen bis September 1994

**Tab.28:** 10-Jahresmittelwerte (niederschlagsgewichtet) Tirol, Oberösterreich

Station	**	NS [mm]	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S	
							[mg/l]					
<b>Aachenkirch</b>	84-94	1002.3	4.6	0.41	0.09	0.027	0.40	0.0531	0.59	0.40	0.62	
<b>Innervillgraten</b>	85-94	697.9	4.8	0.45	0.10	0.060	0.27	0.0373	0.28	0.26	0.58	
<b>Kufstein</b>	84-94	1171.5	4.5	0.66	0.12	0.078	0.21	0.0278	0.31	0.47	0.67	
<b>Reutte</b>	84-94	1365.1	4.8	0.45	0.19	0.09	0.45	0.0500	0.51	0.32	0.48	
<b>Schöneben</b>	84-93	861		1.00						0.59	1.09	
<b>Kremsmünster</b>	84-93	1034		0.85						0.69	1.23	
<b>Grünau</b>	86-93	1572		0.54						0.46	0.63	

bei kursiv gesetzten Werten liegt nicht die volle Meßdauer vor!

\*\* '94' bedeutet Messungen bis September 1994

## 6.4. 10-Jahresmittelwerte Deposition

**Tab.29:** 10-Jahresmittelwerte Deposition Salzburg

Station *	**	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]											
<b>Haunsberg</b>	84-94	0,21	8,81	2,73	1,12	10,81	0,81	0,040	12,55	5,68	8,97
<b>Kolm-Saigurn</b>	90-94	0,13	2,62	0,96	0,76	2,50	0,27	0,017	2,17	2,19	3,06
<b>Sonnblick</b>	88-94	0,18	4,26	1,63	0,81	6,63	0,60	0,037	5,04	3,09	5,85
<b>St.Koloman</b>	84-94	0,33	6,37	0,65	0,23	12,75	0,80	<i>fehlt</i>	17,96	5,53	9,75
<b>Werfenweng</b>	84-94	0,11	4,24	3,26	1,43	10,23	2,03	0,021	4,64	3,43	5,41

bei kursiv gesetzten Werten liegt nicht die volle Meßdauer vor!

\*\* '94' bedeutet Messungen bis September 1994

**Tab.30:** 10-Jahresmittelwerte Deposition Tirol, Oberösterreich

Station *	**	H <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S
[kg/ha]										
<b>Aachenkirch</b>	84-94	0,24	4,09	0,92	0,28	4,01	0,53	5,96	3,96	6,17
<b>Innervillgraten</b>	85-94	0,12	3,14	0,68	0,42	1,94	0,26	1,96	1,84	4,08
<b>Kufstein</b>	84-94	0,37	7,69	1,42	0,91	2,55	0,33	3,69	5,47	7,80
<b>Reutte</b>	84-94	0,21	6,16	2,59	1,24	6,19	0,70	6,92	4,34	6,53
<b>Schöneben</b>	84-93		8,61						5,08	9,38
<b>Kremsmünster</b>	84-93		8,79						7,13	12,72
<b>Grünau</b>	86-93		8,49						7,23	9,90

bei kursiv gesetzten Werten liegt nicht die volle Meßdauer vor!

\*\* '94' bedeutet Messungen bis September 1994

## 7.Literatur

---

Brantner B., Fierlinger H., Berner A., Puxbaum H. (1994) *Cloud water chemistry in the subcooled droplet regime at Mount Sonnblick (3106 m a.s.l., Salzburg Austria)*, *Water Air Soil Pollut.*, 74, 363-384.

Berge E. (1988): *Time-Trends Of Sulphate And Nitrate In Precipitation In Norway (1972 - 1982)*; *Atmospheric Environment* Vol. 22, No.2, pp. 333-338

Buishand T.A., Kempen G.T., Frantzen A.J. (1988): *Trend And Seasonal Variation Of Precipitation Chemistry Data in The Netherlands*; *Atmospheric Environment* Vol. 22, No.2, pp. 339-348

Bundesministerium für Gesundheit und Umweltschutz (1984) *Richtlinie 11, Immissionsmessung des nassen Niederschlags und des sedimentierten Staubes, Luftverunreinigung - Immissionsmessung, Vienna, Austria.*

Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, ÖMV (1994)

Cehak K., Chalupa K. (1985) *Observations of various chemical contaminants of the precipitation at a BAPMoN station in the Eastern Pre-Alpine Region*, *Arch. Met. Geophys. Bioclimat.* B35, 307-322.

Granat L. (1978) *Sulfate in precipitation as observed by the European Atmospheric Chemistry Network*, *Atmos. Environ.* 12, 413-424.

Greenwood N.N., Earnshaw A.: *Chemie der Elemente; 1.Auflage, Verlag Chemie (1988, 1990)*

Hedin L.O., Granat L., Likens G.E., Rodhe H. (1991) *Strong similarities in seasonal concentration ratios of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in precipitation between Sweden and northeast US*, *Tellus* 43B, 454-462.

Horvath L., Meszaros E. (1984) *The composition and acidity of precipitation in Hungary*, *Atmos. Environ.* 18, 1843.

Kalina M.F., Puxbaum H. (1994) *A study of the influence of riming of ice crystals on snow chemistry during different seasons in precipitation continental clouds*, *Atmospheric Environment* Vol.28., 20, 3311-3328.

Kalina M. F. and Puxbaum H. (1994) *Verteilung der nassen Deposition von Schwefel- und Stickstoffverbindungen in Österreich, Dokumentation der Daten für 1991, Bericht 9/94, Institute for Analytical Chemistry, Vienna University of Technology, Austria.*

Kalina M. F. and Puxbaum H. (1995) *Verteilung der nassen Deposition von Niederschlagsinhaltsstoffen in Österreich, Dokumentation der Daten für 1992, Bericht 3/95, Institute for Analytical Chemistry, Vienna University of Technology, Austria.*

Kalina M. F., Puxbaum H., Damm A. (1994) *Nasse Deposition im Land Niederösterreich, Oktober 1993 bis September 1994, Bericht 19/94, Institut für Analytische Chemie, TU-Wien, Österreich.*

Kalina M. F., Zambo E., Puxbaum H. (1995) *1.Zwischenbericht Okkulte Deposition in Achenkirch, Bericht 2/95, Institute for Analytical Chemistry, Vienna University of Technology, Austria.*

Kasper A. (1994) *Saisonale Trends atmosphärischer Spurenstoffe sowie deren Auswaschverhalten an der Hintergrundmeßstelle Hoher Sonnblick, Dissertation, Inst. für Analytische Chemie, TU Wien*

Kasper A., Puxbaum H. (1994) *Determination of SO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub> and aerosol components at an high alpine background site with a filter pack method*, *Anal. Chim. Acta* 291, 297-304.

Kovar A., Kasper A., Puxbaum H., Fuchs G., Kalina M., Gregori M. (1991) *Kartierung der Deposition von SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>x</sub> und basischen Kationen in Österreich, Bericht 9/91, Institut für Analytische Chemie, TU-Wien, Österreich.*

Kovar A., Puxbaum H. (1990) *A simple model to explain spring maximum of sulfate concentration in precipitation water*, *Int. Conference on Acidic Deposition, Glasgow, 1990.*

Meszaros E. (1974) *On the spring maximum of the concentration of trace constituents in atmospheric precipitation*, *Tellus* 24, 402-407.

Puxbaum H., Kovar A., Kalina M. (1991) *Chemical Composition and Fluxes of Wet Deposition at Elevated Sites (700-3105 m a.s.l.) in the Eastern Alps (Austria)*, *NATO ASI Series, Vol.G28, Seasonal Snowpacks*, ed. by T.D.Davies et al., Verlag Springer Berlin Heidelberg, 273-297.

- Puxbaum H., Vitovec W., Kovar A. (1988) Chemical Composition of Wet Deposition in the Eastern Alpine Region, in Unsworth MN, Fowler D (eds) Acid Deposition at High Elevation Sites, Kluwer, 419-430.*
- Rhode H., Granat L. (1984) An evaluation of sulfate in European precipitation 1955-1982, Atmos. Environ. 18, 2627-2639.*
- Rousseuw P.J. (1984): Least Median of Squares Regression; Journal of the American Statistical Association, Vol. 79, Nr. 388, (Dec. 1984), Theory and Methods Section*
- Sachs L. (1992): Angewandte Statistik; 7. Auflage,*
- Sandnes H. (1993) Calculated budgets for airborne acidifying components in Europe, 1985 1987, 1988, 1989, 1990, 1991, and 1992, EMEP Report 1/93, MSC-W, Norway.*
- Saxena P., Seigneur C. (1983) Modeling of multiphase atmospheric aerosols, Atmos. Environ. 17, 1315-1329.*
- Schöner W. (1995), Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien, persönliche Mitteilungen.*
- Schulze E.D., de Vries W., Hauhs M., Rosen K., Rasmussen L., Tamm C.O., Nilsson J. (1990) Critical Loads for Nitrogen Deposition on Forest Ecosystems, Water Air and Soil Pollution 48, 451-456.*
- Smidt S. (1995) Forstliche Bundesversuchsanstalt, persönliche Mitteilungen.*
- Sommer R., Giefing C., Lackner M., Föfbleitner B., Schwarz C., Minniberger G., Kernecker T. (1994) Saurer Regen in Oberösterreich, Meßbericht 6, Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Linz, Austria.*
- Umweltbundesamt (1993) Umweltkontrollbericht - Teil A, State of the Environment in Austria, ISBN 3-85457-138-0, e.d. J. Mayer, Umweltbundesamt, Wien.*