

WACHSQUALITÄT, NÄHR- UND SCHADSTOFF- KONZENTRATIONEN VON FICHTENNADELN

Untersuchungsergebnisse 1995

Cristina TRIMBACHER
Peter WEISS

MONOGRAPHIEN
Band 90
M-090

Wien, 1997

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Projektleitung

Cristina TRIMBACHER

Autoren

Cristina TRIMBACHER
Peter WEISS

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Fichtennadeln

Cristina TRIMBACHER
Andreas KNIESCHEK

Analytik

Andrea HANUS-ILLNAR
Andreas PÖLL
Brigitte KAINZ
Andreas KNIESCHEK
Eduard FRANK
Sabine HOTOWEC
Rosina OPPOLZER
Michael SCHÖNDORFER

Alle rasterelektronenmikroskopischen und chemisch-analytischen Untersuchungen wurden in den Labs des Umweltbundesamtes in Wien durchgeführt.

weitere Mitarbeiter

Bernhard GRÖGER, Evelyn NEUHOLD, Maria EICHHORN

GIS

Felix LUX, Edwin BAUMGARTNER, Gabriele ZEHETNER, Bernhard SCHWARZL

Übersetzung

Cristina TRIMBACHER

Titelphoto

REM-Aufnahme von Gipskristallen auf einer Fichtennadel, Vergrößerung: 5.000 x
(C. Trimbacher)

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Wograndl, Mattersburg

© Umweltbundesamt, Wien, 1997
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-391-X

ZUSAMMENFASSUNG

Das Umweltbundesamt führt bereits seit mehreren Jahren rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Fichtennadelwachsen in verschiedenen Regionen Österreichs durch. Die sog. Epicuticularwachse überziehen die gesamte Nadel und bilden somit die ersten Angriffsflächen der Blattorgane für Umwelteinflüsse. Besonders im Bereich der Spaltöffnungen, den Atmungsorganen der Nadel, ist ein dichtes Geflecht aus Wachsröhrchen ausgebildet, welches wie ein Filter wirkt und die Funktion der Spaltöffnungen, wie beispielsweise Regulation des Gasaustausches bei der Photosynthese und Atmung oder Schutz vor übermäßiger Verdunstung unterstützt. Umwelteinflüsse, vor allem Luftschadstoffe, können die Epicuticularwachse beeinträchtigen. Immissionseinflüsse können nach Art der Wachsveränderungen von witterungsbedingten Veränderungen der Wachsmikrostruktur unterschieden werden.

1995 wurde vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur ein standardisiertes Beurteilungsverfahren zur quantitativen Erfassung von Nadelwachsveränderungen für einjährige Fichtennadeln an Nadelmaterial unbelasteter Hintergrundstandorte entwickelt. Durch die Bewertung der Wachsstrukturen einer definierten Anzahl von Spaltöffnungen resultiert ein Zahlenwert zwischen 1,0 (unbeeinträchtigt) und 5,0 (stark beeinträchtigt), der als Wachsqualität bezeichnet wird. Dieser baumphysiologische Parameter charakterisiert den Erhaltungszustand der Nadelwachse.

Als weiteren Schritt galt es nun, die Eignung des Beurteilungsverfahrens zur Charakterisierung emittentennaher Standorte zu testen. Dafür wurden solche Standorte ausgewählt, an denen Emissionen zu erwarten sind, die nachweislich, wie durch zahlreiche Untersuchungen belegt, die Wachsqualität nachteilig beeinflussen.

Zu den insgesamt 14 emittentennahen Standorten, die im Rahmen dieser Projektstudie untersucht wurden, zählten die industriell beeinflussten Standorte *Arnoldstein, Breitenau, Brixlegg, Brückl, Leoben, Radenthein, Reutte, Treibach* und *Wietersdorf*. Die städtischen Ballungsräume *Graz, Innsbruck* und *Linz* sowie je ein Höhenprofil an der *A10-Tauernautobahn* bei Zederhaus und an der *A12-Inntalautobahn* bei Rattenberg (Profil Radfeld) waren ebenfalls Bestandteil des vorliegenden Untersuchungsprogramms. Um Vergleichsdaten zu diesen emittentennahen Standorten zu erhalten, wurde auch Nadelmaterial von durch lokale Schadstoffquellen unbeeinflussten Hintergrundstandorten analysiert. Dabei handelte es sich um dieselben Standorte, deren Fichtennadeln für die Methodenentwicklung verwendet wurden. Die im folgenden angeführten Ergebnisse der Studie beziehen sich auf einjährige Fichtennadeln des Jahres 1995.

Des weiteren wurden an den genannten Standorten auch die Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln erhoben. Mit Hilfe einer umfangreichen statistischen Auswertung wurden die Zusammenhänge der verschiedenen Parameter überprüft. Zu diesem Zweck erfolgte eine Einteilung aller Standorte in die Kategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten.“ Standorte mit der Bezeichnung „Hintergrund“ sind durchwegs in sehr großer Distanz zu Ballungsräumen, öffentlichen Straßen und Betrieben. In der Gruppe „nahe Emittenten“ sind jene Standorte der untersuchten Ballungsräume, öffentlichen Straßen und/oder Betriebe zusammengefaßt, wo aufgrund der Lage bereits geringerer Einfluß dieser Quellen vermutet wird. Standorte in der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ liegen im unmittelbaren Nah- und daher Einflußbereich der untersuchten Quellen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß das dargestellte Verfahren der rasterelektronenmikroskopischen Beurteilung der Wachsqualität von Fichtennadeln eine sehr sensible und geeignete Methode der Bioindikation darstellt.

Es wurde festgestellt, daß die Gruppe der Standorte „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ eine signifikant schlechtere Wachsqualität der Spaltöffnungen aufwies als die Kategorie „Hintergrund“. Verantwortlich für dieses Ergebnis war insbesondere die schlechtere Wachsqualität der Fichtennadeln der Untersuchungsgebiete *Breitenau, Innsbruck, Leoben, Linz, Radenthein, Radfeld* und *Zederhaus*. Gipskristalle, deren Auftreten auf Nadeloberflächen als Indiz für erhöhte Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln aufgrund von Schwefelimmisionen gewertet wird, wurden nur im Nahbereich von Emittenten, vor allem in den Untersuchungsgebieten *Breitenau, Brückl, Graz, Innsbruck, Leoben, Radfeld, Reutte* und *Wietersdorf* gefunden. Die Gruppe der Standorte, wo Gipskristalle detektiert wurden, wies auch signifikant höhere Schwefelgehalte der Nadeln auf. Dabei wurde an fast allen Standorten im Einflußbereich von Emittenten der Grenzwert für Schwefel im 1. Nadeljahrgang gemäß 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen überschritten. In einigen ausgewählten Untersuchungsgebieten wurde auch der Chloridgehalt der Nadeln bestimmt. Auch für dieses Element wurden an fast allen untersuchten Punkten Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Die Staubbelegung auf den Spaltöffnungen war an Standorten „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ erhöht und zum Teil für die Emissionsquelle in ihrer Elementzusammensetzung spezifisch. Signifikant mehr Staub auf den Nadeln im Nahbereich von Emissionsquellen deutet auf einen höheren Stoffeintrag in diesen Lagen hin, wie dies auch anhand von zahlreichen Depositionsuntersuchungen gut dokumentiert ist. Abhängig von der Elementzusammensetzung des Eintrags entsteht dadurch die Gefahr von Nährstoffungleichgewichten bei der Ernährung der Waldbestände, Versauerung des Waldbodens oder von Anreicherungen des Waldbodens mit toxischen Schwermetallen.

Eine Überprüfung der Standortskategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ auf Unterschiede hinsichtlich der Gehalte einzelner Nähr- und Schadelemente erbrachte bemerkenswerte Ergebnisse. Die beiden Gruppen nahe und sehr nahe zu Emittenten wiesen signifikant höhere Gehalte einjähriger Nadeln an den Elementen Stickstoff, Phosphor, Calcium, Kalium, Magnesium, Schwefel, Kupfer und Zink auf als die Hintergrundstandorte. Für einzelne dieser Elemente war dieses Ergebnis zu erwarten. Bei Stickstoff und Schwefel kann angenommen werden, daß höhere Konzentrationen in der Luft bzw. Depositionen dieser Elemente im Nahbereich von Emissionsquellen sich in erhöhten Nadelgehalten äußern. Auch bei den anderen Elementen könnten diese Unterschiede zwischen Hintergrundstandorten und emittentennahen Standorten ebenfalls mit Depositionen in Zusammenhang stehen, die auch zu einer Staubbelegung der Nadeln führen. In den Elementspektren der anhaftenden Staubpartikel an emittentennahen Standorten sind Nährelemente detektierbar. Die höheren Nährstoffgehalte dürften daher durch Staubbelaug auf den Nadeln mitbeeinflusst sein und somit nicht nur die Gehalte in den Nadeln repräsentieren. Eine Beurteilung der Ernährungssituation im Nahbereich von Emittenten anhand von Nadelgehalten ist damit problematisch. In künftigen Untersuchungen zur Beurteilung der Ernährungssituation von Waldbeständen an immissionsbeeinflussten Standorten sollte dieser Umstand Berücksichtigung finden.

Die Ergebnisse zeigen, daß im Nahbereich von Emissionsquellen in Österreich nach wie vor Einflüsse wirksam sind, die in Hinblick auf die Waldgesundheit als problematisch zu werten sind. Die stärkere Beeinträchtigung der Nadelwachse von Fichten stellt nur einen der festgestellten, indikativen Hinweise dar. Unabhängig davon, daß jeder der untersuchten emittentennahen Standorte individuell zu beurteilen ist und für alle Standorte gemeinsam gültige Aussagen nicht getroffen werden können, sind die Ergebnisse als genereller Hinweis zu deuten, daß weiterer Bedarf zur Emissionsreduktion in Österreich besteht.

WAX QUALITY, NUTRIENT ELEMENT AND POLLUTANT CONCENTRATIONS IN NORWAY SPRUCE NEEDLES OF POLLUTED AND UNPOLLUTED SITES IN AUSTRIA - SUMMARY

The Federal Environment Agency investigates spruce needle waxes with scanning electron microscopy (SEM) in various regions of Austria for several years. These epicuticular waxes cover the whole needle surface, thus being the primary site of environmental influences. In the stomatal areas, a pronounced network of wax tubules is formed having a filtering effect. This dense network supports the function of the stomata in regulating the gas exchange during photosynthesis and cellular respiration and additionally protects the needle from excessive evaporative water loss. Environmental stress factors, mainly air pollutants, can alter the epicuticular wax structure. Adverse influences from immissions can be distinguished from changes in the wax microstructure due to weathering effects using SEM.

In 1995, the Federal Environment Agency in co-operation with the Institute of Forest Growth and Yield of the University of Bodenkultur developed a standardized evaluation method for a quantitative assessment of changes in the epicuticular wax structure of current-year Norway spruce needles using needle material of unpolluted Austrian background sites. By evaluation of a defined number of stomata per needle and tree numerical values between 1.0 (unaffected) and 5.0 (heavily affected) result, called wax quality. This tree-physiological value is used to characterize the status of impairment of the needle waxes.

As a further step, it was necessary to test the suitability of this evaluation method for characterizing sites influenced by various emission sources. Therefore, sites were selected, that were known from previous studies to let expect harmful effects on the wax quality.

The 14 selected areas for the present programme, are sites influenced by different types of industrial emissions (*Arnoldstein, Breitenau, Brixlegg, Brückl, Leoben, Radenthein, Reutte, Treibach, Wietersdorf*), conurbation areas (*Graz, Innsbruck, Linz*) and sites affected by motor vehicle emissions (Altitude profile *Radfeld* at the highway A12 in Tyrol, altitude profile near *Zederhaus* at the highway A10 in Salzburg). Also, needle samples of background sites with no pronounced local emission source, were analysed for comparison. Needles of the same background sites were already used for the development of the evaluation method. The results of the present study refer to current-year needles of 1995.

Additionally, the concentrations of nutrient elements and pollutants of the needles were measured for the test sites. Using extensive statistical analyses correlations between the different parameters were tested. The sites were categorized as „background“, „close to sources“ and „very close to sources“. Sites classified as „background“ were throughout far to conurbation areas, public roads and industry. In the group „close to sources“, sites of the investigated conurbation areas, public roads and/or industries were summarized, if already slight influences of those sources can be assumed with regard to their location. Sites in the category „very close to sources“ were in areas directly influenced by the emission sources.

The results of this study suggest, that the applied method of SEM evaluation of wax quality of spruce needles is a very sensitive and suitable tool for bio-indication.

Sites „close to sources“ and „very close to sources“ have a significantly poorer wax quality of the investigated stomata compared with the category „background“. Especially the poorer wax quality of the investigated needles observed in the areas *Breitenau, Innsbruck, Leoben, Linz, Radenthein, Radfeld* and *Zederhaus* is responsible for this result. The occurrence of gypsum-crystallites on needle surfaces can be regarded as an indicator for increased leaching of nutrient elements due to ambient air concentrations of sulphur. Such crystallites were predominantly found on needles in the category „very close to sources“ of the areas *Breitenau, Brückl, Graz, Innsbruck, Leoben, Radfeld, Reutte* and *Wietersdorf*. These sites

also showed significantly higher concentrations of sulphur in the needles. At most sites in the vicinity of emission sources the Austrian legal limiting value for sulphur according to the 2nd Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination was exceeded. In some selected regions, also the chloride content of the needles was measured. At most sites investigated, the legal limiting value for chloride was exceeded. The percentage of dust particles on the investigated stomata was higher at the sites „close to sources“ and „very close to sources“ than in background areas. Often, the elemental composition of the dust was specific for the type of emission source. Significantly more dust on needles near sources seems to indicate a higher input of atmospheric matter in those areas, as proven by numerous investigations on deposition. Depending on the element composition of the input matter risks of imbalances of plant nutrient elements, acidification or accumulation of toxic heavy metals in the soil arise.

The comparison of the categories „background“, „close to sources“, and „very close to sources“ with regard to the contents of particular nutrient elements and pollutants showed surprising results. The two groups „close to sources“, and „very close to sources“ showed significantly higher contents of the elements nitrogen, phosphorus, calcium, potassium, magnesium, sulphur, copper and zinc than the category „background“ in current-year needles. For nitrogen and sulphur it can be assumed, that higher ambient air concentrations and depositions of these elements near emission sources may lead to higher needle concentrations. Also, for the other elements the differences between background sites and those near emission sources could be correlated with deposition, thus leading to a covering of the needles with dust. In the element spectra of adhering dust particles at sites near emission sources, nutrient elements were detectable. The higher contents of nutrient elements could be influenced by dust covering the needles and therefore not only represent the needle contents. An evaluation of the nutritional status near sources based on the element contents of the needles seems therefore problematic. This fact should be considered in future investigations of assessing the nutritional status of wood stands at sites influenced by immissions.

The results suggest, that in areas close to emission sources in Austria still various influences exist, that can be classified as problematic with regard to the health of forests. The more distinct impairment of spruce needle waxes is only one of the ascertained symptoms. Although each of the investigated sites near emission sources has to be evaluated individually and general statements for all sites cannot be made, the results demonstrate, that a reduction of emissions in Austria is still necessary.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	NADELWACHSE UND BIOINDIKATION	1
1.2	ZIELE DER GEGENSTÄNDLICHEN STUDIE.....	1
2	PROBENAHMEN UND STANDORTE	3
3	UNTERSUCHUNGSMETHODEN	4
3.1	RASTERELEKTRONENMIKROSKOPIE	4
3.1.1	Beurteilungsmethode.....	4
3.2	CHEMISCH-ANALYTISCHE METHODEN	10
3.2.1	Gesamtschwefel.....	10
3.2.2	Chlorid.....	10
3.2.3	Stickstoff	10
3.2.4	Nährelemente und Schwermetalle.....	10
3.3	STATISTISCHE METHODEN.....	11
4	ERGEBNISSE	12
4.1	EMITTENTENNAHE STANDORTE	12
4.1.1	Arnoldstein	12
4.1.2	Breitenau	15
4.1.3	Brixlegg	22
4.1.4	Brückl	24
4.1.5	Graz	30
4.1.6	Innsbruck.....	35
4.1.7	Leoben/Donawitz.....	42
4.1.8	Linz.....	51
4.1.9	Radenthein.....	55
4.1.10	Radfeld.....	60
4.1.11	Reutte.....	66
4.1.12	Treibach	68
4.1.13	Wietersdorf.....	75
4.1.14	Zederhaus	81
4.2	HINTERGRUNDSTANDORTE	84
4.2.1	Ergebnisse für das Jahr 1995.....	85
4.2.2	Unterschiede zwischen den Jahren 1993 und 1995	95

4.3	VERGLEICHE NACH STANDORTSKATEGORIEN	97
4.3.1	Wachsqualität, Gips-, Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln	97
4.3.2	Nähr- und Schadstoffgehalte der Fichtennadeln.....	102
4.4	ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN EINZELNEN PARAMETERN	121
4.4.1	Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Staub auf den Spaltöffnungen.....	121
4.4.2	Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Gipskristallen in den Spaltöffnungen	123
4.4.3	Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern	124
5	ZUSAMMENFASSUNG	126
6	DANKSAGUNG	129
7	QUELLENNACHWEIS	130

1 EINLEITUNG

1.1 Nadelwachse und Bioindikation

Epicuticularwachse bilden die äußerste Schichte von Fichtennadeln und sind primäre Angriffspunkte für Umwelteinflüsse. Über den eingesenkten Spaltöffnungen, den Atmungsorganen der Nadel, ist diese Wachsschicht als dichtes Geflecht von Wachsröhrchen ausgebildet. Dieses Maschenwerk wirkt gleichsam wie ein Filter und unterstützt dadurch die Funktion der Spaltöffnungen (Regulation des Gasaustausches bei der Photosynthese und Atmung, Schutz vor übermäßiger Verdunstung).

Die sehr sensiblen Epicuticularwachse unterliegen einem natürlichen Alterungsprozeß. Witterungseinflüsse, wie Wind, Regen oder Schnee, denen die Nadeln über mehrere Jahre hindurch ausgesetzt sind, führen allmählich zu Veränderungen (Verschmelzungen und Erosion) der Wachsröhrchen. Solcherart durch mechanische Beeinflussung veränderte Wachsstrukturen sind durch Rekristallisationseffekte gekennzeichnet, wodurch sie von tatsächlichen Immissionsschäden unterschieden werden können (BERMADINGER-STABENTHEINER, 1994).

Vor allem anthropogene Luftschadstoffe können die Mikrostruktur dieser Nadelwachse erheblich beeinträchtigen. Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops (REM) können diese Wachsstrukturen sichtbar gemacht und Veränderungen dokumentiert werden. Zahlreiche Untersuchungen zeigen übereinstimmend, daß jede Beeinflussung durch Immissionen den natürlichen Verwitterungsprozeß der Nadelwachse im Freiland beschleunigt (z. B.: HUTTUNEN & LAINE, 1983; CROSSLEY & FOWLER, 1986; HAFNER, 1986; KARHU & HUTTUNEN, 1986; SAUTER ET AL., 1987; TRIMBACHER, 1991). Neben gasförmigen Luftschadstoffen können ebenso luftgetragene Stäube in der Nähe von Emissionsquellen die Wachsstrukturen schädigen (z. B.: alkalischer Magnesitstaub - BERMADINGER ET AL., 1987) oder die Spaltöffnungen vollständig bedecken, wodurch deren Funktion erheblich beeinträchtigt werden kann (TRIMBACHER & DITRICH, 1989).

Zur quantitativen Erfassung struktureller Veränderungen von Fichtennadelwachsen wurde daher im Rahmen einer Studie des Umweltbundesamtes eine Klassifizierungsmethode für das Rasterelektronenmikroskop entwickelt (TRIMBACHER ET AL., 1995; TRIMBACHER & ECKMÜLLNER, 1997). Dieses Beurteilungsverfahren beruht auf einer Einteilung der im REM beobachtbaren Mikrostrukturen der Stomatawachse, d. h. der über den eingesenkten Spaltöffnungen befindlichen Wachse (Grad der Wachsverschmelzung in Prozent der Gesamtstomatafläche) in fünf Qualitätsklassen. Die Standardisierung der Methode ermöglicht vergleichbare Ansprachen der Wachsqualität von Fichtennadeln.

1.2 Ziele der gegenständlichen Studie

Die Beurteilungsmethode wurde an Nadelmaterial unbelasteter Hintergrundstandorte entwickelt. Als weiteren Schritt galt es nun, die Anwendbarkeit und Aussagemöglichkeit der Methode an belasteten Standorten zu testen. Dafür wurden solche Standorte ausgewählt, an denen Emissionen zu erwarten sind, die nachweislich, wie durch zahlreiche Untersuchungen belegt, die Wachsqualität nachteilig beeinflussen.

Mit der rasterelektronenmikroskopischen Beurteilungsmethode der Nadelwachse wurden in der vorliegenden Studie Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 einiger ausgewählter Industriegebiete in Österreich mit unterschiedlicher Emissionscharakteristik (Arnoldstein, Breitenau, Brixlegg, Brückl, Leoben-Donawitz, Radenthein, Reutte, Treibach-Althofen und Wietersdorf) untersucht, um zu testen, inwieweit der Parameter der mittleren Wachsqualität

zur Dokumentation der aktuellen Umweltsituation in der Umgebung von Emissionsquellen geeignet ist.

An Städteprofilen in Graz und Innsbruck wurde untersucht, in welchem Ausmaß die Immissionen urbaner Ballungsräume (Straßenverkehr, Industrie und Gewerbe, Hausbrand) die Wachsstrukturen beeinflussen können.

Linz ist sowohl ein städtischer als auch ein industrieller Ballungsraum (Linzer Großindustrie im Osten des Stadtgebietes) und kommt daher gegenüber den genannten kleinräumigen Industriestandorten und den Städten Graz und Innsbruck eine Sonderstellung zu.

Die Untersuchungen von Fichtennadelwachsen entlang zweier Höhenprofile an der Inntal- und an der Tauernautobahn sollten Aufschluß darüber geben, inwieweit die Immissionen des Autobahnverkehrs die Wachsqualität beeinträchtigen und ob diese durch die Anwendung des neuen Beurteilungsschlüssels dokumentiert werden kann.

An Fichtennadeln von 25 Hintergrundstandorten, an denen nachweislich keine lokalen Schadstoffquellen vorliegen und die in großer Distanz zu Ballungsräumen, öffentlichen Straßen und Betrieben liegen, wurde ebenfalls die Wachsqualität ermittelt. Diese wurde bereits für Nadeln derselben Standorte für das Jahr 1993 erhoben, wodurch ein Vergleich der natürlich vorkommenden Schwankungen in der Wachsqualität in Form einer Zeitreihe möglich wird.

Des Weiteren wurden an den genannten Standorten, mit Ausnahme von Arnoldstein, Brixlegg und Linz, auch die Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln erhoben. Mit Hilfe statistischer Verfahren wurden die Zusammenhänge der verschiedenen Parameter überprüft und die Eignung der Methode der Bestimmung der Wachsqualität als Instrument der Bioindikation zur Charakterisierung von Belastungssituationen getestet.

2 PROBENAHE UND STANDORTE

Die Probenahme von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 an den Untersuchungsstandorten erfolgte gemäß den Bestimmungen der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen durch Mitarbeiter der jeweils zuständigen Landesforstdienste bzw. durch Mitarbeiter des Umweltbundesamtes Wien und der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in den Monaten Oktober und November 1995. Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten Standorte sind Teile des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN) oder Verdichtungspunkte desselben bzw. Landespunkte und Punkte des Waldschadensbeobachtungssystems (WBS). Im Untersuchungsraum Innsbruck wurden einige Standorte neu eingerichtet. Die Auswahl der Standorte wurde gemeinsam mit Mitarbeitern der Landesforstdienste durchgeführt.

Beim Nadelmaterial der Kärntner Untersuchungsgebiete Brückl, Radenthein, Treibach und Wietersdorf handelte es sich nicht um Mischproben von Fichtennadeln zweier Bäume pro Punkt, wie dies bei der Probenahme von BIN-Punkten üblich ist. Es wurden jeweils die Nadeln eines Baumes je Probepunkt geworben. Insbesondere in der unmittelbaren Nähe zur Emissionsquelle wurden Nadeln des stärker belasteten Baumes pro Punkt geerntet, d. h. jener Baum, der im langjährigen Mittel der Bioindikatornetzerhebungen höhere Schwefelkonzentrationen (bei Brückl Chloridgehalte) in den Nadeln aufwies, wurde für die Probenahme herangezogen. Dabei wurde von der Annahme ausgegangen, daß sich an den Fichtennadeln der Bäume mit höheren Nadelgehalten dieser Elemente auch eher eine Beeinträchtigung der Wachsstrukturen manifestiert.

Das Nadelmaterial aus Arnoldstein stammte aus den drei westlich des Industriegeländes am Stossauer Hügel befindlichen Versuchsgärten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt.

An den übrigen Bioindikatornetzpunkten wurden stets Nadelproben von zwei Bäumen je Probepunkt geworben, getrennt verpackt und dem Umweltbundesamt auf dem Postweg übermittelt. Bei Landespunkten wurde nur Nadeln eines Baumes beerntet.

3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

3.1 Rasterelektronenmikroskopie

Für die Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop wurden die Fichtennadeln im Labor bei Raumtemperatur (ca. 20° C) in Papierkuverts über Silicagel luftgetrocknet. Dadurch wird eine mögliche Entstehung von Schimmelpilzen bei der Lagerung des Nadelmaterials vermieden. Nach dem Lufttrocknen wurden die Nadeln der Standorte, an denen zwei Bäume beprobt wurden, miteinander vermischt und so eine Nadelmischprobe hergestellt. Anschließend wurden insgesamt 24 Nadeln der jeweiligen Ausgangsprobe auf sechs Aluminium-Trägertischchen montiert und mit einer leitenden Goldschicht versehen (5 Min., 1,8 x 10⁻² bar, 16-20 mA). Die Entnahme des Nadelmaterials erfolgte rein zufällig. Bei der Untersuchung der Stomatawache im REM wurde stets eine Beschleunigungsspannung von 15 keV und eine Standardvergrößerung von 2000fach gewählt. Die Klassifizierung der Nadelwache bzw. Bestimmung der Wachsqualität erfolgte nach der im folgenden Kapitel beschriebenen Beurteilungsmethode. Mittels röntgenenergie-dispersiver Mikroanalyse (EDX) wurde die elementare Zusammensetzung anhaftender Fremdpartikel (Staub, Kristalle) bestimmt.

3.1.1 Beurteilungsmethode

3.1.1.1 Wachsmorphologie

Für die Beurteilung der Wachsqualität von Fichtennadeln wurde ausschließlich das Stomatawachs von Nadeln des 1. Nadeljahrganges herangezogen. Das zwischen den Spaltöffnungen befindliche Nadelwachs wurde dabei nicht berücksichtigt. Die unterschiedlichen Ausbildungsformen und die verschiedenen Verschmelzungsgrade des epistomatären Wachses, wie sie im REM beobachtet werden können, werden im folgenden näher erläutert und photographisch dokumentiert. Dies ist deshalb notwendig, da diese Kriterien, nämlich der Verschmelzungsgrad in % der Stomatafläche sowie die Art der Wachsverschmelzung, den Definitionen der einzelnen Qualitätsklassen des Schlüssels zugrundegelegt sind.

Intaktes Stomatawachs besteht aus einem dichten Geflecht von Wachsröhrchen, das die über den beiden eingesenkten Schließzellen befindliche sog. äußere Atemhöhle, auch epistomatärer Hohlraum genannt, auskleidet (Abb. 1). Erste Strukturveränderungen der Epicuticularwache äußern sich in kleinflächigen, apikal beginnenden Fusionen einzelner bzw. einiger weniger Wachstubuli (Abb. 2). In weiterer Folge können netzartige Wachsverschmelzungen beobachtet werden (Abb. 3), die in manchen Fällen sogar die gesamte Stomatafläche bedecken können. Allgemein wirken die Wachsstrukturen kürzer und gedrungen. In einer fortgeschrittenen Degradationsstufe treten vermehrt großflächige Aggregationen, sog. Wachsplatten auf (Abb. 4).

3.1.1.2 Qualitätsklassen

Zur Quantifizierung der epistomatären Nadelwachsverschmelzungen mit dem REM wurden fünf Qualitätsklassen für den Grad der Wachsdegradation in Prozent der Stomatafläche des 1. Nadeljahrganges definiert. Dieser Beurteilungsschlüssel der Wachsqualität von Fichtennadeln ist mit rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen versehen, die für die jeweilige Qualitätsklasse charakteristisch sind (Abb. 7).

Qualitätsklasse 1: Diese bezeichnet ein intakt ausgebildetes Stomatawachs mit deutlich sichtbaren Einzelfilamenten, wie es für einjährige Nadeln aus unbelasteten Gebieten charakteristisch ist. Maximal an 10 % der Gesamtstomatafläche sind beginnende apikale Fusionen einzelner Wachsfäden zu erkennen.

Qualitätsklasse 2: Mehrere solcher an ihren Enden miteinander verschmolzenen Wachstubioli können in weiterer Folge an verschiedenen Stellen im Spaltöffnungsbereich zu kleinflächigen Aggregationen, sog. "Wachstufen" fusionieren, die mehr als 10 % bis maximal 25 % der Gesamtstomatafläche ausmachen.

Qualitätsklasse 3: Neben den Wachstufen treten nun großflächigere Wachs-erplattungen auf, die zusammen mit diesen über 25 % bis zu 50 % der Gesamtstomatafläche bedecken. Weist das Stomatawachs zu 100 % netzartige Aggregationen, aber noch keine Wachsplatten auf, so ist eine derartige Wachsausbildung ebenso der Qualitätsstufe 3 zuzuordnen (Abb. 3).

Qualitätsklasse 4: Diese bezeichnet einen fortgeschrittenen Verschmelzungsgrad des Stomatawachses. Mehr als 50 % bis maximal 75 % der Gesamtstomatafläche sind durch kleinflächige Wachsaggregationen und großflächige Wachsplatten gekennzeichnet.

Qualitätsklasse 5: Mehr als 75 % der Gesamtstomatafläche weisen plattenartige Wachsverschmelzungen auf, d. h. der epistomatäre Raum ist fast zur Gänze oder sogar vollständig von einer amorphen Wachskruste ausgekleidet.

Sonderklasse 6: In dieser Klasse werden jene Spaltöffnungen zusammengefaßt, die entweder durch das Fehlen jeglicher Wachsstruktur gekennzeichnet sind (Abb. 6) oder deren Bewertung durch das Auftreten eines dichten Staubüberzuges (Abb. 5) oder durch massiven Befall von Pilzen, Algen und ähnlichem biologischem Material nicht möglich ist. Fremdpartikel, die in die Spaltöffnung eindringen, können diese entweder vollständig verschließen oder offen halten, wodurch es zu einer Störung des Schließmechanismus kommen kann. Derartige „Sonderfälle“ werden bei der Bildung des Standortmittels nicht berücksichtigt. Es handelt sich dabei jedoch um eine wichtige zusätzliche Information, die zur Beurteilung eines Standortes herangezogen wird.

Bei der Erhebung der Wachsqualität der 25 Hintergrundstandorte des Jahres 1993 wurde die Sonderklasse 6 noch in die Mittelwertsbildung miteinbezogen. Für den Vergleich der Jahre 1993 und 1995 wurden die Daten aus 1993 umgerechnet. Bewertungen entsprechend Sonderklasse 6 wurden für die Mittelwertsbildung nicht berücksichtigt.

3.1.1.3 Erhebungsdesign

Es wurden 72 Spaltöffnungen, d. h. drei zufällig ausgewählte Spaltöffnungen (eine Spaltöffnung von der Nadelbasis, eine von der Nadelmitte sowie eine von der Nadelspitze) auf 24 Nadeln pro Standort bewertet. Die Beurteilung der Wachsqualität jeder einzelnen Spaltöffnung erfolgte stets unter Zuhilfenahme einer aus 9 Einzelfeldern bestehenden Rasterfolie, die über den Bildschirm des REMs, und damit über das Bild der Spaltöffnung gelegt wurde. Dabei wurde jedes der je nach Spaltöffnungsgröße maximal 9 Einzelfelder dieses Rasters nach den 5 Qualitätsklassen und auch gegebenenfalls entsprechend Sonderklasse 6 des Schlüssels für die gesamte Spaltöffnung angesprochen. Der aus den bis zu 9 Einzelbeurteilungen resultierende Mittelwert gibt die mittlere Wachsqualität der Spaltöffnung wieder. Nach diesem Prinzip wurden 72 Spaltöffnungen pro Standort bewertet. Das Standortsmittel (= mittlere Wachsqualität) und die Standardabweichung wurde aus diesen 72 Mittelwerten gebildet. Bewertungen entsprechend Sonderklasse 6 fließen jedoch nicht in die Mittelwertbildung ein, da daraus automatisch eine schlechtere Wachsqualität resultieren würde. Die relativ große Anzahl an Beurteilungen, beruhend auf einer Ordinalskala (jedoch im ursprünglichen Sinn eigentlich eine Intervallskala - Prozentsatz der Wachsverschmelzungen) erlauben bzw. ermöglichen die Umgehung der parameterfreien Statistik, da bei dieser Anzahl der zentrale Grenzwertsatz bereits Gültigkeit hat.

3.1.1.4 Staub- und Epibiontenbelegung

Es wurde nicht nur die Wachsqualität bestimmt, sondern auch die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit staubförmigen Fremdpartikeln und Epibionten.

Wenn Staubpartikel auf den Nadeln zu finden waren, wurde deren elementare Zusammensetzung mittels energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX) qualitativ bestimmt. Weiters wurde die Belegung der Spaltöffnungen mit Staubpartikeln semiquantitativ bestimmt. Die Angabe „Staub %“ bezieht sich auf das Auftreten von Staub auf den 72 untersuchten Spaltöffnungen.

Unter dem Begriff Epibionten werden auf den Nadeln vorkommende pflanzliche und tierische Mikroorganismen, wie beispielsweise Pilzhyphen, verschiedene Sporen, Algen, tierische Parasiten zusammengefaßt. Die Angabe erfolgt wiederum in „Epibionten %“ und bezieht sich ausschließlich auf die 72 untersuchten Spaltöffnungen.

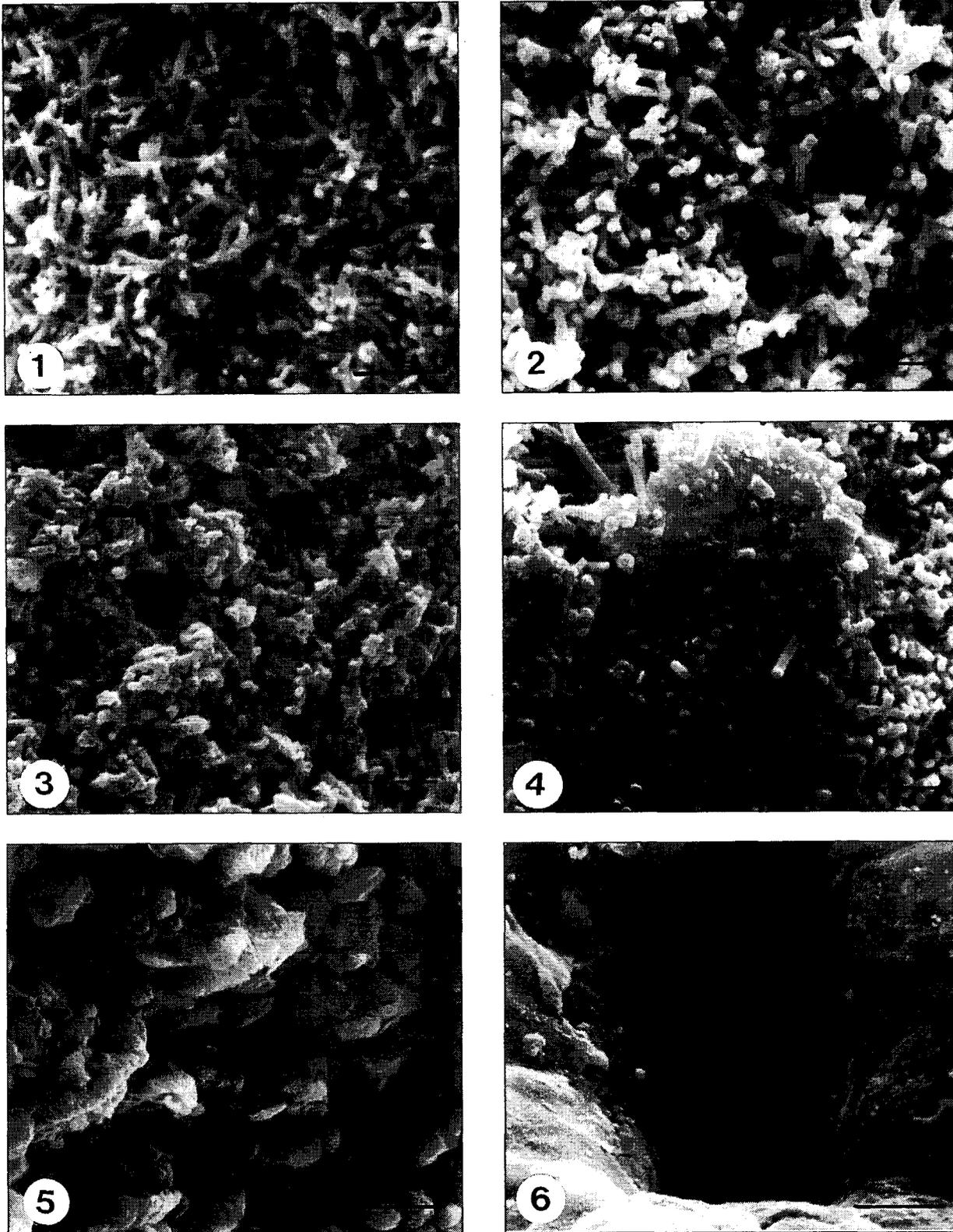
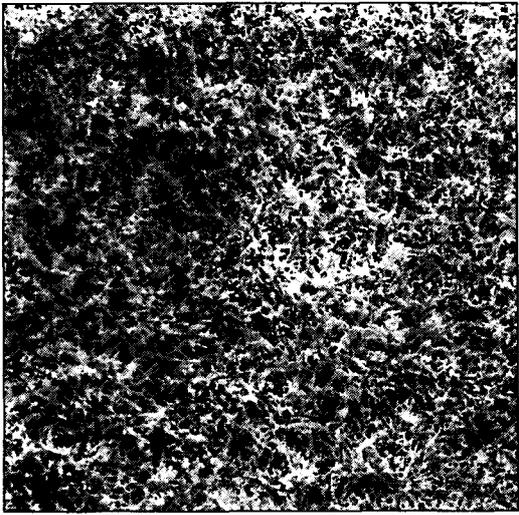
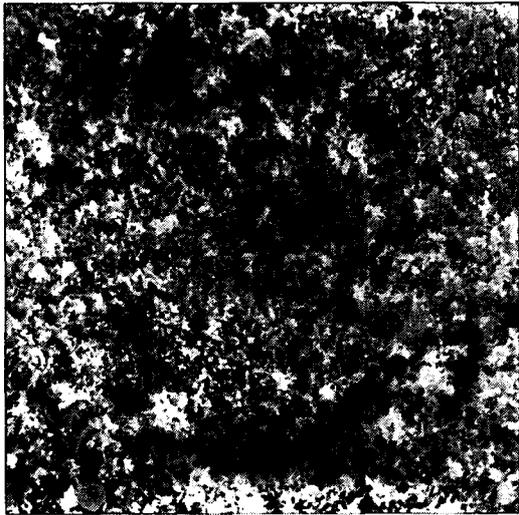


Abb. 1 - 6: REM-Aufnahmen unterschiedlicher Ausbildungsformen der Stomatawachse bei der Fichte. Intakte Wachsröhrchen (Abb. 1), kleinflächige Wachsfusionen (Abb. 2), netzartige Wachsstrukturen (Abb. 3), Wachsplatte (Abb. 4), Staubbelaag (Abb. 5), vollständig kahle Spaltöffnung (Abb. 6). Abb. 1 - 4: Vergrößerungsmaßstab entspricht 2 μm , Abb. 5, 6: Vergrößerungsmaßstab entspricht 5 μm .

Qualitätsklassen	Beurteilung des Stomatawachses	Typisches Erscheinungsbild im REM, 2000x
1	<p>Null bis max. 10 % der Stomatafläche weisen eine beginnende apikale Verschmelzung einzelner Wachsfilamente auf.</p> <p>Ein derartiges Erscheinungsbild mit intakter Mikromorphologie der Epicuticularwachse ist für einjährige Nadeln aus unbelasteten Gebieten charakteristisch</p>	
2	<p>Mehr als 10 bis max. 25 % der Stomatafläche weisen verschmolzene Wachsstrukturen auf.</p>	
3	<p>Mehr als 25 bis max. 50 % des Stomatawachses sind verschmolzen</p>	

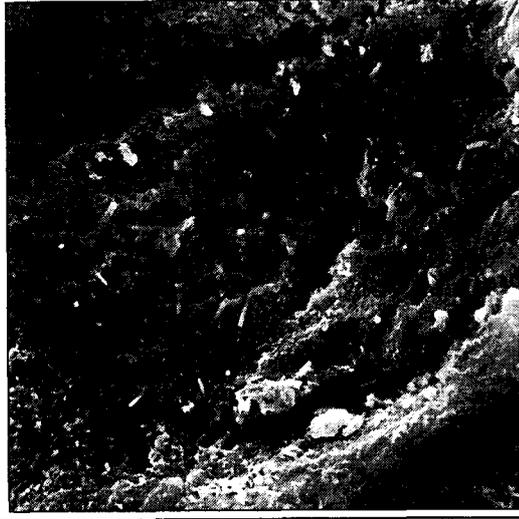
Qualitätsklassen	Beurteilung des Stomatawachses	Typisches Erscheinungsbild im REM, 2000x
4	Mehr als 50 bis 75 % der Stomatafläche weisen plattenartig verschmolzene Wachsstrukturen auf.	
5	Mehr als 75 bis 100 % der Stomatafläche weisen verschmolzene Wachsstrukturen auf, d. h. die Spaltöffnung ist fast zur Gänze von einer amorphen Wachskruste überzogen.	

Abb. 7: Schlüssel zur Klassifizierung von epistomatären Nadelwachsverschmelzungen bei der Fichte für den 1. Nadeljahrgang.

3.2 Chemisch-analytische Methoden

3.2.1 Gesamtschwefel

Zur Bestimmung der Schwefelgehalte der Nadeln wurden die Nadelproben bei Raumtemperatur luftgetrocknet, von den Holzteilen befreit, anschließend vermahlen und vor der Analyse bei 105° C nachgetrocknet. Die Schwefelanalysen der Proben wurden mit einem LECO SC-132 Schwefelanalysator durchgeführt. Dabei werden ca. 100-150 mg Analysenprobe in ein vorher ausgeglühtes Verbrennungsschiffchen eingewogen und mit Quarzsand überschichtet. Danach wird das befüllte Schiffchen in das Verbrennungsrohr übergeführt und der Schwefelgehalt bestimmt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in % S bezogen auf die bei 105° C getrocknete Fichtennadelprobe. Es wurden jeweils Zweifach- bzw. Dreifachbestimmungen durchgeführt. Der sich daraus ergebende Mittelwert hat eine Meßunsicherheit von $\pm 6\%$.

3.2.2 Chlorid

Für die Bestimmung des Chloridgehaltes wurden ca. 600 mg der luftgetrockneten und gemahlten Nadelprobe mit einem Salpetersäure-Eisessig-Gemisch extrahiert. Nach dem Filtrieren wurde der Chloridgehalt der Nadelproben elektrochemisch mittels ionenselektiver Elektrode bestimmt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in % Cl und bezieht sich auf die bei 105° C getrocknete Probe.

3.2.3 Stickstoff

Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes erfolgte nach Kjeldahl in Anlehnung an ÖNORM L 1082. Dabei wurden jeweils 0,3-0,6 g Laborprobe (luftgetrocknet und gemahlen) mit einer zerstoßenen Tablette Selenkatalysatorgemisch und konzentrierter Schwefelsäure bis zum Verschwinden der Partikel in der Aufschlußlösung gekocht. Nach dem Abkühlen wurde die aufgeschlossene Lösung mit Wasser verdünnt und anschließend in der Destillationsapparatur mit ca. 60 ml 30 % Natriumhydroxidlösung versetzt und mit Wasserdampf in einer Vorlage aus Borsäurelösung destilliert. Danach erfolgte eine potentiometrische Titration mit 0,1 normaler Schwefelsäure. Der Verbrauch in ml 0,1 normaler Schwefelsäure entspricht der Kjeldahlstickstoffkonzentration. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in % N auf eine Dezimalstelle, bezogen auf die bei 105° C getrocknete Probe.

3.2.4 Nährelemente und Schwermetalle

Für die Bestimmung der anderen Hauptnährelemente und der Schwermetalle wurden die Nadelproben bei 30° C getrocknet, vermahlen und anschließend mit einem Schwefelsäure-Salpetersäure-Gemisch aufgeschlossen. Die Analysen erfolgten mittels ICP-AES Gerät Optima 3000 XL (Fa. Perkin-Elmer) in Anlehnung an ÖNORM M 6279. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg/kg und bezieht sich auf die bei 105° C getrocknete Probe.

3.3 Statistische Methoden

Für alle statistischen Berechnungen wurde das Statistikpaket SPSS, Version 7.5, verwendet.

Als erster Schritt wurde eine explorative Datenanalyse durchgeführt. In erster Linie wurde überprüft, ob die Daten des Gesamtkollektivs von Standorten und der jeweiligen Untergruppen von Standorten normalverteilt sind (Kolmogorov-Smirnov-Test, Shapiro-Wilks-Test).

Bei Normalverteilung wurden für die Identifizierung von Gruppenunterschieden bezüglich des Mittelwerts einzelner Parameter im Mehrgruppenfall einfaktorielle Varianzanalysen und im Zweigruppenfall t-Tests durchgeführt. Vor Durchführung der Varianzanalyse wurde mittels Levene Test geprüft, ob die einzelnen Gruppen aus Grundgesamtheiten mit gleichen Varianzen stammen. Um bei signifikantem Mehrgruppen-Unterschied herauszufinden, welche Gruppen sich hinsichtlich des Mittelwerts signifikant unterscheiden, wurde das multiple Vergleichsverfahren nach Bonferroni herangezogen. Für Variable, die entweder die Voraussetzung der Normalverteilung oder die der Homogenität der Varianzen verletzen, wurden zur Identifizierung von Gruppenunterschieden einfaktorielle Rangvarianzanalysen nach Kruskal und Wallis (Mehrgruppenfall) und Mann-Whitney-Tests (Zweigruppenfall) durchgeführt.

Die Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Variablen wurden nach Pearson berechnet. Jene zwischen nicht normalverteilten Variablen wurden mit dem Spearman-Rank-Verfahren bestimmt (Rangkorrelation).

Für die Prüfung auf Unabhängigkeit zwischen nominal skalierten Parametern wurden Kreuztabellen erstellt und Chi-Quadrat-Tests durchgeführt.

Als Grenze für Signifikanz wurde bei allen durchgeführten Tests der Wert von 0,05 verwendet.

4 ERGEBNISSE

4.1 Emittentennahe Standorte

In diesem Kapitel sind alle emittentennahen Standorte des Untersuchungsprogrammes zusammengefaßt. Es beinhaltet die Ergebnisse der industriell beeinflussten Standorte, der städtischen Ballungsräume sowie der autobahnnahen Standorte in alphabetischer Reihenfolge.

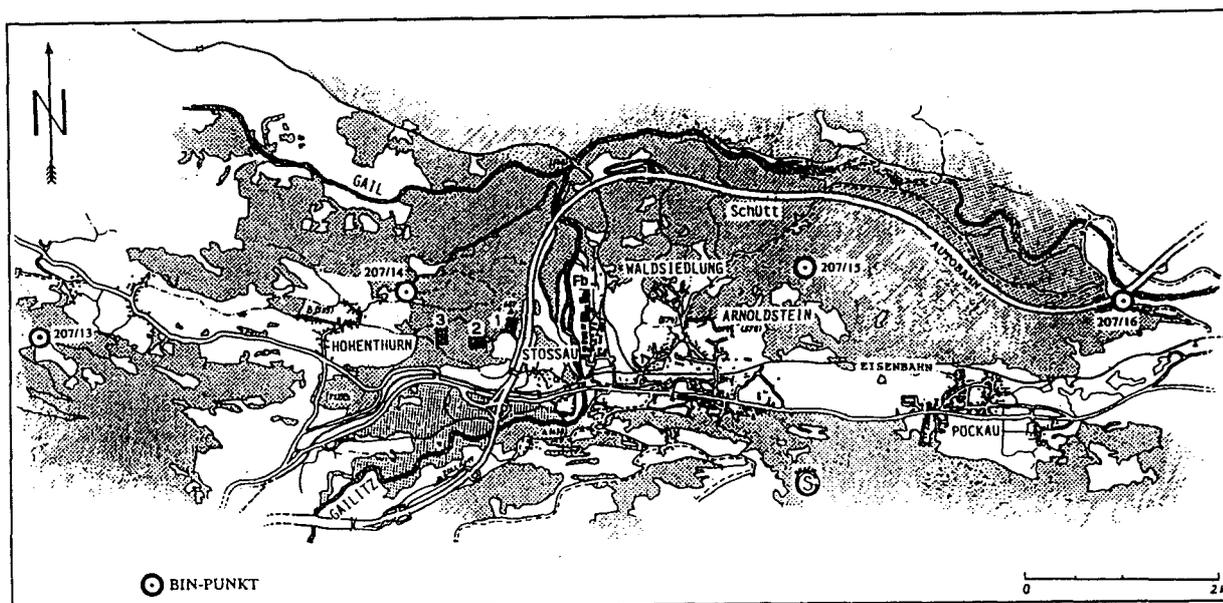
Für die Vergleiche aller Standorte des Untersuchungsprogramms hinsichtlich der Parameter Wachsqualität, Gips-, Staub- und Epibiontenbelegung sowie der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen wurden Standortskategorien gebildet. Die unter dem Kapitel 4.1 zusammengefaßten Standorte wurden dafür in die beiden Gruppen „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ unterteilt (vgl. Kapitel 4.3).

4.1.1 Arnoldstein

4.1.1.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Bereits seit dem Mittelalter befinden sich im Gebiet Arnoldstein, im Süden Kärntens, Erzverhüttungs- und verarbeitungsbetriebe. Im Jahre 1867 wurde die Bleiberger Bergwerks Union (BBU) gegründet und errichtete bald darauf in Arnoldstein/Gailitz eine Bleihütte. Durch die Inbetriebnahme einer Zinkrösthütte im Jahre 1951, deren Röstgase zur Schwefelsäureproduktion verwendet wurden, kam es zu einer erheblichen Verschlechterung der Immissionsituation durch erhöhte Schwefeldioxidkonzentrationen in der Umgebungsluft. Die mengenmäßig bedeutsamsten Schadstoffe, die von der BBU neben Schwefeldioxid freigesetzt wurden, waren Staub und Staubinhaltsstoffe, vor allem Schwermetalle. Diese verursachten erhebliche Probleme durch Anreicherung in den umgebenden Böden (KASPEROWSKI, 1993). Die Errichtung und Inbetriebnahme einer Rauchgasentschwefelungsanlage im Jahre 1987 führte zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Belastungssituation. Durch weitere emissionsmindernde Maßnahmen (Schließung von Anlagenteilen, Umsetzung von behördlichen Vorgaben) verbesserte sich ab Sommer 1991 die Luftqualität in der Umgebung der BBU zusehends (UMWELTBUNDESAMT, 1992; FEENSTRA, 1994). Im Zuge eines Sanierungskonzeptes kam es zur Gründung und Privatisierung von Tochterunternehmen, wie der BBU-Rohstoffgewinnungs GesmbH (BRG) und der CHEMSON Polymer-Additive GesmbH (CSA). Seit 1993 läuft in der BRG ein Versuchsbetrieb zur Verbrennung von Kunststoffen, Klärschlämmen, mineralischen sowie gefährlichen Abfällen. Die CSA produziert Kunststoffadditive, -chemikalien und Bleioxid.

Im Rahmen einer interdisziplinären Studie der Universität für Bodenkultur und der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurden unter anderem wesentliche Grundlagen der Emissionssituation und deren Auswirkungen auf die forstlichen Zuwachsverhältnisse bei Altbeständen zusammengefaßt (HALBWACHS, 1982). In drei im Jahre 1972 von der FBVA angelegten Versuchsgärten mit vorwiegend Jungfichten wurden ab 1986 Nadelanalysen auf die Gehalte an Schwefel, Fluor, Blei und Cadmium sowie Nährelemente durchgeführt (NEUMANN, 1991). Ziel dieses Langzeitversuches war es unter anderem zu überprüfen, inwieweit sich die in den letzten Jahren werkseitig durchgeführten Maßnahmen der Emissionsreduktion sowohl in Hinblick auf die Immissionsbelastung als auch in den bodenkundlichen Befunden und der Entwicklung der Pflanzen auswirken. Es konnte gezeigt werden, daß sich die Emissionsverringerung der letzten Jahre auch in einer Verringerung der Schadstoffgehalte in den Nadelproben äußerte, jedoch nicht in dem Ausmaß, daß keine Pflanzenschäden mehr zu erwarten wären. Die drei Versuchsgärten liegen westlich des Werkes auf dem Stossauer Hügel. Garten 1 befindet sich in ca. 1.050 m Entfernung, Garten 2 in 1.300 m und Garten 3 in 1.900 m Entfernung Industriepark.



Lageskizze der drei Versuchsgärten im Untersuchungsgebiet Arnoldstein.

4.1.1.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 zweier Bäume aus dem Versuchsgarten 1 der Forstlichen Bundesversuchsanstalt ließen im Rasterelektronenmikroskop durchwegs intakte Wachsstrukturen erkennen. Die Werte der mittleren Wachsqualität entsprechen mittlerweile denjenigen, wie sie auch für unbelasteter Hintergrundstandorte ermittelt wurden. Ein charakteristischer Nadelbereich ist in Abbildung 8 wiedergegeben. Auf den Wachsröhrchen im Spaltöffnungsbereich selbst konnten weder staubförmige Fremdpartikel noch organisches Material detektiert werden. Die Belegung der dazwischenliegenden Nadeloberfläche mit Staub oder Epibionten war sehr gering. Vereinzelt konnten sog. „cenosphärische“ Flugschepartikel gefunden werden, die vermutlich aus Verbrennungsprozessen stammen (Abb. 9). Es sind aber auch Immissionseinflüsse des Kraftfahrzeugverkehrs durch die nahe am Stossauer Hügel vorbeiführende A2-Südautobahn nicht auszuschließen.

Tab. 1: Die Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung) der untersuchten Fichtennadeln aus den drei Versuchsgärten der FBVA bei Arnoldstein. *...Kein Nadelmaterial verfügbar.

Versuchsgarten 1	Versuchsgarten 2	Versuchsgarten 3
1,8 ± 0,67	1,8 ± 0,54	2,4 ± 1,30
*	2,3 ± 0,85	1,9 ± 0,63
1,5 ± 0,28	1,7 ± 0,30	1,7 ± 0,33

Die Wachsqualität der untersuchten Fichtennadeln aus dem Versuchsgarten 2 war mit Ausnahme eines Wertes von 2,3 unbeeinträchtigt. Dieser etwas erhöhte Wert ist allerdings nicht auf Immissionseinflüsse zurückzuführen, vielmehr waren es hier verschiedene Witterungseinflüsse, die eine mechanische Beeinträchtigung der Nadelwachse verursacht haben. Rekristallisierte Wachstubuli im Spaltöffnungsbereich sind ein Indiz dafür. Es wurden weder Staubpartikel noch Epibionten auf den Spaltöffnungen beobachtet.

Ähnliches gilt für die Nadeln der drei untersuchten Probebäume aus dem Versuchsgarten 3. Die Wachsqualität war intakt mit Ausnahme eines Baumes, dessen Nadelwachse mit einem Wert von 2,4 eine leichte Beeinträchtigung aufwies. Diese war auch hier hauptsächlich auf die Witterung zurückzuführen. Immissionseinflüsse sind weitestgehend auszuschließen.

Die Wachsqualität von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1994, die im Rahmen einer Untersuchung des Umweltbundesamtes erhoben wurde (TRIMBACHER, 1996A) lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) bis 3,0 (mittelstark beeinträchtigt). Vergleicht man die Wachsqualitäten der beiden Jahre miteinander, so läßt sich eine Verbesserung der Wachsstrukturen erkennen. Mittlerweile entspricht die Wachsqualität Werten, wie sie auch für Nadeln unbelasteter Hintergrundstandorte ermittelt wurden.

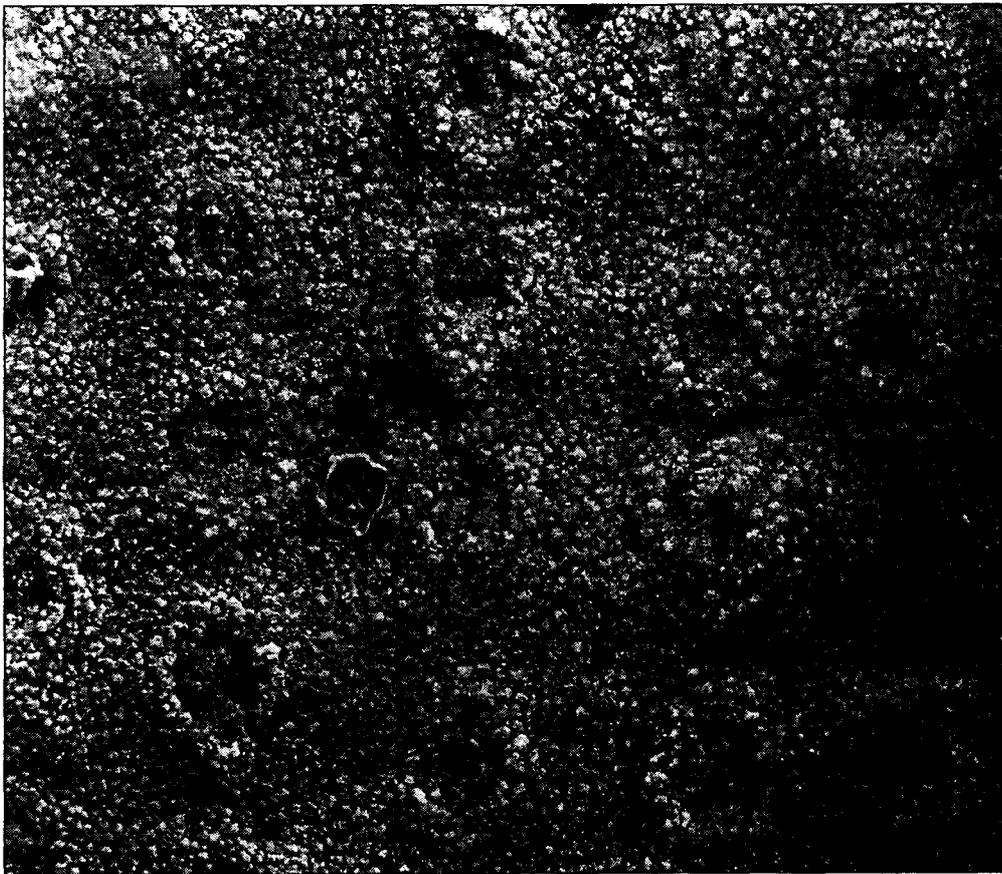


Abb. 8: Arnoldstein/Versuchsgarten 1, REM-Aufnahme eines Nadelbereichs mit weitgehend unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 350fach.

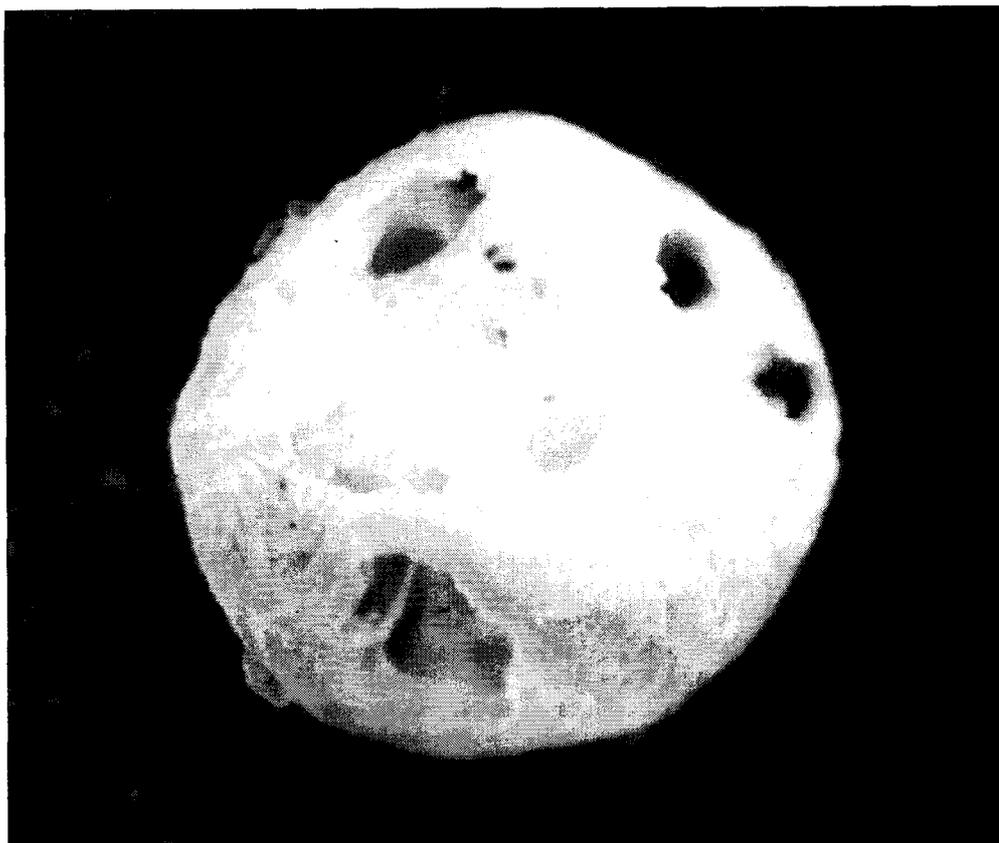
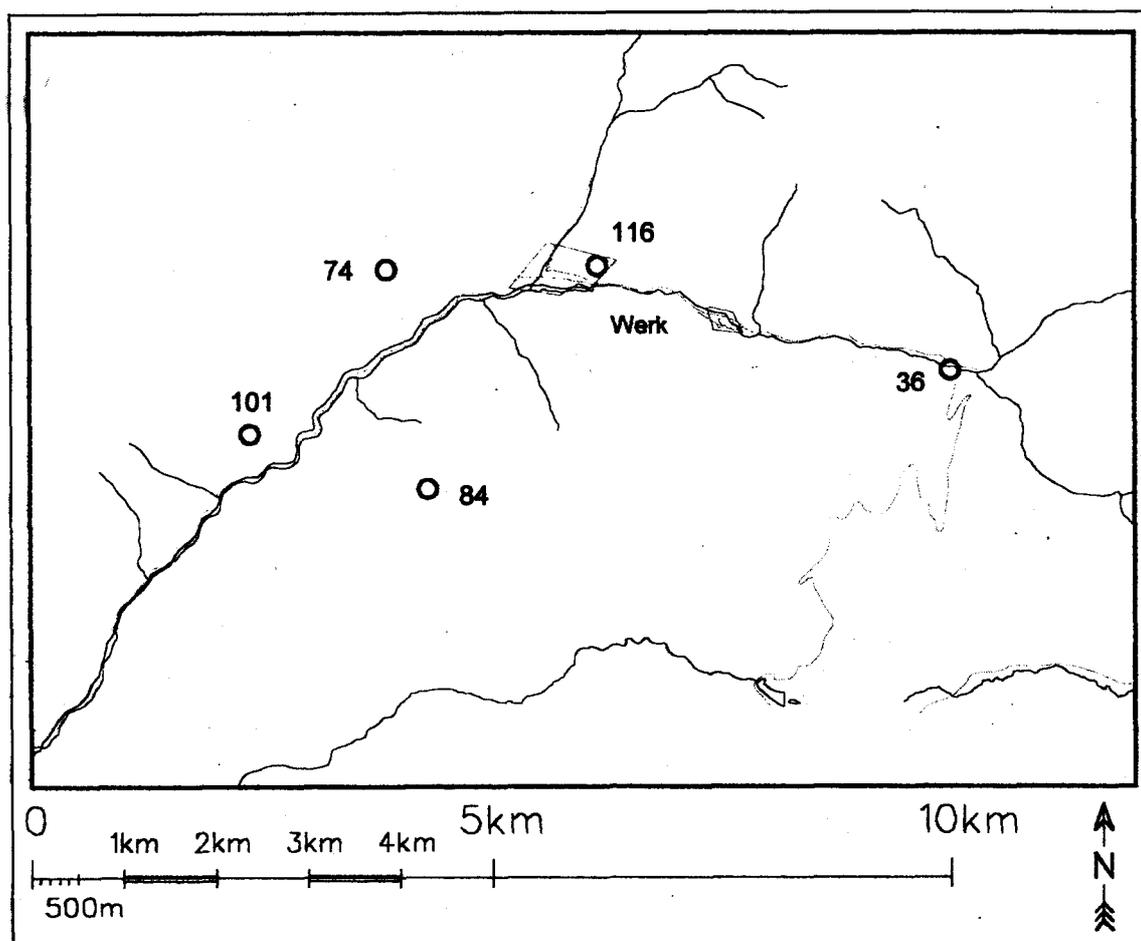


Abb. 9: Arnoldstein/Versuchsgarten 1, REM-Aufnahme eines cenosphärischen Flugaschepartikels auf einer Fichtennadel. Vergrößerung: 4500fach.

4.1.2 Breitenau

4.1.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Im Werk Breitenau der Firma Veitsch-Radex AG in der Steiermark werden auf Basis von bergmännisch gewonnenem Naturmagnesit feuerfeste Produkte hergestellt. Außerdem ist Breitenau ein wichtiger Rohstofflieferant für die Steinfabriken der Schwesterwerke in Trieben und Veitsch. Es werden jährlich ca. 400.000 t Rohmagnesit gefördert und daraus ca. 200.000 t Sintermagnesit gebrannt. Produktionsbedingten Einfluß auf die Umwelt haben im wesentlichen die festen und gasförmigen Emissionen wie MgO-Staub, SO₂ und NO_x. Um diese Einflüsse möglichst gering zu halten, werden im Werk Breitenau Gewebefilter und Elektrofilter zur Entstaubung der Anlagen betrieben. Weiters wurde im Jahre 1991/92 eine Entschwefelungsanlage für einen Drehrohrofen errichtet (Mitteilung Veitsch Radex AG, Werk Breitenau).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Breitenau.

Tab. 2: Standortparameter der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Breitenau; erhoben von der Landesforstdirektion Steiermark.

Probepunkt	Seehöhe	Baumalter	Exposition
36	700 m	62 Jahre	Nord/West
74	910 m	102 Jahre	Süd
84	920 m	82 Jahre	Nord
101	700 m	82 Jahre	Ost
116	700 m	87 Jahre	Süd

4.1.2.1 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität von Fichtennadeln der untersuchten Probepunkte im Untersuchungsgebiet Breitenau lag im Bereich von 2,1 bis 2,9. Diese Werte entsprechen leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Staubbelegung war, mit Ausnahme eines Probepunktes, sehr gering. An drei der Untersuchungsstandorte wurden keine Staubpartikel auf den Nadeln gefunden.

Mit einem Wert von $2,9 \pm 0,64$ wies der im Emissionszentrum gelegene, südexponierte Probepunkt 116 die stärksten Wachsdegradationen des Untersuchungsgebietes auf. 25 % der untersuchten Stomata waren mit Staubpartikeln, 39 % mit Epibionten bedeckt. Mittels EDX-Analyse konnte im Staub Magnesium nachgewiesen werden. Magnesiumhaltige Partikel sind

in den Abbildungen 10 bis 12 dargestellt. Zusätzlich wurden an den Nadeloberflächen dieses Punktes Gipskristalle detektiert (Abb. 13 und 14). Die chemischen Nadelanalysen ergaben die höchsten Magnesium- und Eisengehalte des Untersuchungsgebietes.

In Freilanduntersuchungen an immissionsbelasteten Fichten aus der ehemaligen DDR konnte gezeigt werden, daß die Oberflächen der Nadeln vereinzelt Gipskristalle trugen (NEBE ET AL., 1988). Zusätzlich waren die Nadeln durch Ca-, Mg-, Mn- und Zinkmangel charakterisiert, was die Autoren auf Auslaugung zurückführten. Das Auftreten von Gipskristallen wurde auch an Kiefernadeln eines SO₂-belasteten Standortes in der Dübener Heide beobachtet (FIEDLER ET AL., 1990). Aus einer weiteren Studie, bei der unter anderem Fichten mit einem Gemisch aus H₂SO₄/HNO₃ besprüht wurden, geht hervor, daß besonders an den Nadeln des 1. Nadeljahrganges zahlreiche Gipskristalle nachgewiesen werden konnten (HUTTUNEN ET AL., 1990/91). Auch durch eine künstliche Säurebehandlung von Fichtennadeln mit Ozon und saurem Nebel bei pH 3 konnte Gipskristallbildung an den Nadeloberflächen beobachtet werden (LÜTZ ET AL., 1990). In einer neueren Arbeit konnte durch saure Beregnung mit einem Schwefelsäure/Salpetersäure-Gemisch bei pH 3 und 4 die Entstehung von Gipskristallen vor allem auf den jungen, noch nicht überwinterten Nadeln von Fichten und Kiefern induziert werden (TURUNEN ET AL., 1994). Man nimmt allgemein an, daß bedingt durch eine Säurebelastung vermehrt Calcium aus den Nadeln ausgewaschen wird und mit dem in der wässrigen Lösung befindlichen Schwefel reagiert.

An Nadeln des westlich des Werkes befindlichen Probepunktes 74 konnten ebenfalls Gipskristalle beobachtet werden (Abb. 15 und 16). Staubpartikel wurden nicht nachgewiesen, die Belegung mit Epibionten lag bei 15 %.

Tab. 3: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Breitenau.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
36	2,2 ± 0,60	0	11
74	2,3 ± 0,93	0	15
84	2,1 ± 0,68	1	6
101	2,1 ± 0,70	0	3
116	2,9 ± 0,64	25	39

Alle Schwefelwerte der Nadeln lagen über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,11 %. Die höchsten Schwefelgehalte wiesen die Fichtennadeln des Probepunktes 36 östlich des Werkes auf. Die Schwefelgehalte im Untersuchungsgebiet Breitenau waren signifikant höher als im Hintergrund (vgl. Kapitel 4.3).

Tab. 4: Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Breitenau. GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
36	0,16	1,5	4.780	7.353	2.787	2.337
74	0,14	1,3	4.834	7.320	1.951	1.736
84	0,12	1,3	7.910	5.629	1.087	1.578
101	0,12	1,3	5.160	6.354	1.471	1.397
116	0,14	1,2	4.111	4.465	4.540	1.959

Die schlechtere Wachsqualität an den Probepunkten im Untersuchungsgebiet Breitenau im Vergleich zu den Hintergrundstandorten war statistisch absicherbar (vgl. Kapitel 4.3). Besonders an den Probepunkten im Nahbereich des Magnesitwerks wurden höhere Magnesiumgehalte in den Nadeln erreicht. Diese erhöhten Gehalte sind zum Großteil auf magnesi- umhäftigen Staub auf den Nadeln zurückzuführen.

Tab. 5: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Breitenau.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
36	4,3	35	214	53	< 11
74	3,2	45	461	44	16
84	3,5	28	149	42	13
101	3,0	42	512	34	25
116	3,1	41	107	116	27

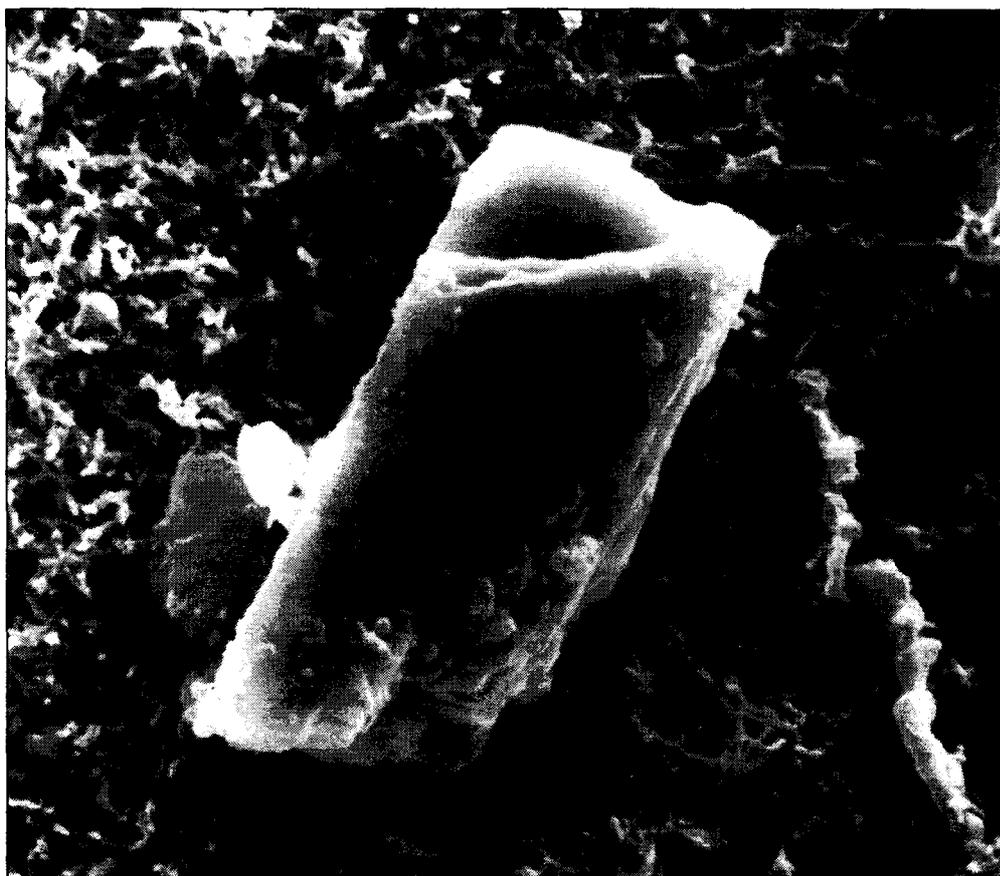


Abb. 10: Breitenau/116, REM-Aufnahme eines mg-haltigen Staubpartikels. Vergrößerung: 4500fach.



Abb. 11: Breitenau/116, REM-Aufnahme eines Staubpartikels. Vergrößerung: 7500fach.

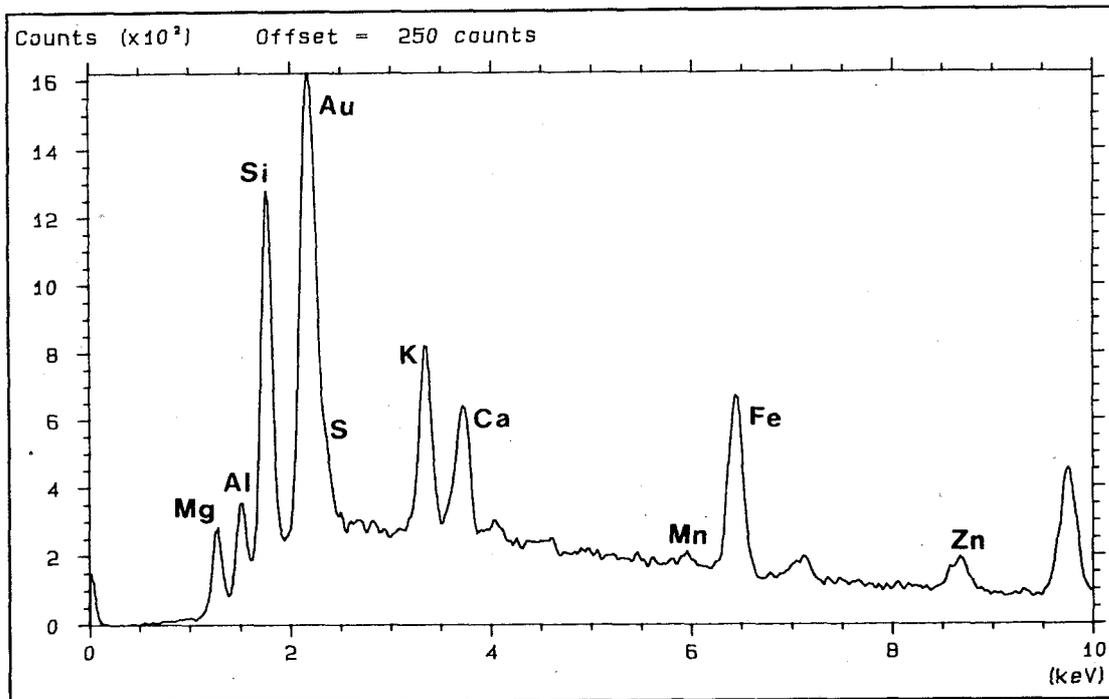


Abb. 12: Breitenau/116, EDX-Spektrum zu Abb. 11.



Abb. 13: Breitenau/116, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Gipskristallen. Vergrößerung: 350fach.

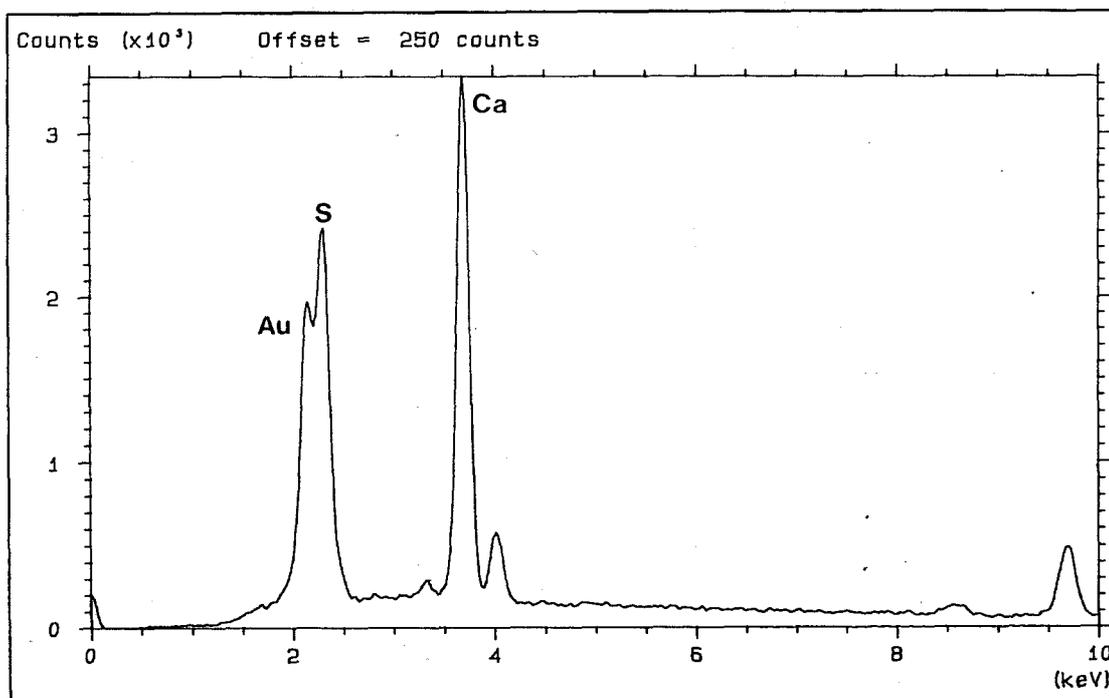


Abb. 14: Breitenau/116, EDX-Spektrum von Gips. Gips (CaSO_4) ist eindeutig an den beiden großen Peaks von Calcium und Schwefel zu identifizieren.

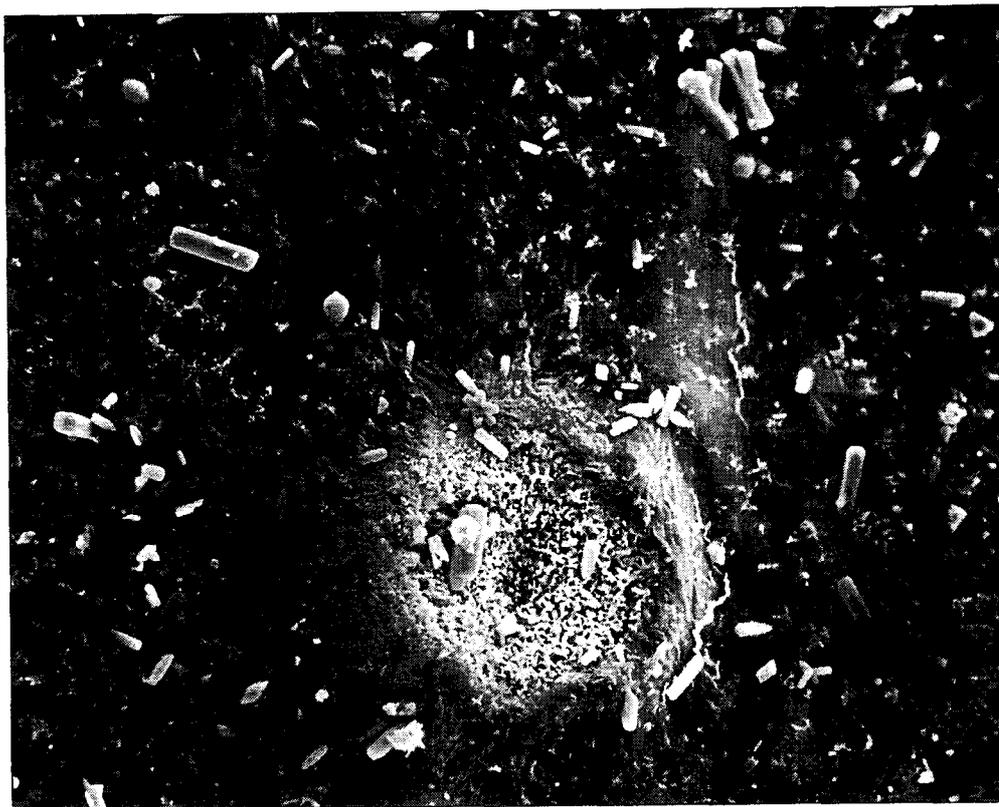


Abb. 15: Breitenau/74, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit Gipskristallen. Vergrößerung: 750fach.



Abb. 16: Breitenau/74, REM-Aufnahme eines einzelnen Kristalles. Vergrößerung: 15000fach.

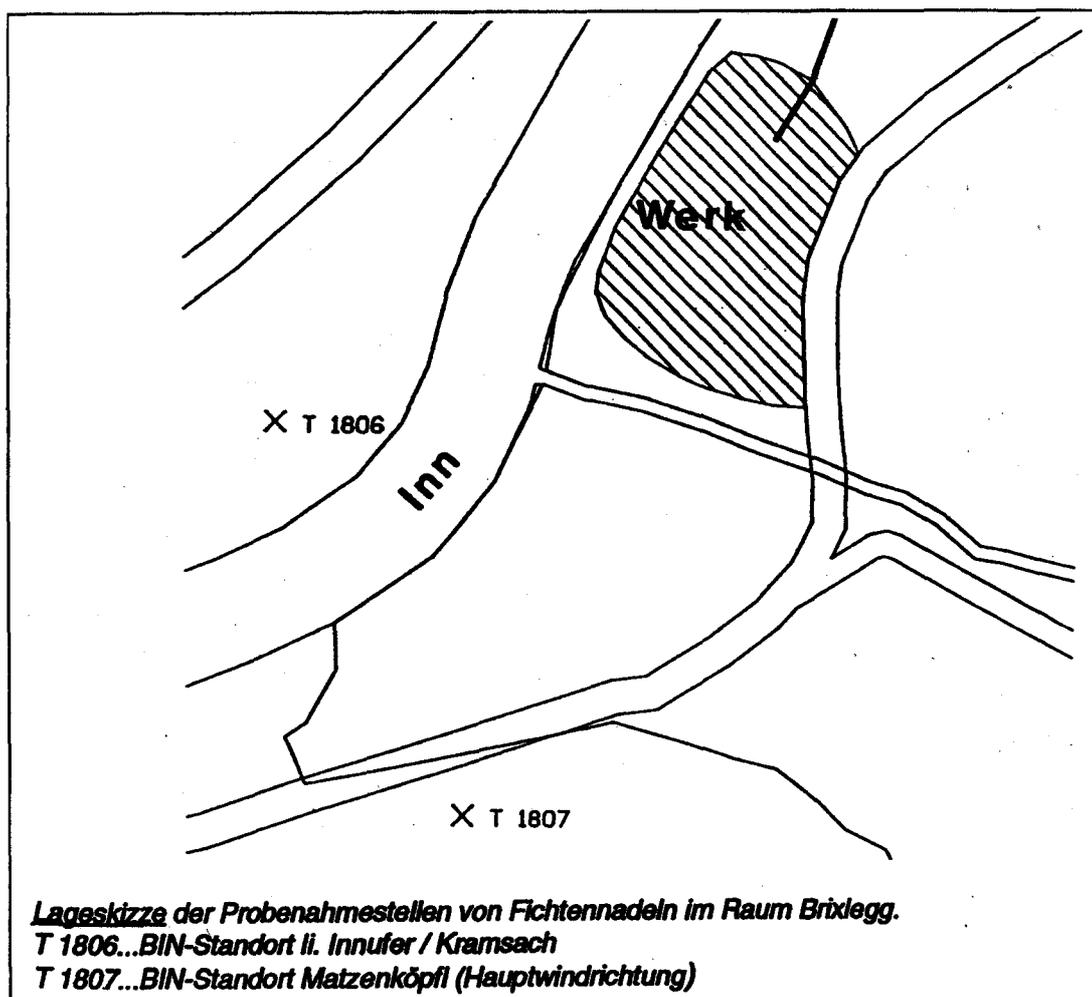
4.1.3 Brixlegg

4.1.3.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In Brixlegg im Tiroler Unterinntal wurden seit dem Mittelalter Kupfererze verhüttet. Seit der Einstellung des heimischen Kupferbergbaus ist die inländische Kupferproduktion ausschließlich auf die Aufarbeitung von heimischen und importierten Schrotten und Rückständen beschränkt (UMWELTBUNDESAMT, 1992). In der seit dem Jahre 1953 bestehenden Kupferhütte der Montanwerke Brixlegg Ges.m.b.H. am Standort Brixlegg werden diese Rohstoffe in einer Elektrolyseanlage zur Kupferraffination verarbeitet.

Nachweislich verursachten die Emissionen der Anlagen starke Waldschäden in diesem Gebiet. Es traten vor allem Immissionsbelastungen der Luft durch Schwefeldioxid und schwermetallhaltige Stäube auf (SPINDELBALKER ET AL., 1990). Durch entsprechende emissionsreduzierende Maßnahmen seit dem Jahr 1989 (Installation einer Nachverbrennungsanlage am Schachtofen) ist es mittlerweile zu einer deutlichen Verbesserung der Umweltsituation gekommen.

Zur Untersuchung von Fichtennadeln boten sich die Standorte Matzenköpfel (Hauptwindrichtung) und Kramsach an, da diese beiden Probepunkte bereits in einer früher-en Erhebung des Umweltbundesamtes untersucht wurden und daher Vergleichsdaten vorliegen. Bei den genannten Punkten handelt es sich um Bäume des Tiroler Bioindikatornetzes.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Brixlegg.

4.1.3.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Für die Nadeln des in Hauptwindrichtung gelegenen Probepunktes T 1807 am Matzenköpfl wurde eine Wachsqualität von 2,7 ermittelt. An keiner der untersuchten Spaltöffnungen konnten Staubpartikel detektiert werden. Demgegenüber konnten 4 % der Spaltöffnungen aufgrund massiver Belegung mit Pilzhyphen nicht bewertet werden und wurden daher der Sonderklasse 6 zugeteilt. Abbildung 17 zeigt eine Spaltöffnung mit Pilzhyphen. Insgesamt wurden an 15 % der untersuchten Stomata Epibionten beobachtet.

Mit einem Wert von 2,0 wiesen die Fichtennadeln des am linken Innufer in Kramsach gelegenen Probepunktes T 1806 unbeeinträchtigte Wachsstrukturen auf. 15 % der untersuchten Spaltöffnungen wiesen pflanzliche und tierische Mikroorganismen auf. Staubpartikel konnten nicht verzeichnet werden.

Tab. 6: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Brixlegg.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
T 1807	2,7 ± 0,97	0	15
T 1806	2,0 ± 0,51	0	15

Waren die Wachsstrukturen an den beiden Standorten im Untersuchungsgebiet Brixlegg im Jahre 1987 noch stark beeinträchtigt und erheblich durch schwermetallhaltige Stäube kontaminiert, wurde für 1994 und 1995 eine deutlich bessere Wachsqualität ermittelt (vgl. dazu TRIMBACHER, 1996). Die Ergebnisse deuten darauf hin, daß im Raum Brixlegg eine Verbesserung der Umweltsituation nicht zuletzt durch entsprechende emissionsreduzierende Maßnahmen seit dem Jahre 1989 erzielt werden konnte.

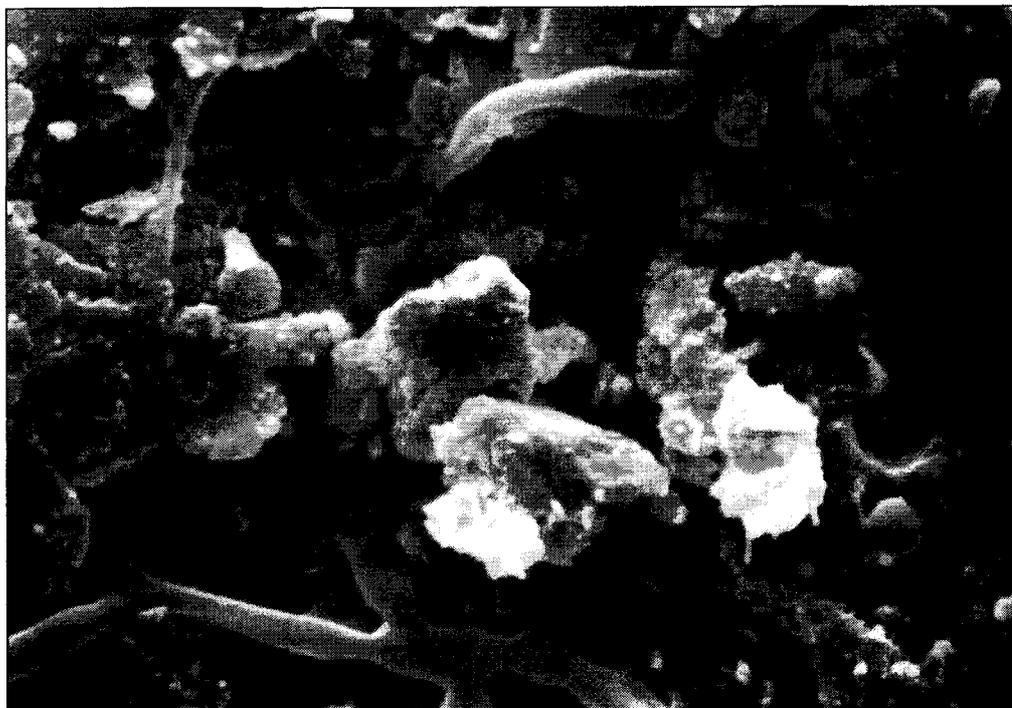


Abb. 17: Brixlegg/T 1807, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit Pilzhyphen. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.4 Brückl

4.1.4.1 Lage und Klima

Das Werk der Donau Chemie Brückl in Kärnten liegt südlich von Brückl an der Gurk am Nordrand des Klagenfurter Beckens auf einem Schotterkegel der Gurk. Durch die Lage des Werks am Beginn der Weitung des Gurktales und des dort ca. Nord-Süd verlaufenden Tales ist mit häufigem Auftreten von Nord- und Südwinden zu rechnen. Durch die Talverengung nördlich des Werkes und die Einmündung in das Görschitztal beim Ort Brückl ändert sich der Talverlauf in Richtung West und daher können Immissionsbelastungen an den Prallhängen auftreten (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

4.1.4.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Donau Chemie betreibt in Brückl eine Kochsalz-Elektrolyse. 1910 wurde die Elektrolyse nach dem Diaphragma-Verfahren zur Herstellung von Chlorkalk, Natronlauge und Ätznatron in Betrieb genommen. 1944 wurde die Chlor-Alkali-Elektrolyse auf das Amalgam-Verfahren umgestellt. In den 60er und 70er Jahren stellte die Erzeugung von chlorierten Lösungsmitteln durch Weiterreaktion des Koppelproduktes Chlor einen wesentlichen Produktionszweig dar (PER- und TRI-Produktion). Anfang der 90er Jahre wurden die Weichen zu einer Umstrukturierung der Produktpalette gestellt. Die Produktion von Flüssigchlor wurde reduziert und die Erzeugung von chlorierten Lösungsmitteln (Chlorchemie) 1992 eingestellt. Als Alternative wurde die Produktion von anorganischen Chlor-Verbindungen (Chloridchemie) forciert (Produktion von Eisen(III)-Chlorid). (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

Seit 1995 können auch chloridhaltige Abfallstoffe wie salzsaure Beizlösungen (aus Verzinkereine oder aus der Leiterplattenproduktion) stofflich verwertet werden. Die in den Beizen enthaltenen Verunreinigungen Kupfer bzw. Zink werden zu wertvollen Rohstoffen aufgearbeitet.

Zur Beseitigung der auf Zeiten der Lösungsmittelproduktion zurückgehenden Altlast läuft seit 1987 ein umfangreiches Sanierungsprogramm mit Bodenluftabsaugung und Grundwasserreinigung. Bisher wurden mehr als 60 t Schadstoffe aus der Umwelt zurückgewonnen (Mitteilung Donau Chemie, Werk Brückl).

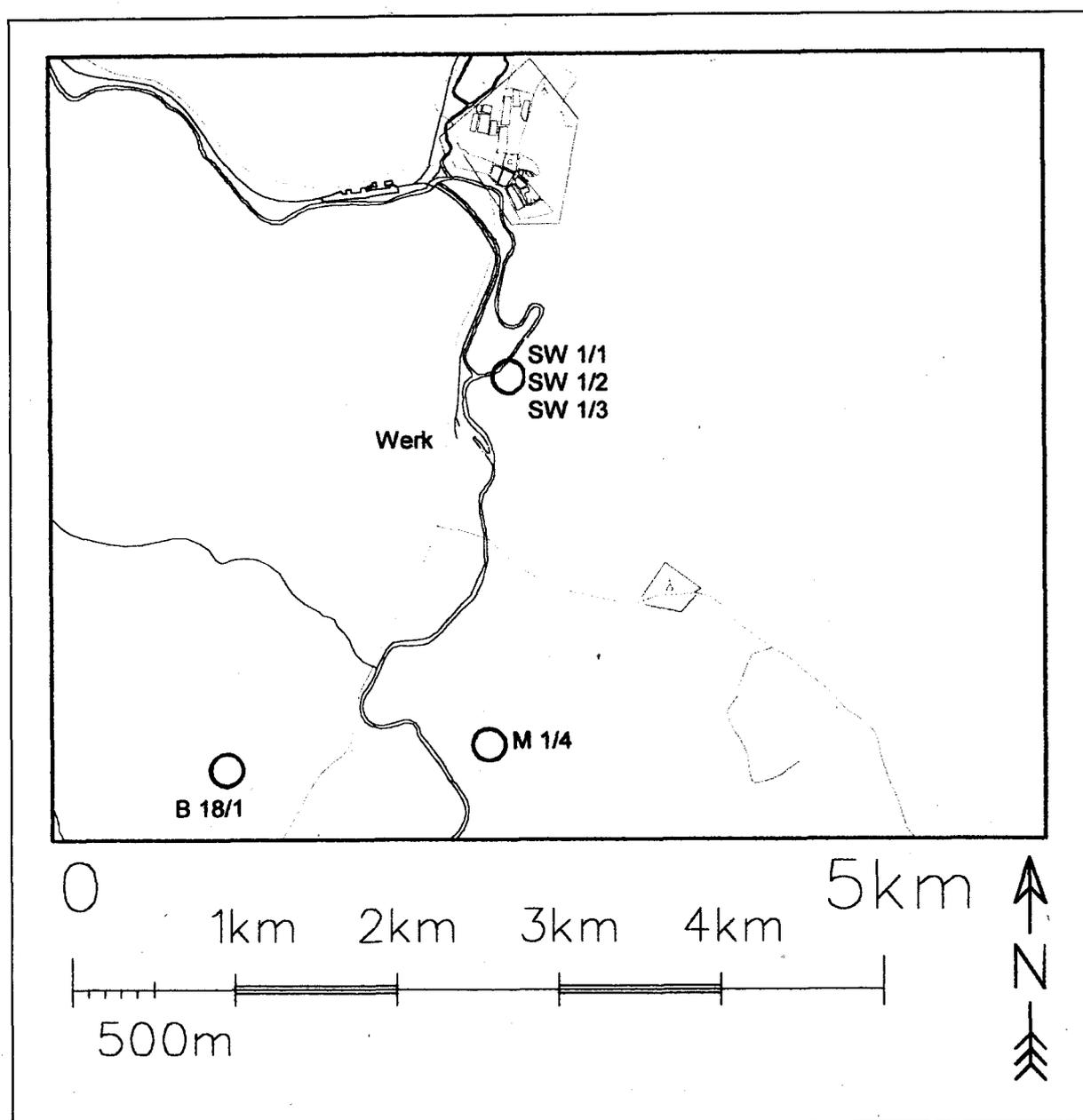
Aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse (Amalgam-Verfahren) sind prinzipiell Quecksilber- und Chlormissionen möglich. Zur Beurteilung der Situation bezüglich Quecksilber wurden in den letzten Jahren Immissionsmessungen durchgeführt. Die Auswertung der Ergebnisse und ein abschließender Bericht werden voraussichtlich bis zum Herbst 1997 vorliegen.

Bei Messungen des Chloridgehaltes von Fichtennadeln an ausgewählten Bäumen des Bioindikatornetzes im Raum Brückl durch die Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien wurden in den vergangenen Jahren an einzelnen Bäumen Überschreitungen der in der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen festgelegten Nadelgrenzwerte für das Element Chlor festgestellt. Nach Angaben der Donau Chemie Werk Brückl sind die teilweise erhöhten Chloridwerte der Fichtennadeln eher auf Verfrachtungen von Salz aus dem Salzlager bzw. auf Verdunstungsverluste salzhaltiger Sole zurückzuführen als auf direkte Chlormissionen. 1993 wurde in einem Forstverfahren die Donau Chemie Brückl als Verursacher forstschädlicher Luftverunreinigungen (Chlorid in Nadeln) festgestellt. Der Leistungsbescheid ist noch ausständig (WUGGENIG, pers. Mitteilung).

Für die Chlorwasserstoff-Emissionen aus den Salzsäuresyntheseöfen liegt bescheidmäßig ein Emissionsgrenzwert von 30 mg/m³ vor. Die tatsächlichen Emissionen lagen in den letzten Jahren bei 3 bis 5 mg HCl/m³, das entspricht einem Massenstrom von weniger als 10 kg/Jahr, d. h. keine nennenswerte Immissionsbelastung, was auch durch Messungen der

Niederösterreichischen Umweltschutzanstalt über einen Zeitraum von sechs Monaten bestätigt wurde (Mitteilung Donau Chemie, Werk Brückl).

Ca. 500 m nördlich des Werkes befindet sich eine Betriebsdeponie, auf der Produktionsrückstände (Karbidekalk, verunreinigt mit chlorierten Kohlenwasserstoffen) abgelagert wurden. Südlich des Werkgeländes befinden sich Ablagerungen von Karbidekalk aus der Acetylenproduktion der Donau Chemie. Diese beiden Deponien sind seit einigen Jahren als Verdachtsflächen gemäß ALSAG ausgewiesen (Mitteilung Donau Chemie, Werk Brückl).



Lageskizze der Probepunkte am Untersuchungsgebiet Brückl.

4.1.4.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität der Fichtennadeln an den untersuchten Probepunkten im Raum Brückl lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) bis 2,6 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen lag zwischen 0 % und 7 % und war sehr gering. Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag im Bereich von 6 % bis 21 %.

Die mittlere Wachsqualität des südwestlich vom Werk gelegenen Probepunktes B 18/1 lag bei 2,1. Eine charakteristische Spaltöffnung ist in Abbildung 18 dargestellt. An den Nadeloberflächen wurden vereinzelt Gipskristalle detektiert (Abb. 19). Die Staubbelegung lag bei 7 %. Bei den wenigen anhaftenden Fremdpartikeln handelte es sich vor allem um Einzelpartikel und nicht um größere Partikelaggregate, deren elementare Zusammensetzung keine Auffälligkeiten erkennen ließ und allem Anschein nach den umgebenden Boden repräsentiert.

Tab. 7: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Brückl.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
B 18/1	2,1 ± 0,74	7	6
M 1/4	1,9 ± 0,46	7	15
SW 1/1	2,0 ± 0,93	4	21
SW 1/2	2,3 ± 0,68	0	10
SW 1/3	2,6 ± 0,92	0	14

Die beste Wachsqualität (MW 1,9 ± SD 0,46) der untersuchten Probepunkte im Gebiet Brückl wies der Probepunkt M 1/4 südlich des Werkes auf. Dieser Wert entspricht unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Belegung der Nadeloberfläche mit anorganischen Partikeln lag wiederum bei 7 %, pflanzliche und tierische Mikroorganismen konnte an 15 % der untersuchten Stomata detektiert werden.

Von den drei in Werksnähe gelegenen Probepunkten SW 1/1, SW 1/2 und SW 1/3 wies der Punkt SW 1/3 mit einem Wert von 2,6 die am stärksten beeinträchtigten Wachsstrukturen des Untersuchungsgebietes auf. Zahlreiche, im Durchschnitt 5 µm große Kristalle aus NaCl fanden sich auf den Nadeloberflächen des Punktes SW 1/2 (Abbildungen 20 bis 22). Es wurden auch vereinzelt Gipskristalle auf der Nadeloberfläche detektiert (Abb. 23).

Die Chloridanalysen der Fichtennadeln ergaben für einen der drei werksnahen Probepunkte (SW 1/1) eine Überschreitung des Clidgehaltes bis zum Dreifachen des Grenzwertes (Tab. 8). Dieser Standort wies ebenso die höchsten Schwefelwerte des Untersuchungsgebietes auf.

Die Schwefelgehalte der Nadeln waren im Untersuchungsgebiet Brückl signifikant höher als an den Hintergrundstandorten (vgl. Kapitel 4.3). Weiters waren die Nadelgehalte der Nährelemente Stickstoff, Phosphor, Kalium und Mangan signifikant höher als im Hintergrund. Erhöhte Nährelementgehalte wurden auch an anderen emittentennahen Standorten beobachtet.

Tab. 8: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Brückl. GW für Cl im 1. Njg.: 0,1 %, GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP	Cl	S-Gesamt	N-Kjeldahl	Ca	K	Mg	P
Nr.	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B 18/1	0,13	0,14	1,4	7.285	9.237	1.069	2.585
M 1/4	0,12	0,13	1,3	8.149	5.920	1.432	1.292
SW 1/1	0,33	0,15	1,4	4.919	7.112	1.010	1.737
SW 1/2	0,13	0,13	1,3	6.165	7.892	1.261	1.504
SW 1/3	0,23	0,14	1,5	4.030	8.167	1.447	1.468

Tab. 9: Metallgehalte der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Brückl.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
Nr.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B 18/1	3,2	35	872	28	18
M 1/4	3,2	36	1.335	35	77
SW 1/1	4,0	30	793	52	42
SW 1/2	4,3	41	1.070	36	23
SW 1/3	3,9	33	579	38	32



Abb. 18: Brückl/B 18/1, REM-Aufnahme einer charakteristischen Spaltöffnung mit weitgehend intakter Wachsstruktur. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 19: Brückl/B 18/1, REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche. Vergrößerung: 4600fach.

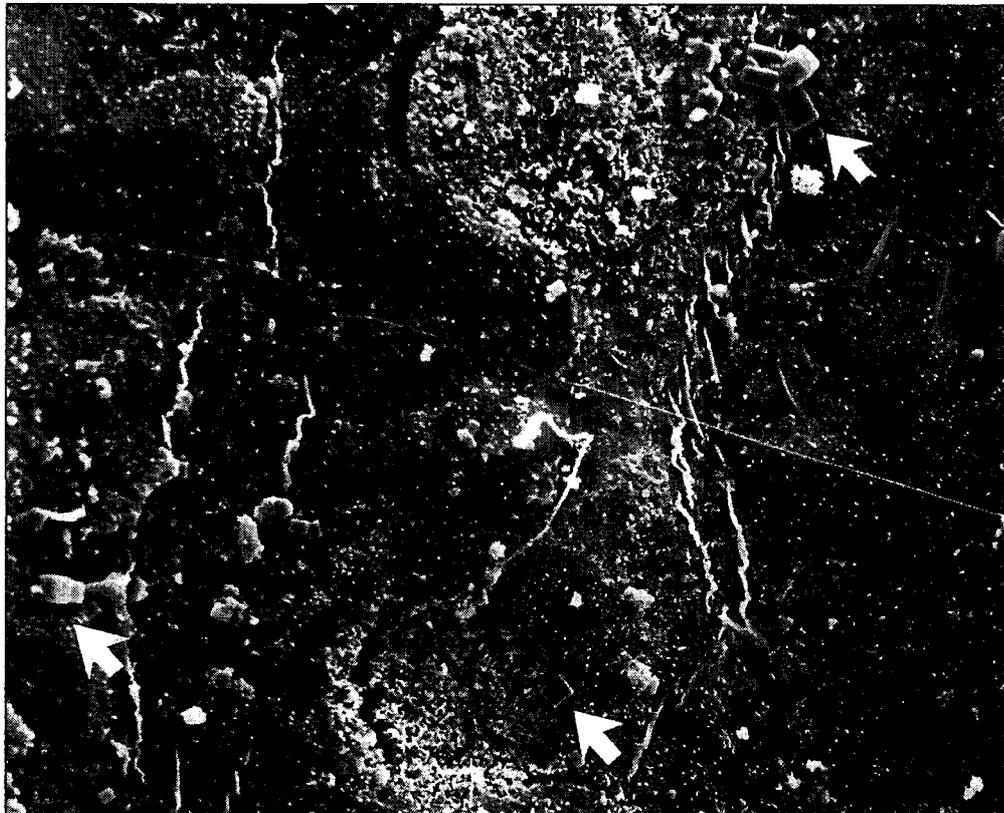


Abb. 20: Brückl/SW 1/2, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen kleinen NaCl-Kristallen (Pfeile). Vergrößerung: 750fach.

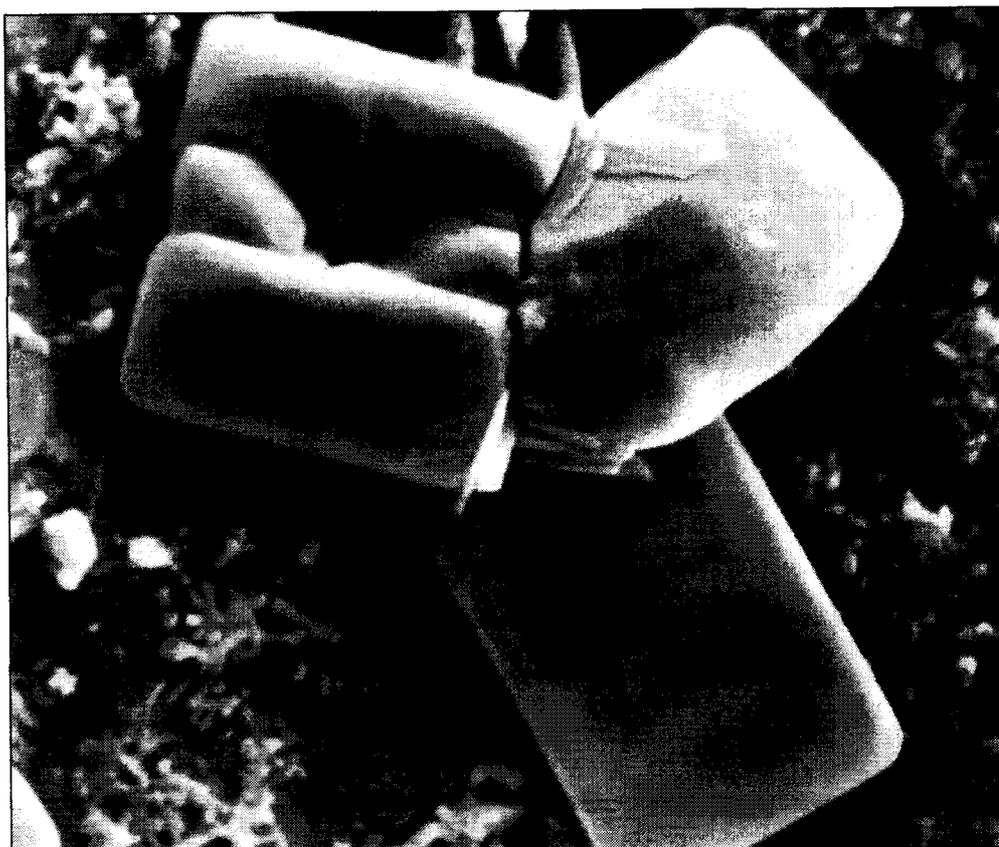


Abb. 21: Brückl/SW 1/2, REM-Aufnahme eines einzelnen Kristalles. Vergrößerung: 7500fach.

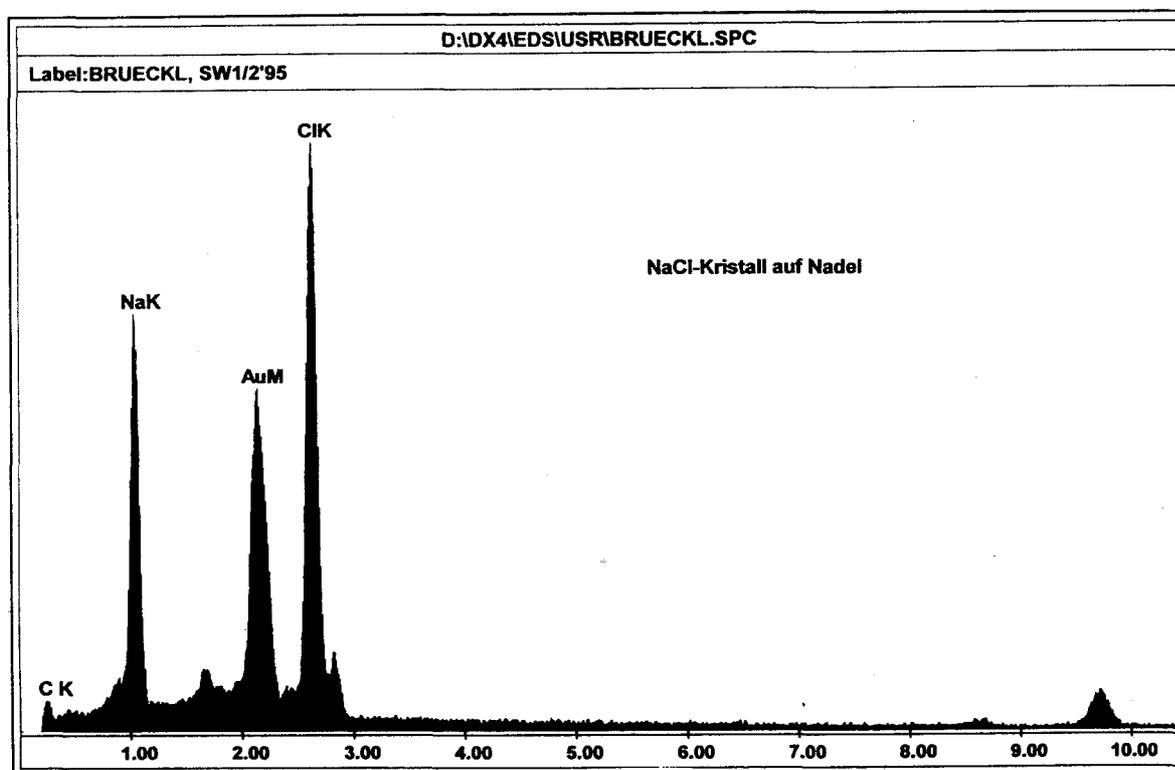


Abb. 22: Brückl/SW 1/2, EDX-Spektrum des Kristalles in Abb. 21.



Abb. 23: Brückl/SW1/2, REM-Aufnahme eines NaCl-Kristalles aufgelagert auf Gipsnadeln. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.5 Graz

4.1.5.1 Lage und Klima

Das Grazer Becken ist immissionsklimatologisch von seiner Lage am Ausgang des Murchurchbruchtales am Fuß des steirischen Randgebirges geprägt. Aus der abgeschirmten Lage südlich der Alpen resultiert eine vergleichsweise geringe Beeinflussung durch die im Großteil Österreichs wetterwirksamen Strömungslagen aus dem West- bis Nordsektor. Damit verbunden ist eine generelle Windarmut und, der Beckenlage entsprechend, eine große Inversions- und Talnebelbereitschaft gegeben. Die lufthygienischen Rahmenbedingungen müssen also als ungünstig angesehen werden.

Bei einem hohen Anteil an Strahlungswetterlagen (60 % bis 70 % der Tage im Herbst) gewinnt vor allem in der lufthygienisch kritischeren kalten Jahreszeit das stark ausgeprägte Lokalwindssystem an Bedeutung. Der Norden der Stadt liegt dabei nachts und vormittags im Einflußbereich des Murtalabwindes, der gemeinsam mit dem Kaltluftabfluß aus den nordöstlichen und östlichen Seitentälern den wichtigsten Frischluftzubringer der Stadt darstellt. Dementsprechend können der Norden und Osten der Stadt als im innerstädtischen Vergleich besser ventilerte und lufthygienisch begünstigte Lagen bezeichnet werden. Südlich der Linie Hauptbahnhof-Schloßberg-Landeskrankenhaus greift der Murtalabwind nur mehr selten bis zum Talboden durch, hier und im Süden von Graz gewinnen dadurch die relativ gering mächtigen und schwachen Flurwinde an Bedeutung. Diese entstehen aufgrund des Temperaturgradienten zwischen der städtischen Wärmeinsel und dem deutlich kälteren

Grazer Feld und verfrachten die Luft in Bodennähe aus dem Süden der Stadt in Richtung Stadtzentrum. Der Westen von Graz ist aufgrund des Fehlens von Seitentälern generell schlechter durchlüftet (SCHOPPER, pers. Mitteilung).

4.1.5.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

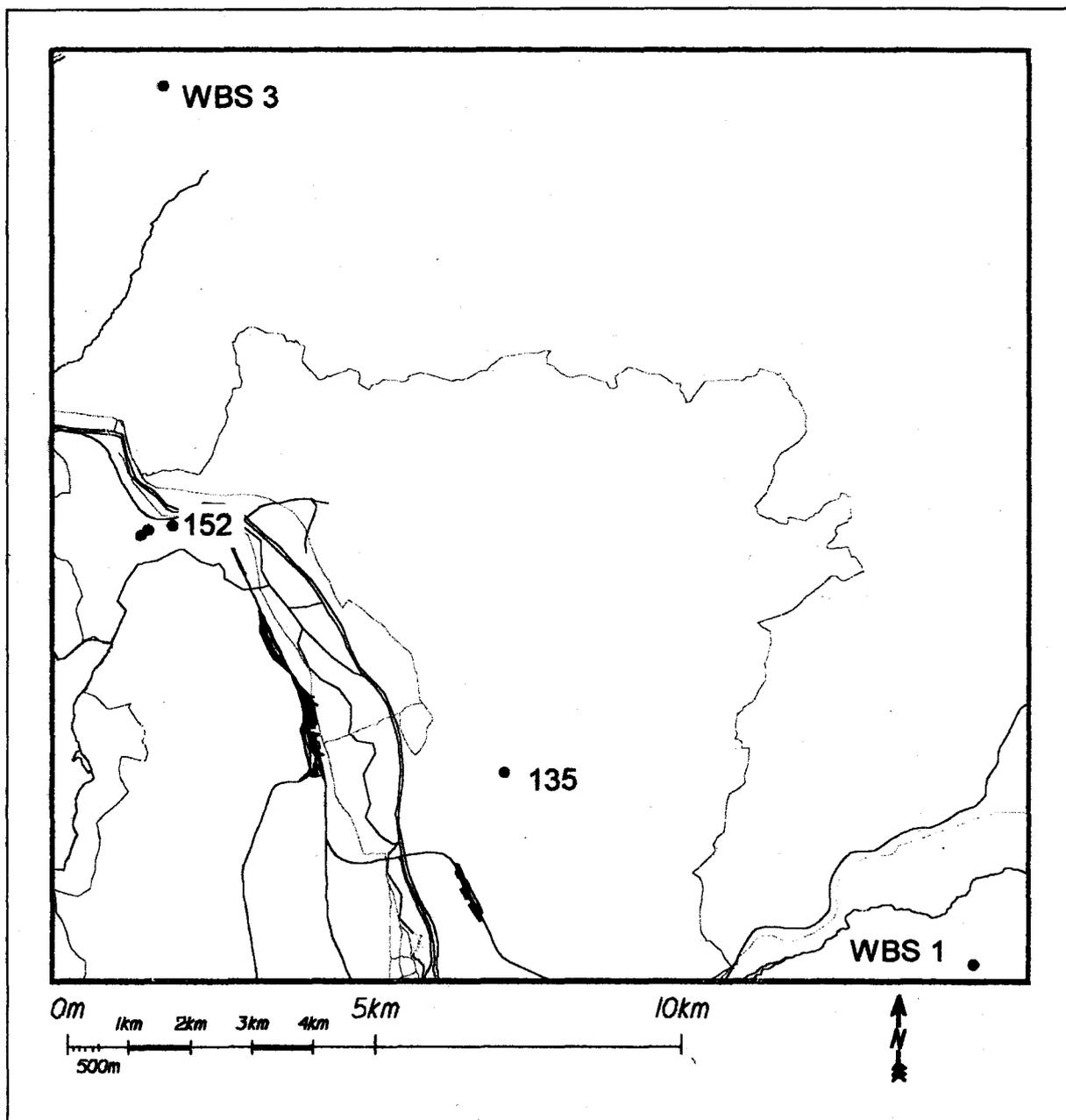
Emissionsseitig stellt in Graz zur Zeit sicher der Verkehr und die damit verbundenen Schadstoffe (vor allem Stickstoffoxide und Schwebstaub) das Hauptproblem dar. Besonders bei morgendlichen Bodeninversionen im Winterhalbjahr kommt es hier durch die Morgenverkehrsspitze häufig zu erhöhten Schadstoffkonzentrationen. Der Schwerpunkt der Verkehrsdichte liegt dabei im Süden, Westen und im Zentrum der Stadt.

Die Hausbrandemissionen sind durch die verstärkte Forcierung von Fernwärme und Erdgas stark zurückgegangen und nach wie vor rückläufig. Graz ist diesbezüglich mittlerweile sehr gut erschlossen.

Auch bei den gewerblichen Emissionen zeigt sich eine innerstädtische Differenzierung mit dem Schwerpunkt der Industrie - die allerdings nicht die Größenordnungen wie in Linz oder Wien erreicht - im Westen, Südwesten und Süden der Stadt.

Zusammenfassend kann in Graz also zwischen einem lufthygienisch begünstigten Nord- und Ostteil sowie einem stärker belasteten Süden, Westen und Zentrum unterschieden werden. Dies wird auch durch die Ergebnisse der langjährigen Luftgütemessungen durch das Amt der Steiermärkischen Landesregierung bestätigt.

Von den insgesamt vier untersuchten Probepunkten im Raum Graz liegen zwei im unmittelbaren Stadtgebiet: Der Probepunkt 152 liegt auf 450 m Seehöhe in Nord- bis Nordostexposition an einem Prallhang nördlich der Ruine Gösting im gut ventilierten Engtalabschnitt des Murtales am Nordeingang von Graz. In einer Entfernung von etwa 500 m befindet sich ein Abgasschacht des Plabutschunnels. Im Talbodenbereich verlaufen die Murtalschnell- und -bundesstraße, talaufwärts liegt das Gratkorn Becken, in dem sich ein Großemittent (Papierfabrik) befindet. Emissionen dieses Werkes dürften jedoch nur selten in nennenswerten Konzentrationen zu dem vorliegenden Standort gelangen. Der zweite innerstädtische Probepunkt 135 liegt in 370 m Seehöhe im Osten der Stadt in verbautem Gebiet. Nadeln dreier Bäume eines im Norden deutlich außerhalb des Stadtgebietes in 680 m Seehöhe am Westabhang der hohen Rannach gelegenen WBS-Punktes 3 (PP 34) sowie zwei Fichten eines weiteren WBS-Punktes südöstlich von Graz (WBS 1) standen für die Nadelanalysen zur Verfügung. Punkt WBS 1 liegt ebenfalls außerhalb des Stadtgebietes in 420 m Seehöhe im Oststeirischen Hügelland. Für beide Probepunkte gilt, daß sie sich nicht mehr im direkten Einflußbereich der Stadt befinden, es können aber unter bestimmten meteorologischen Voraussetzungen durchaus Immissionen aus städtischen Quellen auftreten (SCHOPPER, pers. Mitteilung).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Graz.

4.1.5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität der Fichtennadeln an den sieben Probepunkten im Raum Graz lag zwischen 1,8 (unbeeinträchtigt) und 2,5 (leicht beeinträchtigt). Staubpartikel wurden nur an einem der Punkte verzeichnet. Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen lag im Bereich von 1% bis 32 %.

Für die Nadelwache des Probepunktes 152 (ca. 500 m Entfernung vom Nordportal des Plabutschtunnels) wurde eine mittlere Wachsqualität von 2,5 ermittelt. Dieser Wert entspricht einer leichten Beeinträchtigung der Stomatawache. Eine charakteristische Spaltöffnung mit leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen ist in Abbildung 24 dargestellt. Dieser Pro-

bepunkt war auch der einzige des Untersuchungsgebietes, der eine geringe Belegung der Nadeloberflächen mit staubförmigen Fremdpartikeln aufwies (3 %). Unter anderem konnten im Staub vereinzelt kleine Kristalle beobachtet werden (Abb. 25). Mittels EDX-Analyse wurden diese als Gips identifiziert. Biologisches Material (Pilzhyphen, Sporen, Algenlager,...) wurden an 19 % der untersuchten Stomata gefunden. Eine geringe Grenzwertüberschreitung bei Chlor (0,11 %) sowie bei Schwefel (0,14 %) konnte ebenfalls verzeichnet werden (Tab. 11). Eine Beeinflussung der Fichtennadeln vor allem durch verkehrsbedingte Schadstoffe kann daher für diesen Probepunkt angenommen werden.

Tab. 10: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Graz.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
WBS 1/1	2,4 ± 0,40	0	19
WBS 2/1	1,8 ± 0,30	0	32
32	1,9 ± 0,36	0	1
33	2,0 ± 0,56	0	3
34	1,9 ± 0,40	0	7
152	2,5 ± 0,86	3	19
135	2,3 ± 0,38	0	15

Alle anderen Mittelwerte, die die Wachsqualität von Fichtennadeln an den einzelnen Probepunkten widerspiegeln, lagen unter dem für den Standort 152 ermittelten Wert (Tab. 10). Die Mittelwerte befanden sich im Bereich von 1,8 bis 2,4. Die höchste Belegung der Nadeloberflächen mit Epibionten wiesen die Nadeln der beiden am Hintergrundstandort WBS 1, südöstlich der Stadt befindlichen Fichten auf.

An allen Probepunkten des Untersuchungsgebietes Graz wurden Grenzwertüberschreitungen bei Schwefel in den Nadeln verzeichnet (Tab. 11). Der höchste Schwefelwert (0,16 %) wurde am Probepunkt 34 (WBS-Punkt 3 nördlich von Graz) gemessen. Es könnte sich dabei um eine Beeinflussung durch städtische Quellen handeln oder aber auch aus dem Gratkorner Becken (Großemittent Papierfabrik) stammen.

Tab.11: Cl-, S- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Graz. * nicht analysiert.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
WBS 1/1	*	0,14	1,4	4.946	4.839	1.424	1.884
WBS 2/1	*	0,12	1,5	5.154	9.659	1.171	1.736
32	*	0,12	1,2	6.581	5.887	1.058	1.282
33	*	0,12	1,3	7.397	9.705	980	1.454
34	*	0,16	1,5	5.591	9.645	1.172	1.925
152	0,11	0,14	1,5	8.652	4.756	2.951	1.561
135	0,07	0,12	1,4	6.891	7.956	938	2.192

Vergleiche mit Hintergrundstandorten ergaben signifikant höhere Stickstoffgehalte der Nadeln. Dies gilt auch für Innsbruck. In städtischen Ballungsräumen sind höhere Stickstoffimmissionen, in erster Linie bedingt durch den Verkehr, zu erwarten. Die Nährelementgehalte der Nadeln an Phosphor, Calcium und Kalium waren im Untersuchungsgebiet Graz signifikant höher als im Hintergrund. Die erhöhten Kupferwerte könnten auf Immissionen von Verkehr und Hausbrand zurückzuführen sein. In dem Zusammenhang ist jedoch zu berücksichtigen, daß die Hausbrandemissionen in Graz durch Umstellung vieler Haushalte auf Fernwärme und Erdgas stark zurückgegangen sind und weiterhin rückläufig sind. Auch die Schwefelgehalte der Nadeln aus dem Raum Graz waren signifikant höher als die der Hintergrundstandorte (vgl. Kapitel 4.3).

Tab. 12: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Graz.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
WBS 1/1	4,4	19	1.103	40	22
WBS 2/1	3,6	27	1.033	37	24
32	3,2	47	385	58	34
33	3,7	40	221	52	22
34	4,4	33	215	67	24
152	4,6	64	42	84	25
135	4,7	24	11	94	34

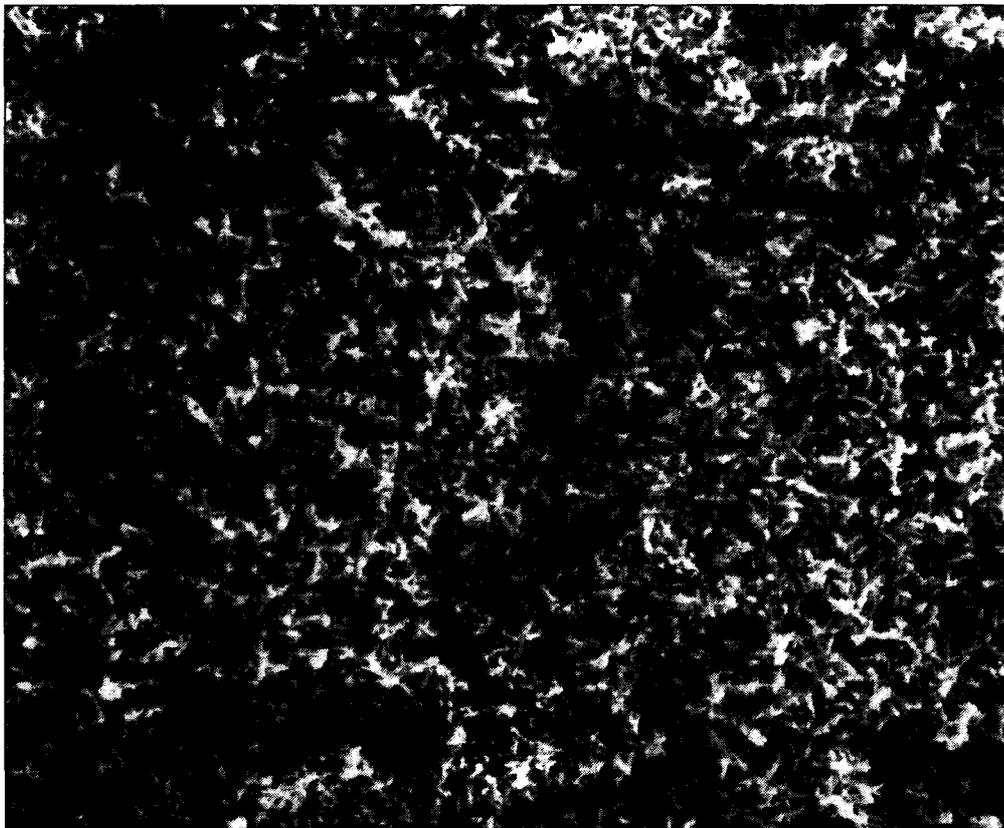


Abb. 24: Graz/152; REM-Aufnahme einer charakteristischen Spaltöffnung mit weitgehend unbeeinträchtigtter Wachsmikrostruktur. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 25: Graz/152; REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit Staubpartikeln und kleinen Gipskristallen. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.6 Innsbruck

4.1.6.1 Lage und Klima

Innsbruck liegt in der Mitte des hier beinahe in Ost-West-Richtung entlang der Alpennordseite verlaufenden Inntals. Charakteristisch für Wetter und Durchlüftung ist einerseits die hohe Abschirmung durch die Karwendelkette nach Norden hin, die im Mittel gut 1.500 m über Talsohle beträgt und erst am Achenpaß bzw. an der Seefelder Senke unterbrochen wird, sodaß Kaltfronten aus dem Nordwest- bis Nordsektor trotz der Lage von Innsbruck nördlich des Alpenhauptkammes sich nicht in voller Stärke auswirken, sondern meist abgeschwächt und um einige Stunden verzögert von Osten her über das Unterinntal eindringen. Andererseits besteht über das Wipptal und den nur 30 km entfernten Brenner eine sehr tief eingeschnittene Paßverbindung nach der Alpensüdseite hin, die eine ca. 1.500 m tiefe Schneise für den „seichten Föhn“ bildet. Föhn in allen Varianten herrscht am Innsbrucker Talboden in nur ca. 5 % aller Stunden, spielt aber trotzdem zusammen mit seinem regelmäßigen nächtlichen Vorläufer, dem „vorföhnigen Westwind“, eine bedeutsame Rolle bei der Durchlüftung der Talatmosphäre, speziell in den kritischen Jahreszeiten Herbst und Winter.

Bei wenig ausgeprägter Strömungslage (Hochdruckwetterlage) stellt sich im Inntal das klassische thermisch angeregte Talwindregime ein: Nächtlicher leichter Talauswind (WSW), Umschlag auf Taleinwind (ENE) etwa zwischen 9 Uhr (Sommer) und Mittag (Winter) und erneuter Umschlag auf Talaustritt etwa zwischen 15 Uhr (Winter) und 22 Uhr (Sommer). Der Nettotransport schadstoffreicher Stadtluft ist also im Sommer taleinwärts, im Winter talaustritts orientiert. Bemerkenswerterweise können lokale Unebenheiten auch am Talboden zu lokalen Unregelmäßigkeiten des Talwindregimes führen: als Beispiel seien die gelegent-

lichen nächtlichen Windkomponenten aus Ost in der bodennahen Schicht des Stadtgebietes von Hall genannt, die möglicherweise als Hangabwinde an einer Geländestufe bei Mils zu interpretieren sind. Auch sonst dürften entlang der nord- und südseitigen Hänge des Inntals lokale Kaltluftabflüsse ihre im Prinzip bekannte Rolle spielen. Was die Hangaufwinde betrifft, die bei Sonneneinstrahlung am späten Vormittag ihr Maximum erreichen, so scheint deren markantester Effekt in einer Art Quercirkulation zu den sonnenbeschienenen südexponierten Hängen der Nordkette hin zu bestehen, die Schadstoffe vom Talboden hangaufwärts verfrachtet, manchmal wahrscheinlich bis in Höhen unter das Kammniveau (Seegrube). Diese Quercirkulation ist in der kalten Jahreszeit bei generell schwachen Talwinden am deutlichsten ausgeprägt. Talwinde in Seitentälern betreffen das Stadtgebiet von Innsbruck höchstens am Eingang des Wipptals.

Die oben erwähnte gradientschwache Wetterlage mit ihrem charakteristischen in Talrichtung kanalisierten und von äußeren Einflüssen ziemlich abgekoppelten Talwindregime herrscht in wenig gestörter Form an ca. 30 % aller Tage des Jahres. Der entsprechende zeitliche Gang des Windes ist jedoch qualitativ an 80 % oder 90 % aller Tage nachweisbar.

Die Abschirmung durch die Gebirgsketten bewirkt also einerseits eine in talparalleler Richtung langgestreckte Windrose, andererseits mittlere Windstärken von kaum 1,5 m/s - beides im Gegensatz zu Alpenvorlandstationen oder auch zu Wien, wo mittlere Windgeschwindigkeiten zwei- bis dreimal so hoch sind. Inversionsschichtungen sind weniger extrem als über dem Alpenvorland, aber länger andauernd.

Alles in allem ist Innsbruck schlecht durchlüftet, allerdings noch besser als Klagenfurt oder Graz, die im Gegensatz zum praktisch nebfreien Innsbruck im Herbst und Winter wochenlang im Nebel bzw. unter Hochnebeldecken liegen können (VERGEINER, pers. Mitteilung).

4.1.6.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Stadt Innsbruck hat keine Großemittenten. Es überwiegen gewerblich-industrielle Mittelbetriebe, die zu einem Teil auf Erdgasversorgung umgestellt wurden. Der Verkehr spielt im Ballungsraum Innsbruck eine bedeutende Rolle. Im Süden des Stadtgebietes verläuft die Inntalautobahn A12 und aus dem Wipptal aus Richtung Süden mündet die Brennerautobahn A13 ein.

Die Probepunkte U 0301, U 0302 und U 0303 liegen am Nordkettenrand durchwegs in Südexposition gegenüber den Immissionen aus dem Stadtgebiet Innsbruck. Mit der Thermik gelangen hier ganzjährig, aber besonders im Winterhalbjahr sehr häufig Immissionsbelastungen bis in den Bereich der unteren Hanglage am Punkt U 0303 (Hungerburgbahn), in geringerem Ausmaß auch zu den höher gelegenen Punkten U 0302 (Nordkettenbahn) sowie U 0301 (Rastboden). Daher sind alle diese Probepunkte als deutlich bis stark beeinflusst einzustufen.

Die Punkte U 0304 (Tummelplatz) und U 0309 (Andreas Hofer Weg) liegen im Süden der Stadt und sind ebenfalls deutlich bis stark von den Immissionen aus dem Stadtgebiet Innsbruck betroffen. Zusätzlich führt die Autobahn in unmittelbarer Nähe jeweils unterhalb der Meßpunkte vorbei. Insbesondere bei Inversionswetterlagen liegt dieses Gebiet innerhalb des belasteten Bereiches.

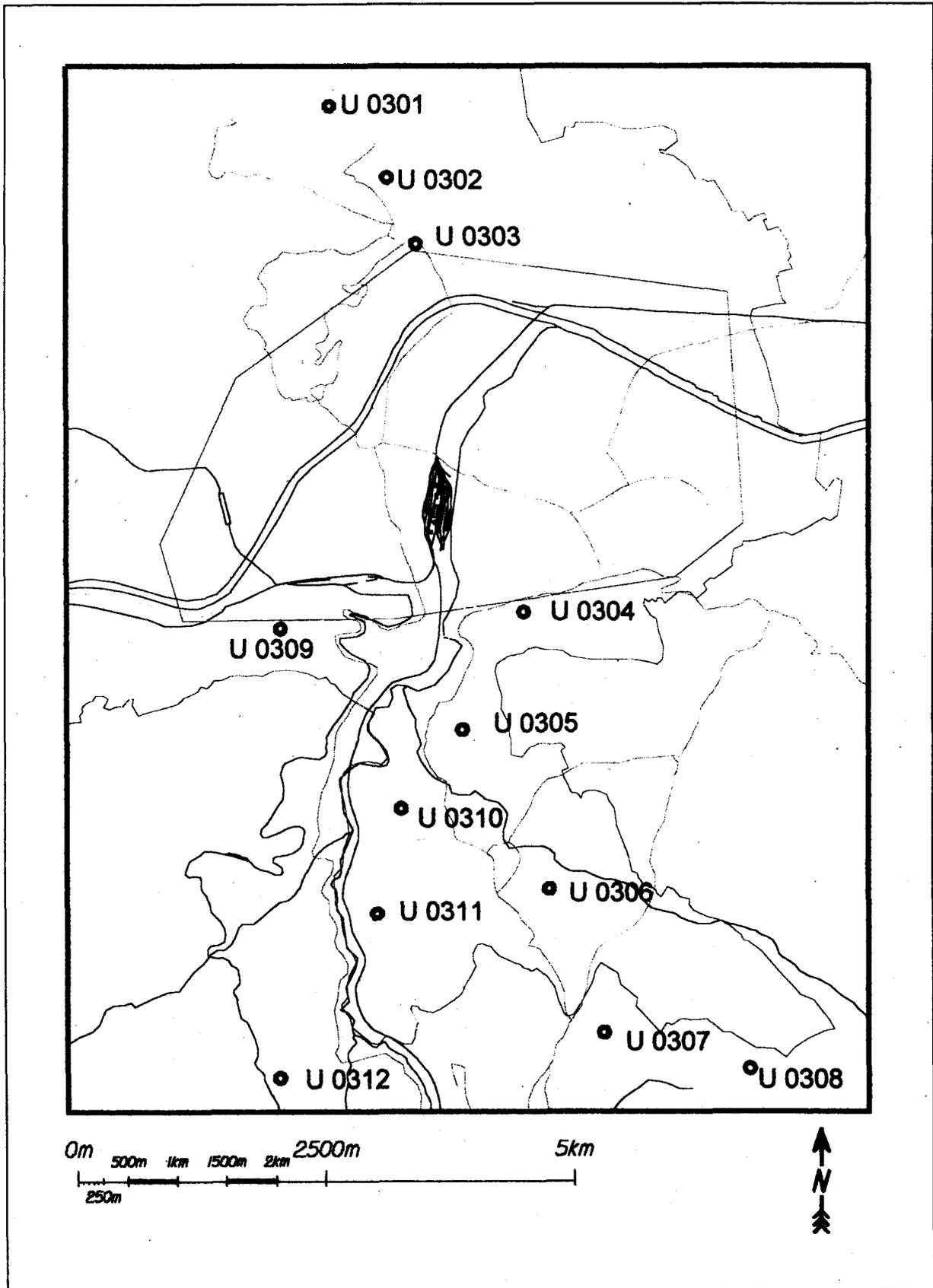
Tab. 13: Probepunkt- und Standortsbezeichnungen im Untersuchungsgebiet Innsbruck.

Profil Innsbruck		
UBA Nummer	BIN Nummer	Standortsbezeichnung
U 0301	T 0333	Rastelboden - Arzler Alm
U 0302	T 0332	Nordkettenbahn (= I34)
U 0303	T 0331	Hungerburgbahn (= I35)
U 0304	T 0330	Tummelplatz (= I12)
U 0305	T 0334	Grillhof
U 0306	T 0335	Kurhaus
U 0307	neu	Heiligwasser
U 0308	neu	Patscher Alm
Halbprofil Innsbruck		
U 0309	I 01	Andreas Hofer Weg
U 0310	neu	Sillschlucht Vill
U 0311	neu	BBA bei Ahrntal
U 0312	T 1706	Kreith

Der Meßpunkt U 0305 (Grillhof) liegt am südlichen Mittelgebirgsplateau oberhalb von Innsbruck und ist mittel bis schwach gegenüber den Emissionen aus Innsbruck exponiert. Dies gilt auch für den Punkt U 0310 (Sillschlucht Vill). Der Punkt U 0306 (Kurhaus Igls) ist eher schwach beeinflusst von Innsbruck-Igls, ebenso der Punkt U 0307 (Heiligwasser). Weitgehend unbeeinflusst durch Innsbruck selbst sind die Punkte U 0311 (BBA-Ahrntal), U 0312 (Kreith) und U 0308 (Patscher Alm). Unmittelbar neben dem Punkt U 0311 führt eine Steigungsstrecke der Brennerautobahn A13 vorbei. Außerdem liegt eine große Mülldeponie mit Abfackelung der Deponiegase in unmittelbarer Nähe (PACK, pers. Mitteilung).

Tab. 14: Standortparameter der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Innsbruck; erhoben von der Landesforstdirektion Tirol. *...keine Angaben vorhanden.

Probepunkt	Seehöhe	Baumalter	Exposition
U 0301	1.500 m	90 Jahre	Süd
U 0302	1.000 m	80 Jahre	Süd
U 0303	870 m	60 Jahre	Süd
U 0304	650 m	80 Jahre	Nord
U 0305	830 m	80 Jahre	Nordost/Nordwest
U 0306	900 m	80 Jahre	Nordwest
U 0307	1.175 m	160 Jahre	Nordwest
U 0308	1.700 m	*	West
U 0309	710 m	90 Jahre	Nord, eben
U 0310	*	*	*
U 0311	*	*	*
U 0312	880 m	80 Jahre	Südwest



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Innsbruck.

4.1.6.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Für die Bestimmung der Wachsqualität von Fichtennadeln sowie der Nadelgehalte im Raum Innsbruck wurden acht Probepunkte entlang eines Nord-Süd-Höhenprofils (Nordkette - Patscherkofel) und weitere vier Probepunkte entlang eines Halbprofils Richtung Süden ausgewählt. Acht dieser Standorte sind Teil des Österreichischen Bioindikatornetzes. Vier Standorte wurden neu beprobt. Die Organisation bzw. Durchführung der Probenahme von Fichtennadeln erfolgte durch Mitarbeiter der Tiroler Landesforstdirektion.

Die mittels Rasterelektronenmikroskop bestimmte Wachsqualität von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Innsbruck lag im Bereich von MW 1,8 bis MW 2,5 (Tab. 15). Ab einem Mittelwert von 2,0 kann eine beginnende Beeinflussung der Wachsstrukturen angenommen werden. Die untersuchten Fichtennadeln aus dem Raum Innsbruck wiesen eine signifikant schlechtere Wachsqualität auf als vergleichsweise die Hintergrundstandorte (vgl. Kapitel 4.3). An keinem der untersuchten Probepunkte wurden nennenswerte Mengen von Staubpartikeln auf den Nadeloberflächen, wie dies beispielsweise an industriell beeinflussten Standorten häufig zu beobachten ist (TRIMBACHER, 1995B), detektiert.

Tab. 15: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Innsbruck.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
U - 0301	2,0 ± 0,74	0	0
U - 0302	2,1 ± 0,64	0	0
U - 0303	1,9 ± 0,86	0	10
U - 0304	2,0 ± 0,61	0	0
U - 0305	2,4 ± 1,00	0	0
U - 0306	1,9 ± 0,54	0	1
U - 0307	2,1 ± 0,58	0	1
U - 0308	2,2 ± 0,68	0	1
U - 0309	2,3 ± 0,50	0	32
U - 0310	2,5 ± 0,91	0	4
U - 0311	2,2 ± 0,68	0	0
U - 0312	1,8 ± 0,45	0	0

Die beste Wachsqualität wurde für Nadeln des in 880 m Seehöhe bei Kreith befindlichen Probepunktes U 0312 des Halbprofils Innsbruck ermittelt. Weiters waren an den Nadeloberflächen weder staubförmige Fremdpartikel noch Epibionten zu verzeichnen. Die Wachsqualität an diesem Probepunkt entspricht somit derjenigen unbeeinflusster Hintergrundstandorte ohne lokalen Schadstoffquellen. Demgegenüber wurde jedoch für die Nadeln eine geringfügige Grenzwertüberschreitung bei Chlor (0,12 %) und Schwefel (0,12 %) nachgewiesen (Tab. 16). Aus der Sicht der Immissionsüberwachung der Landesforstdirektion Tirol läßt sich dieser Punkt als weitgehend von Immissionen des Stadtgebietes Innsbruck unbeeinflusst einstufen.

Die stärksten Wachsdegradationen des Untersuchungsgebietes wiesen die Nadeln des Probepunktes U 0310 auf (MW 2,5). Dieser Wert entspricht einer leichten Beeinträchtigung der Nadelwachse. Eine Überblicksaufnahme eines charakteristischen Nadelbereichs ist in Abbildung 26 zu sehen.

An den Nadeloberflächen des Probepunktes U-0311 in unmittelbarer Nähe zur Inntalautobahn und zu einer Mülldeponie konnten vereinzelt Gipskristalle beobachtet werden (Abb. 27). Feinstaub, der durch den Abrieb der Fahrbahn, der Bremsbeläge sowie der Reifen entstehen kann und der auf den Nadeln einiger Probepunkte des Autobahnprofils Radfeld teils massiv zu finden war (siehe Kapitel 4.1.10), wurde nicht verzeichnet.

Tab. 16: Cl-, S- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Innsbruck. GW für S im 1. Njg: 0,11%, GW für Cl im 1.Njg.: 0,1%.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
U-0301	0,15	0,11	1,3	9.554	7.545	1.403	1.562
U-0302	0,29	0,12	1,3	7.290	6.281	1.318	1.679
U-0303	0,14	0,14	1,4	5.096	4.936	1.389	2.051
U-0304	0,15	0,14	1,4	4.989	6.367	1.197	1.547
U-0305	0,13	0,15	1,4	5.717	8.002	1.296	1.477
U-0306	0,14	0,13	1,5	5.743	6.614	1.040	1.518
U-0307	0,16	0,13	1,4	4.074	9.200	1.789	2.442
U-0308	0,12	0,11	1,2	4.029	9.307	1.322	2.078
U-0309	0,15	0,16	1,4	6.034	4.973	1.930	1.304
U-0310	0,10	0,13	1,4	6.808	5.270	1.516	1.697
U-0311	0,10	0,13	1,3	4.781	7.759	1.387	1.206
U-0312	0,12	0,12	1,4	3.786	8.006	1.644	1.538

Die chemischen Nadelanalysen ergaben für Schwefel einen Wertebereich von 0,11 % bis 0,16 %. Die ermittelten Schwefelgehalte sind signifikant höher als im Hintergrund. Ebenso sind die Gehalte an den Nährelementen Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium gegenüber den Hintergrundstandorten, bedingt durch einen höheren Eintrag dieser Elemente in Ballungsräumen, erhöht (vgl. Kapitel 4.3). Es wurden auch erhöhte Kupfergehalte in den Nadeln gefunden.

Die Chlorwerte liegen zwischen 0,10 % und 0,29 % mit einem Median von 0,14 %. Der erhöhte Chlorwert (0,29 %) wurde in den Nadeln des in 1.000 m Seehöhe bei der Nordkettenbahn gelegenen Standortes U-0302 gemessen. Dieser Probepunkt liegt in Südexposition gegenüber dem Stadtgebiet und infolge der Thermik können hier Immissionsbelastungen, wenn auch in geringem Ausmaß auftreten. Dieser hohe Chloridgehalt der Nadeln ist jedoch dadurch nicht erklärbar. Es könnten auch Kontaminationen der Probe sein. Der nahe der Inntalautobahn befindliche Probepunkt U-0311 wies nur geringe Chlorwerte in den Fichtennadeln auf.

Tab. 17: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Innsbruck.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
U-0301	3,7	56	64	33	11
U-0302	3,9	57	1.211	37	73
U-0303	4,6	34	32	45	14
U-0304	4,4	34	265	70	27
U-0305	4,1	40	925	42	38
U-0306	3,8	30	669	41	38
U-0307	3,3	59	505	35	79
U-0308	4,7	59	514	37	46
U-0309	4,1	41	265	53	28
U-0310	3,8	19	42	49	14
U-0311	4,3	43	320	81	24
U-0312	4,7	31	74	37	< 11

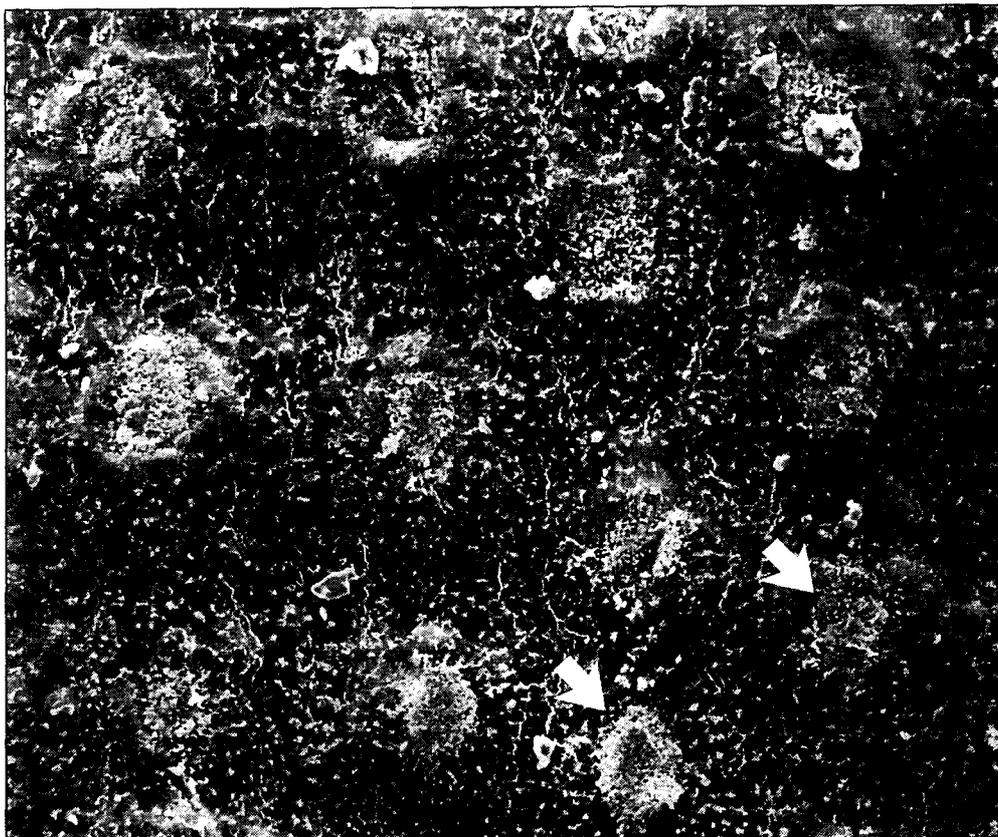


Abb. 26: Innsbruck/U-0310; REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen (Pfeile). Vergrößerung: 300fach.

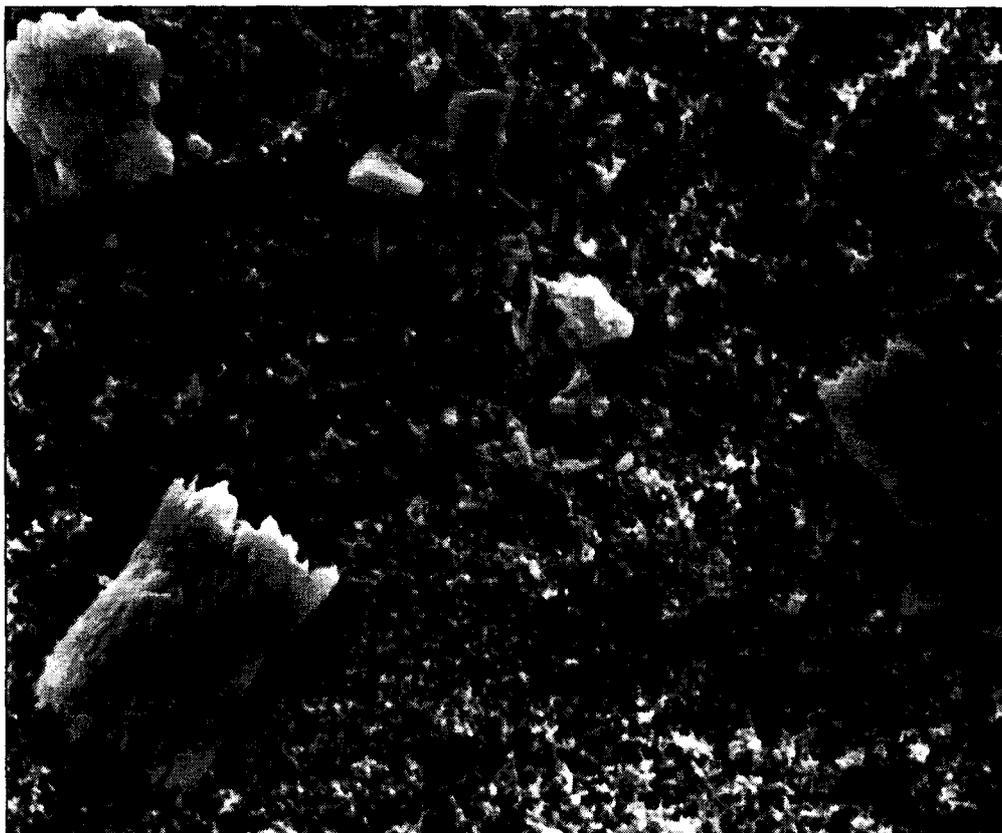


Abb. 27: Innsbruck/U-0311, REM-Aufnahme einer Fichtennadel mit anhaftenden Gipskristallen. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.7 Leoben/Donawitz

4.1.7.1 Lage und Klima

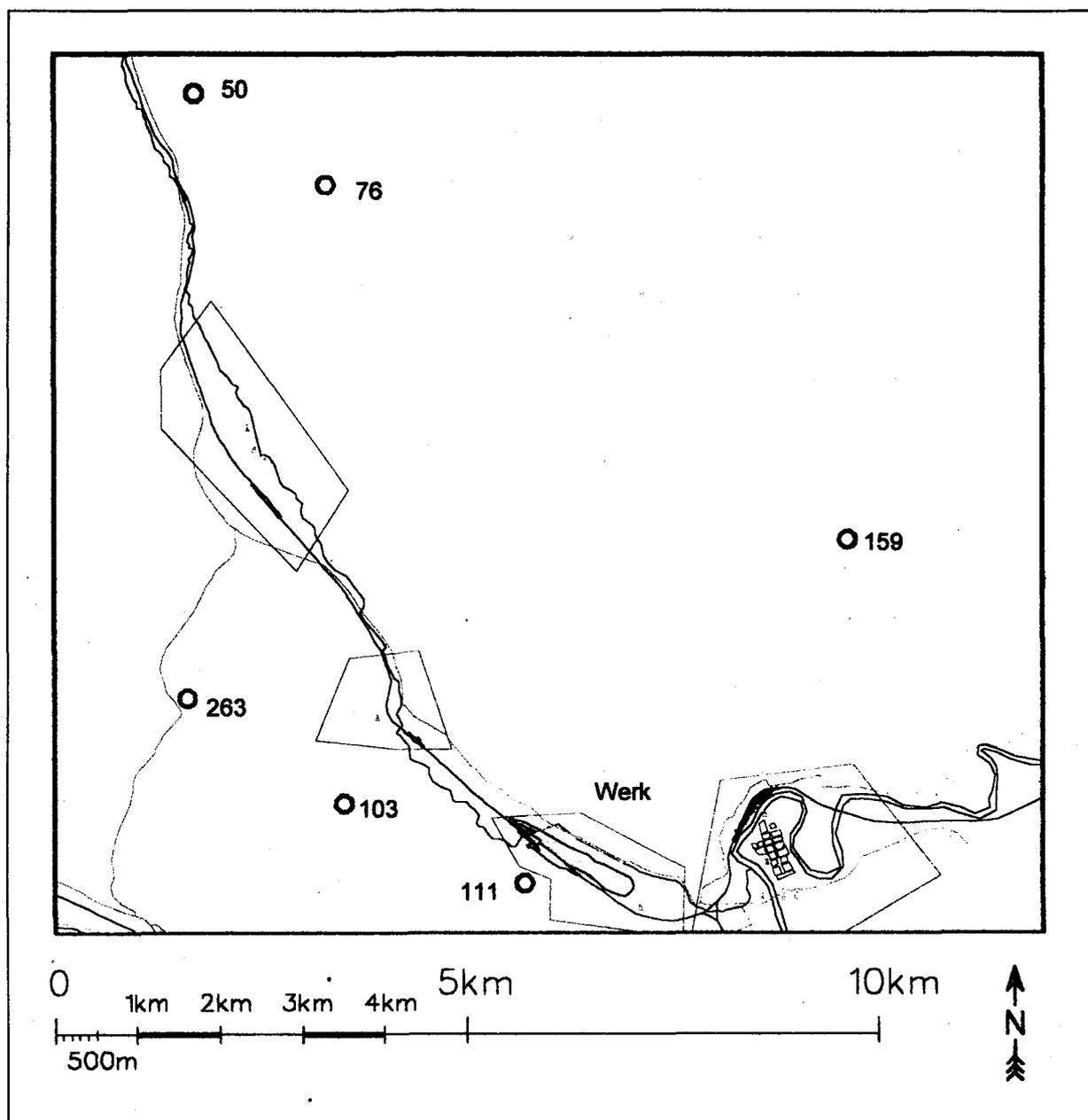
Leoben/Donawitz liegt an der Einmündung des Vordernbergbaches in die Mur. Auf einer schmal ausgebildeten Talterrasse des Vordernbergbaches befinden sich die Werksanlagen der Hütte Vöest-Alpine Donawitz. Nach Westen hin wird der Raum von der Schillerhöhe (924 m) abgeschirmt. Das Nordwest-Südost orientierte Vordernbergtal ist durch häufiges Auftreten von tagesperiodischen Windsystemen charakterisiert. In der Nacht und in den Morgenstunden bilden sich Talauswinde aus Nordwest. Im weiteren Tagesverlauf entstehen Taleinwinde aus südöstlichen Richtungen. Generell ist das Gebiet durch austauscharme Wetterlagen mit geringen Windgeschwindigkeiten gekennzeichnet. Besonders in den Herbst- und Wintermonaten kommt es im Raum Donawitz bedingt durch die inneralpine Tallage und die abschirmende Wirkung des Alpenhauptkammes gegenüber West- und Nordwestströmungen zu oft beständigen Inversionswetterlagen. Weiters werden in diesem Raum im Jahresdurchschnitt etwa 150 bis 160 Tage mit Nebel oder Hochnebel beobachtet. Aus immissionsklimatologischer Sicht läßt sich daher der Standort der Hütte Donawitz als ungünstig bewerten (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

4.1.7.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In der traditionsreichen Hütte Voest-Alpine Donawitz stehen folgende Produktionsanlagen in Betrieb: Hochofenbetrieb (Sinteranlage, Hochofen), Stahlwerk, (Schmelzbetrieb, Gießereibetrieb), Walzwerke (Grobwalzwerk, Feinwalzwerk).

Die Luftgüte im Raum Donawitz wird vor allem durch die Emissionen der Sinteranlage beeinträchtigt. Die wesentlichsten Luftschadstoffe sind SO_2 , Staub, NO_x und Kohlenwasserstoffe. Weiters sind auch Belastungen durch Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Fluoride und Chloride, Schwermetalle sowie Dioxine und Furane zu erwarten. Vor allem im Forstbereich sind Schäden aufgetreten. Bezüglich der Waldschadenssituation ist der Raum Donawitz der am längsten und intensivsten untersuchte Raum Österreichs. Die Nadeln des Waldgebietes um Leoben/Donawitz werden im Rahmen des Forstlichen Bioindikatornetzes vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung auf Schwefel und Fluor untersucht. Die Ergebnisse zeigen, daß der Raum Leoben/Donawitz seit Jahren das am stärksten mit Schwefel belastete Gebiet in Österreich darstellt. Weiters wurden durch die Nadelanalysen erhebliche Fluorbelastungen festgestellt. Die Immissionsgrenzwerte der 2. ForstVO für Fluor wurden in diesem Gebiet bis um das 20fache überschritten (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

Neuere, stichprobenartige Untersuchungen der Dioxinimmissionssituation im Raum Leoben/Donawitz des Umweltbundesamtes ergaben erhöhte PCDD/F-Konzentrationen im Raum Donawitz gegenüber dem Raum Leoben (THANNER & MOCHE, 1996). Somit liegt die Dioxinbelastung der Luft in diesem Gebiet deutlich über jenen Werten, wie sie bei früheren Messungen für städtische Ballungsräume ermittelt wurden.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

Tab. 18: Standortparameter der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Leoben-Donawitz; erhoben von der Landesforstinspektion Steiermark.

Probepunkt	Seehöhe	Baumalter	Exposition
50	1.000 m	82 Jahre	Süd
76	1.180 m	82 Jahre	Ost
103	800 m	113 Jahre	Nord
111	700 m	78 Jahre	Nord/Ost
159	1.100 m	90 Jahre	Süd
263	700 m	73 Jahre	Eben

4.1.7.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität der Fichtennadeln an den untersuchten Probepunkten im Raum Leoben-Donawitz lag im Bereich von 2,1 bis 2,5. Diese Werte entsprechen leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war relativ gering und reichte von 0 % bis 8 %. Mit 0 % bis 10 % war auch die Belegung mit Epibionten gering.

Auf den Fichtennadeln des südwestlich nahe der Sinteranlage gelegenen Probepunktes 111 konnten im Rasterelektronenmikroskop keine Staubpartikel und nur sehr wenige Epibionten (Pilzhyphen, Sporen, Algen, ..) detektiert werden. Die mittlere Wachsqualität dieses Punktes lag bei 2,2, was einer leichten Beeinträchtigung der Epicuticularwachse entspricht. Die Nadelanalysen ergaben mit 0,19 % Schwefel im 1. Nadeljahrgang die höchsten Werte des Untersuchungsgebietes.

Tab. 19: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
50	2,2 ± 0,56	6	8
76	2,4 ± 0,56	1	1
159	2,1 ± 0,76	4	4
103	2,1 ± 0,46	8	10
111	2,2 ± 0,52	0	3
263	2,5 ± 0,23	0	0

Der westlich der Voest-Alpine befindliche Probepunkt 103 wies ebenfalls leicht beeinträchtigte Wachsstrukturen auf (2,1 ± 0,46), doch waren hier die Nadeloberflächen größtenteils mit eisenhaltigem Feinstaub und zahlreichen Gipskristallen bedeckt (Abb. 28 bis 32). Die Nadelanalysen ergaben für diesen Standort hohe Eisenwerte (Tab. 21) sowie hohe Schwefelgehalte (Tab. 20).

Der Probepunkt 263 nordwestlich des Werks wies die stärksten Wachsdegradationen auf. Staubbörmige Fremdpartikel bzw. Epibionten konnten nicht nachgewiesen werden. Abbildung 33 stellt eine typische Spaltöffnung dieses Punktes dar.

An den Nadeln der beiden nördlich an den Prallhängen gelegenen Probepunkte 50 und 76 konnten sowohl Staub als auch wiederum Gipskristalle nachgewiesen werden. Besonders an Nadeloberflächen des Punktes 76 wurden sehr häufig Gipsnadeln beobachtet (Abb. 34 bis 36). Die Nadeln dieses Standortes waren ebenso durch eine leicht beeinträchtigte Wachsqualität gekennzeichnet.

Tab. 20: Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz. GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
50	0,13	1,3	8.634	6.574	768	1.387
76	0,12	1,0	6.895	9.430	1.742	2.006
159	0,15	1,3	5.198	6.131	1.308	2.379
103	0,16	1,3	5.098	6.844	1.041	1.703
111	0,19	1,3	5.524	9.167	855	1.549
263	0,18	1,3	7.290	7.140	1.376	1.677

Vergleicht man die Wachsqualität emittentennaher Standorte mit der von Hintergrundstandorten, so zeigt sich auch für das Untersuchungsgebiet Leoben eine gegenüber dem Hintergrund signifikant schlechtere Wachsqualität. Die Untersuchungen der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln aus dem Gebiet Leoben/Donawitz ergaben signifikant höhere Schwefelgehalte der Nadeln im Vergleich zu den Hintergrundstandorten (vgl. Kapitel 4.3). Auch die Gehalte an den Nährelementen Stickstoff, Phosphor und Kalium waren gegenüber dem Hintergrund erhöht. Leoben war der einzige emittentennahe Standort des Untersuchungsprogrammes, an dem signifikant erhöhte Eisengehalte der Nadeln gemessen wurden.

Tab. 21: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
50	3,2	43	363	76	12
76	2,4	65	950	92	82
159	2,8	60	1.608	109	55
103	3,7	72	922	667	84
111	3,1	75	556	619	49
263	3,1	82	1.086	170	57



Abb. 28: Leoben-Donawitz/103, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftenden Staubpartikeln im Überblick. Vergrößerung: 350fach.

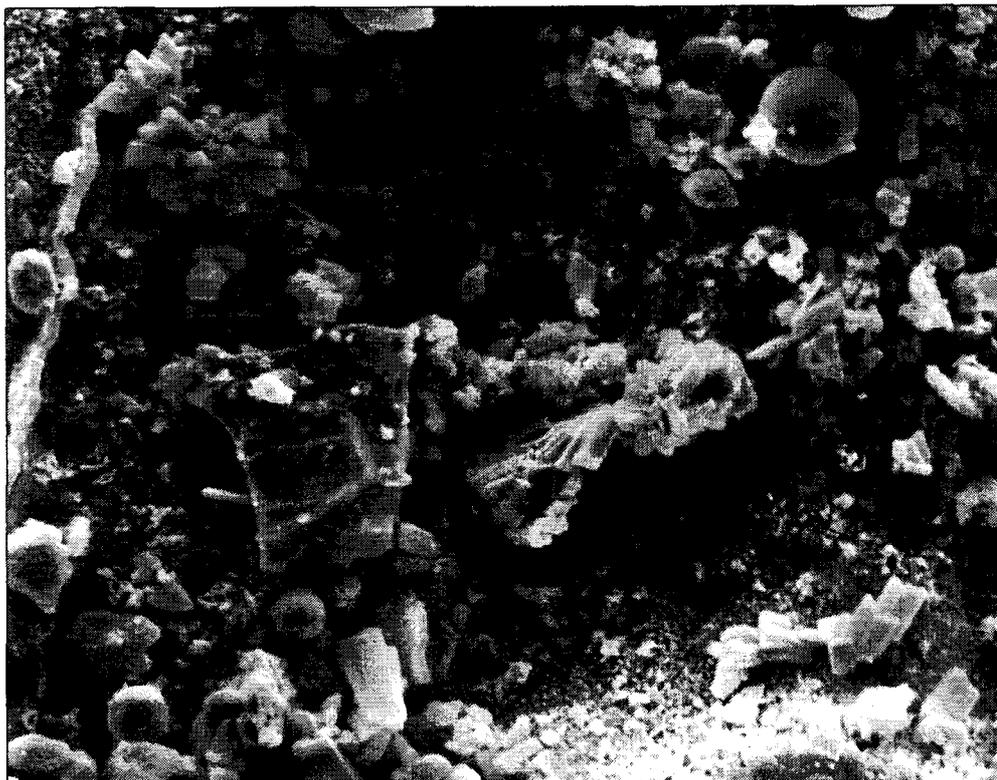


Abb. 29: Leoben-Donawitz/103, REM-Aufnahme eines Nadelbereichs mit massiver Partikelbelegung. Vergrößerung: 1500fach.



Abb. 30: Leoben-Donawitz/103, REM-Aufnahme einer Fichtennadel mit Gipskristallen. Vergrößerung: 750fach.

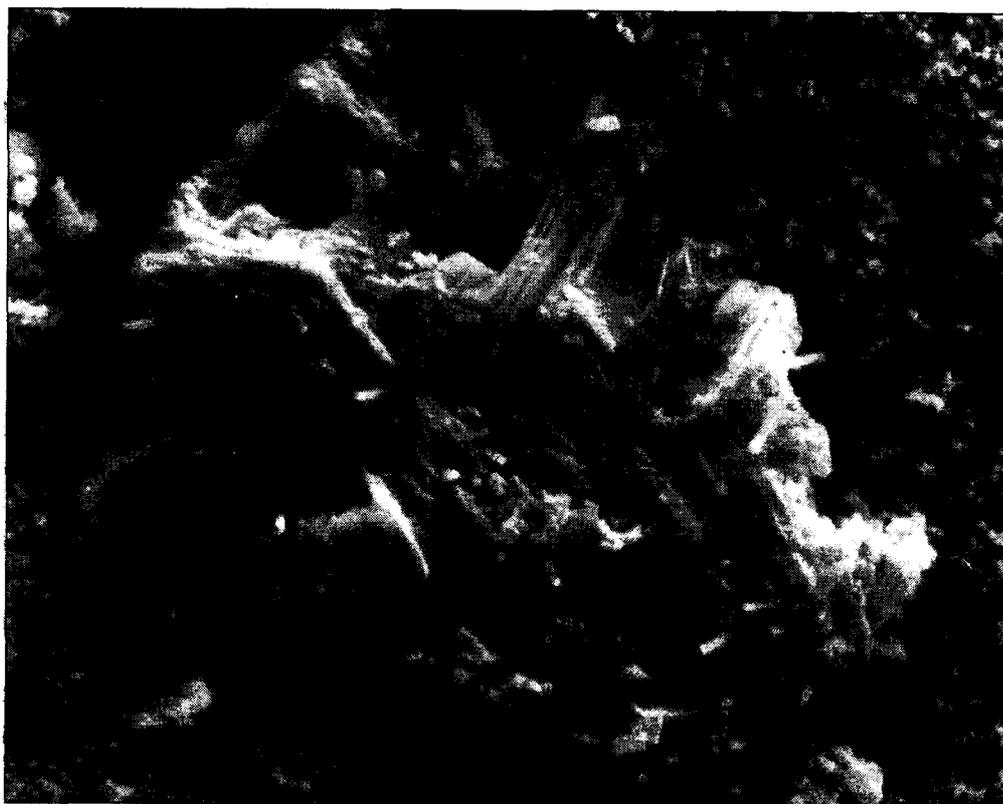


Abb. 31: Leoben-Donawitz/103, REM-Aufnahme eines eisenhaltigen Partikels auf der Nadel. Vergrößerung: 3000fach.

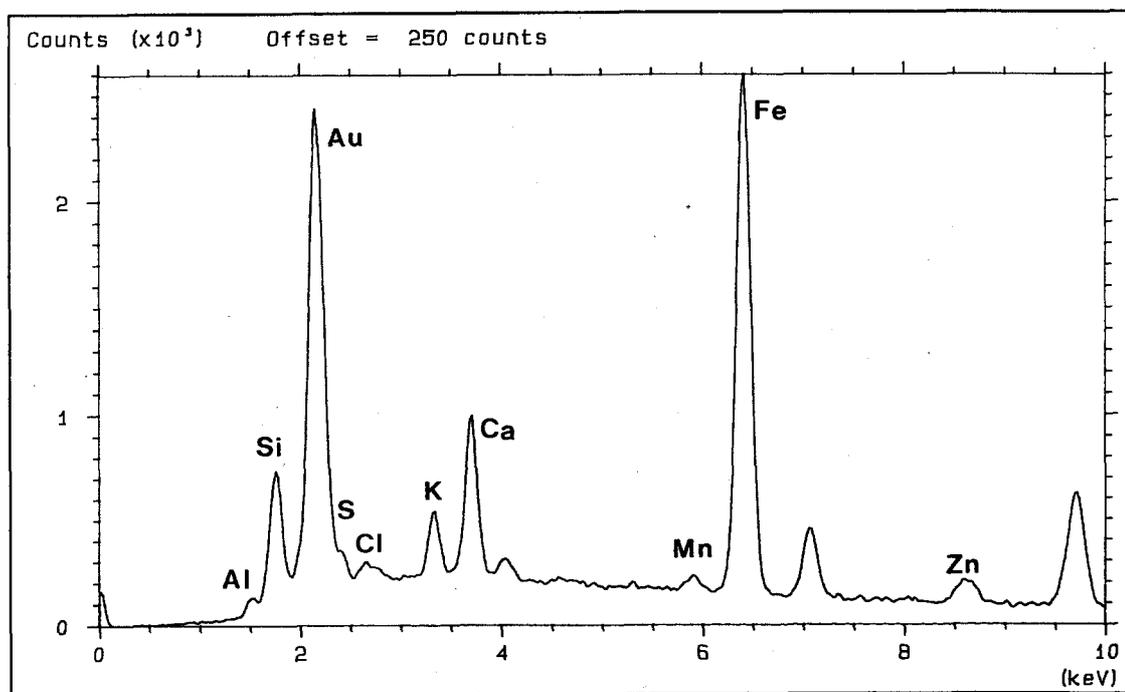


Abb. 32: Leoben-Donawitz, EDX-Spektrum zu Abb. 31.

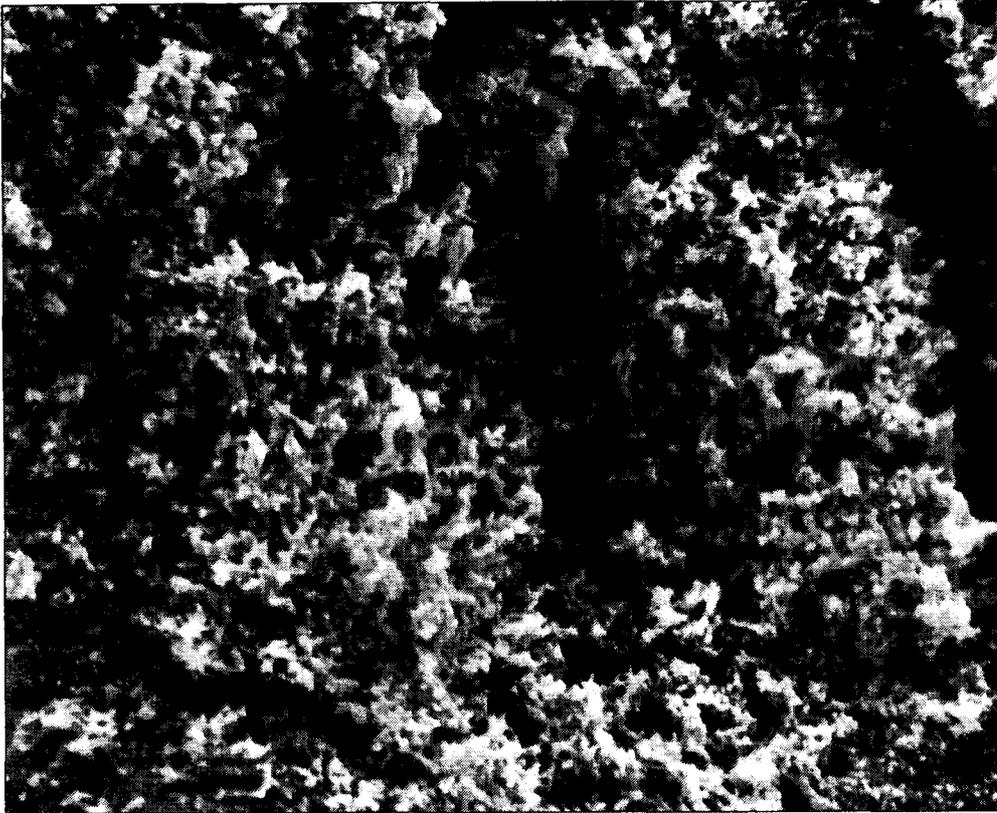


Abb. 33: Leoben-Donawitz/263, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit beginnenden Wachsverschmelzungen. Vergrößerung: 3000fach.

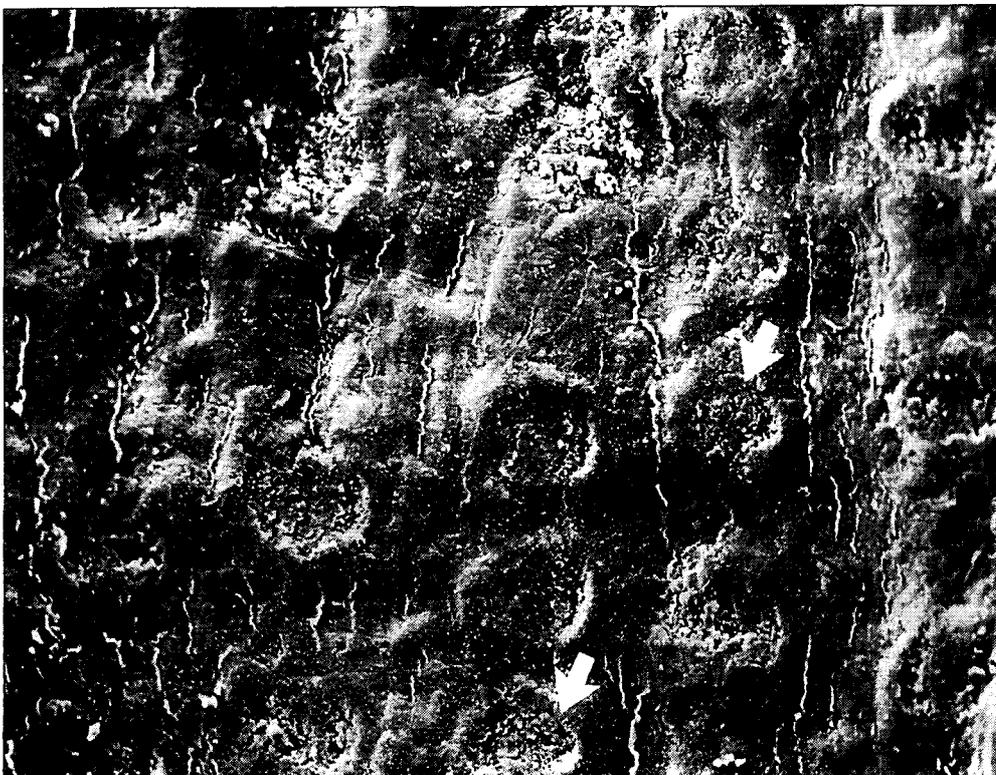


Abb. 34: Leoben-Donawitz/76, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit zum Teil verschmolzenem Stomatawachs (Pfeile). Vergrößerung: 350fach.



Abb. 35: Leoben-Donawitz/76, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen anhaftenden Gipskristallen. Vergrößerung: 1150fach.



Abb. 36: Leoben-Donawitz/76, REM-Aufnahme eines Gipskristalles im Detail. Vergrößerung: 4500fach.

4.1.8 Linz

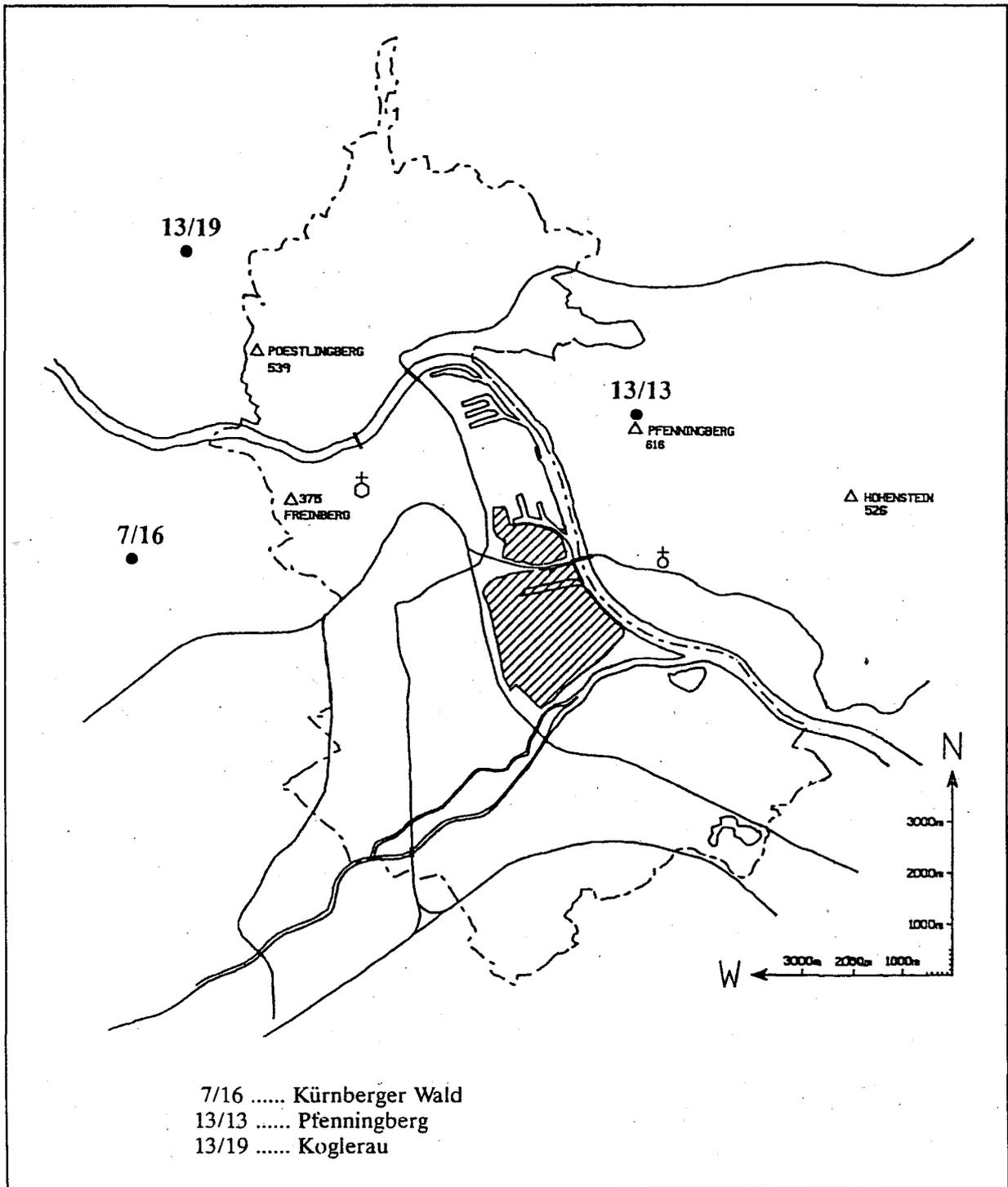
4.1.8.1 Lage und Klima

Das Linzer Becken, auf einer Höhe von ca. 260 m gelegen, wird im Nordwesten durch die südlich der Donau gelegenen Ausläufer des Böhmisches Massives, den Kürnberger Wald eingeschlossen. Im Norden befinden sich der Pöstlingberg, Lichtenberg, Magdalenenberg und Hagerberg und im Osten der Pfenninberg. Im Süden bis Südwesten des Stadtgebietes liegt die Traun-Enns-Platte, wo sich in erster Linie landwirtschaftliche Nutzflächen befinden.

Linz liegt in der Westwindzone. Daher sind Winde aus westlichen Richtungen, gefolgt von Südwest-, Ost- und Südostwinden vorherrschend. Weiters zählt der Linzer Raum zu den windschwächsten Gebieten und damit gekoppelt zu den Gebieten mit größter Häufigkeit zwei- bis mehrtägiger Nebel des oberösterreichischen Zentralraums. Bedingt durch die Halbbeckengebietslage und die klimatischen Gegebenheiten kommt es besonders in den Herbst- und Wintermonaten häufig zu austauscharmen Wetterlagen, wodurch sich Luftschadstoffe anreichern können (UMWELTBUNDESAMT, 1992; WEISS ET AL., 1992).

4.1.8.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Linz stellt mit rund 200.000 Einwohnern und den verstaatlichten Großbetrieben sowie zahlreichen Klein- und Mittelbetrieben einen der größten städtischen und industriellen Ballungsräume Österreichs dar. Die Immissionssituation ist daher auch durch verschiedene urbane (Kfz-Verkehr) und industrielle Quellen gekennzeichnet. Durch die Umstellung vieler Haushalte auf Fernwärme konnten die Hausbrandemissionen gesenkt werden. Zu den industriellen Emissionsquellen zählen vor allem die beiden Großbetriebe VOEST Alpine Stahl Linz Ges.m.b.H. und die mittlerweile in mehrere Betriebe aufgeteilte vormalige Chemie Holding AG. Produktionsbedingt sind Belastungen der Luft durch SO₂, Staub, NO_x, Ammoniak und Fluorwasserstoff zu erwarten. Durch Maßnahmen der Linzer Industrie in den Jahren 1990 bis 1995 konnte eine Reduktion der genannten Schadstoffe erzielt werden.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Linz.

4.1.8.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Untersuchungsgebiet Linz wurden Fichtennadeln von jeweils einem Probepunkt aus dem Kürnberger Wald westlich von Linz, aus der Koglerau nordwestlich der Stadt sowie vom Pfenningberg, einem Prallhang östlich des Stadtgebietes und der Industrie rasterelektronenmikroskopisch untersucht.

Die Fichtennadeln aus dem Kürnberger Wald (1) wiesen eine Wachsqualität von 3,4 auf. Dieser Wert entspricht mittelstark beeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Staubebelegung lag bei 29 %, die Belegung der Nadeloberflächen mit biologischem Material bei 17 %. Eine charakteristischen Spaltöffnung ist in **Abbildung 37** dargestellt.

Am Standort Koglerau (2), der durch seine Lage von den Emissionen aus dem Ballungsraum Linz kaum betroffen ist, wiesen die Fichtennadeln eine Wachsqualität von 2,4 (leichte Beeinträchtigung) auf. An 4 % der untersuchten Spaltöffnungen wurden staubförmige Fremdpartikel detektiert. Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag bei 24 %.

Für die Nadeln des Standortes Pfenningberg (3) ergaben die **rasterelektronenmikroskopischen** Analysen eine Wachsqualität von 3,6 (mittelstarke Beeinträchtigung). Staubpartikel wurden nicht verzeichnet. Die Nadeln waren jedoch massiv (63 %) mit Epibionten, vor allem Pilzhyphe bedeckt (Abb. 38).

Tab. 22: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Linz.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
1	3,4 ± 1,11	29	17
2	2,4 ± 0,62	4	24
3	3,6 ± 0,87	0	63

Ein Vergleich der Wachsqualität einjähriger Fichtennadeln von 1995 mit Daten der Jahre 1989 und 1994 ergab für den Standort Pfenningberg eine Verbesserung von 4,0 (stark beeinträchtigt) zu 3,6 (mittelstark beeinträchtigt) sowie eine deutliche Abnahme der Staubebelegung der untersuchten Spaltöffnungen (TRIMBACHER, 1996b). Für die beiden Standorte Koglerau und Kürnberger Wald war Nadelmaterial aus 1994 wegen massiven Befalls dieser Waldbestände durch die Fichtenblattwespe nicht verfügbar. Die Wachsstrukturen der untersuchten Nadeln aus dem Kürnberger Wald entsprachen 1989 einer Wachsqualität von 3,0, für Nadelwachse aus der Koglerau wurde 1989 ein Wert von 2,1 ermittelt.

Die signifikant schlechtere Wachsqualität an den Probepunkten im Raum Linz war gegenüber den untersuchten Hintergrundstandorten statistisch absicherbar (vgl. Kapitel 4.3). Auch die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibionten war im Vergleich zum Hintergrund signifikant erhöht. Das bedeutet jedoch nicht zwangsläufig einen kausalen Zusammenhang zwischen schlechter Wachsqualität und hoher Epibiontenbelegung. In Waldbeständen mit relativ hoher Luftfeuchtigkeit kann auch eine dichtere Besiedelung der Nadeloberflächen mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen auftreten. Es ist aber auch bekannt, daß Immissionseinflüsse generell die Vitalität von Bäumen schwächen, wodurch eine verringerte Resistenz gegenüber Parasitenbefall die Folge sein kann.

Ein Vergleich der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen war aufgrund fehlenden Datenmaterials nicht möglich.



Abb. 37: Linz/Kürnberger Wald, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit starker Wachsdegradation und Staubbelegung. Vergrößerung: 3000fach.

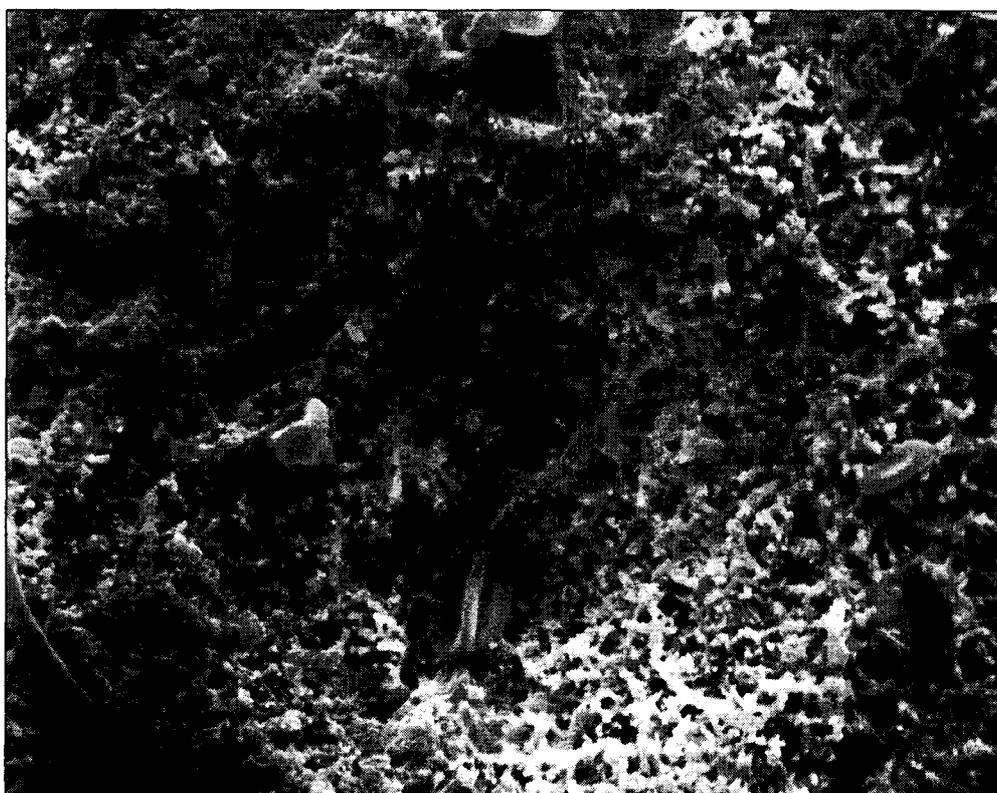
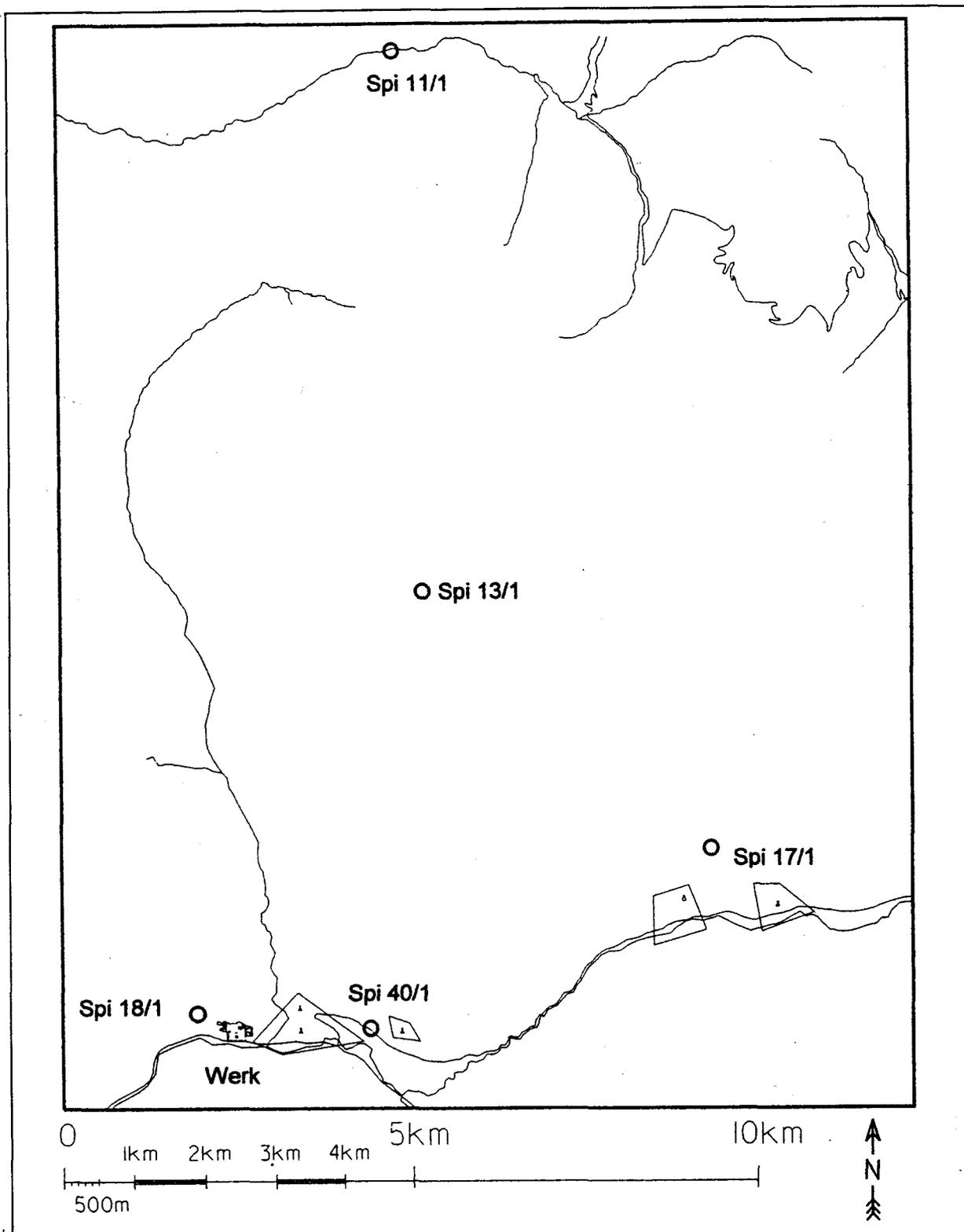


Abb. 38: Linz/Pfenningberg, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit bereits beeinträchtigten Wachsstrukturen und beginnendem Pilzbefall. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.9 Radenthein

4.1.9.1 Lage und Klima



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Radenthein.

Radenthein, 26 km nordwestlich von Villach gelegen, befindet sich im Einzugsgebiet der Unteren Drau am Südrand der Nockberge. Durch die geographischen Gegebenheiten ist das regionale Klima direkt von der Geländestruktur abhängig. Radenthein liegt im Einflußbereich des Klagenfurter Beckens und wird auch durch die Hang- und Talwindssysteme der Nockberge sowie dem Windregime des Unteren Drautales beeinflusst. Durch das Zusammenwirken der Windsysteme kommt es zu leichten SW-Winden am Vormittag, Umschlag zu etwas kräftigerem NE-Wind am nachmittag und Talauswinden mit abnehmender Geschwindigkeit in den Nachtstunden. Die Temperaturstruktur ist geprägt durch nächtliche lokale gebildete Bodeninversionen und durch den sowohl vom Klagenfurter Becken als auch dem Unteren Drautal hereinreichenden Kaltluftsee, der besonders in den Wintermonaten sehr beständig sein kann. Die Obergrenze des Kaltluftsees kann für das gesamte Klagenfurter Becken mit einer Höhe zwischen 750 und 800 m angegeben werden. In Hanglagen können aufgrund von lokalen Winden Auflockerungen entstehen (KOFLER ET AL., 1984).

4.1.9.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Firma Veitsch Radex AG in Radenthein stellt feuerfeste Erzeugnisse her. Die jährliche Produktion beläuft sich auf 100.000 t feuerfeste Steine, 15.000 t feuerfeste Massen und 35.000 t kaustisch gebrannten Magnesit. Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von SO₂, NO_x, Staub (Magnesium) und CO₂. Etwa 60 % der Gesamtemissionen von Kohlendioxid werden durch den Brand des Magnesits, etwa 40 % durch die verwendeten Brennstoffe verursacht. Durch die Umstellung der Befehungseinrichtungen für die Drehrohröfen, Tunnelöfen, Temperanlagen und Kesselhaus von Erdöl auf Erdgas konnten die SO_x Emissionen deutlich reduziert werden. Weiters wurde eine Entschwefelungsanlage installiert, um auch die prozeßbedingten SO₂-Emissionen zu reduzieren. Lag der Emissionsausstoß von SO₂ im Jahr 1985 noch bei 1.780 t, so wurden 1995 nur mehr 134 t emittiert (Mitteilung. Veitsch-Radex, Werk Radenthein). Die Stickoxidemissionen betragen 1985 770 t, 1995 106 t. Die Staubemissionen wurden von 490 t im Jahr 1985 auf 27,5 t im Jahr 1995 reduziert.

4.1.9.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität von Fichtennadeln an den untersuchten Probepunkten im Raum Radenthein lag im Bereich von 2,1 (leicht beeinträchtigt) bis 3,4 (mittelstark beeinträchtigt). An zwei der insgesamt fünf Punkte wurden staubförmige Fremdpartikel auf den untersuchten Spaltöffnungen gefunden. Die Belegung mit Epibionten reichte von 3 % bis zu 41 %.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen der Nadelwachse ergaben, daß die mittlere Wachsqualität des Hintergrundstandortes Spi 11/1 nördlich des Werkes bei 2,3 lag. Staubförmige Fremdpartikel wurden nicht gefunden. Die Belegung der Oberflächen mit Epibionten lag bei 13 %.

Die Nadelwachse der beiden werksnahen Probepunkte Spi 18/1 (Abb. 39) und Spi 40/1 (Abb. 40) wiesen die am wenigsten beeinträchtigten Wachsstrukturen des Untersuchungsgebietes auf. Auf den Nadeloberflächen des Punktes Spi 40/1 wurden vereinzelt Gipskristalle detektiert.

Mit einem Wert von 3,4 wies der im Norden befindliche Probepunkt Spi 13/1 die stärksten Wachsdegradationen des Untersuchungsgebietes Radenthein auf. Dies entspricht mittelstark beeinträchtigten Wachsstrukturen. 41 % der untersuchten Spaltöffnungen waren massiv mit Pilzhyphen und Sporen überzogen (Abb. 41). Manche Nadelbereiche wiesen zusätzlich einen dichten Staubbelaag auf, der als metallische Komponente stets Eisen enthielt. In Abbildung 42 ist eine Spaltöffnung mit einer derart dichten Partikelbelegung dargestellt. Aufgrund dieser massiven Belegung der Spaltöffnungsbereiche mit Staub und Pilzhyphen

konnten die Wachsstrukturen von insgesamt 4 % der untersuchten Stomata nicht klassifiziert werden und wurden mit Sonderklasse 6 bewertet. Die naß-chemischen Analysen der Fichtennadeln dieses Probestandes ergaben stark erhöhte Calcium-Werte sowie eine Grenzwertüberschreitung bei Schwefel (Tab. 24). Die hohen Calciumkonzentrationen sind offensichtlich zu einem Großteil auf Staubauflagerungen auf den Nadeln zurückzuführen.

Tab. 23: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Radenthein.

Probestand	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
Spi 11/1	2,3 ± 0,64	0	13
Spi 13/1	3,4 ± 0,96	3	41
Spi 17/1	2,7 ± 0,77	0	3
Spi 18/1	2,2 ± 0,78	0	14
Spi 40/1	2,1 ± 0,69	1	4

Für den Punkt Spi 17/1 nordöstlich des Werks wurde eine Wachsqualität von 2,7 ermittelt. Dieser Wert entspricht leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen.

Tab. 24: Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Radenthein. GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Spi 11/1	0,13	1,5	5.315	6.393	2.220	2.444
Spi 13/1	0,14	1,2	12.141	8.051	1.435	1.724
Spi 17/1	0,13	1,2	9.010	7.891	1.651	1.629
Spi 18/1	0,17	1,1	3.616	8.734	1.921	2.232
Spi 40/1	0,14	1,1	4.441	7.689	2.332	1.406

Tab. 25: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Radenthein.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
Spi 11/1	4,4	81	1.654	41	52
Spi 13/1	3,6	50	846	60	105
Spi 17/1	4,7	55	319	38	37
Spi 18/1	4,3	44	64	66	41
Spi 40/1	4,4	39	21	52	25

Die Wachsqualität im Untersuchungsgebiet Radenthein war, wie auch bei anderen emittentennahen Standorten, signifikant schlechter als vergleichsweise an den Hintergrundstandorten (vgl. Kapitel 4.3).

Die Untersuchungen der Nährelement- und Schadstoffkonzentrationen in Fichtennadeln zeigten signifikant erhöhte Schwefelgehalte im Vergleich zu den Hintergrundstandorten. Weiters waren die Gehalte der Elemente Phosphor, Calcium, Kalium, Magnesium, Kupfer und Zink gegenüber dem Hintergrund erhöht (vgl. Kapitel 4.3)



Abb. 39: Radenthein/Spi 18/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit charakteristischen, weitgehend unbeeinträchtigten Spaltöffnungen. Vergrößerung: 750fach.

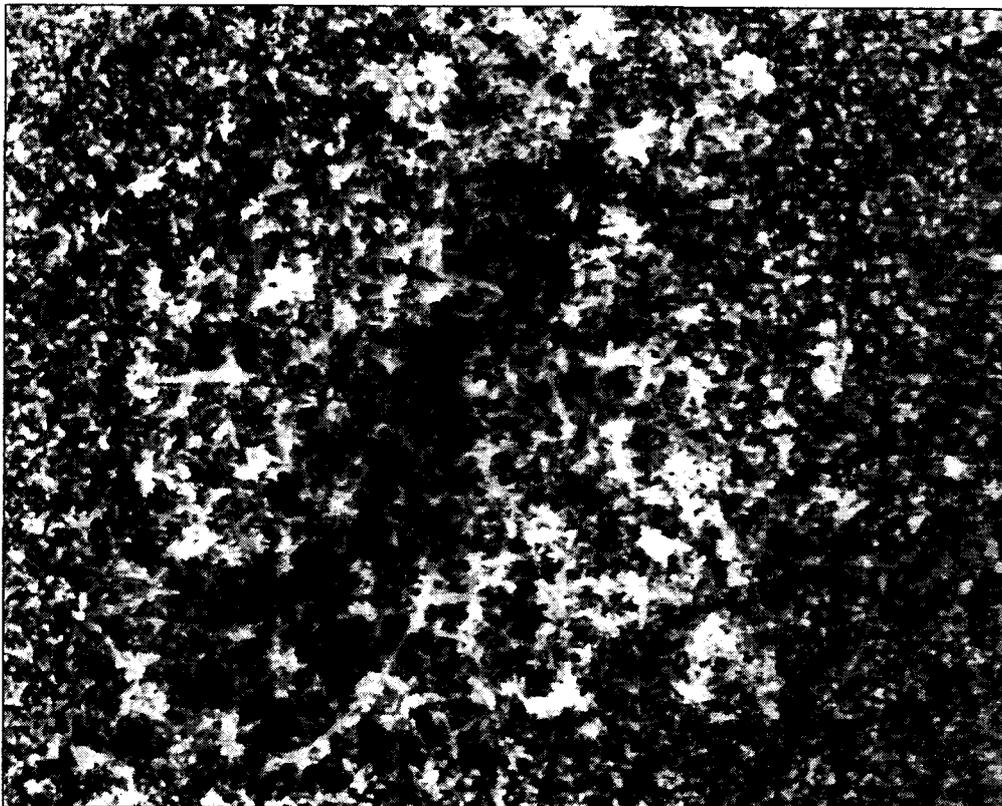


Abb. 40: Radenthein/Spi 40/1, REM-Aufnahme einer typischen Spaltöffnung. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 41: Radenthein/Spi 13/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Pilzhyphen und Staubpartikeln. Vergrößerung: 300fach.



Abb. 42: Radenthein/Spi 13/1, REM-Aufnahme von Staub und Epibionten (Pfeile), Detailansicht. Vergrößerung: 1500fach.

4.1.10 Radfeld

4.1.10.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

An der A12 Inntalautobahn bei Rattenberg in Tirol (Profil Radfeld) wurden Nadelproben eines Höhenprofils beidseits der Autobahn hinsichtlich möglicher durch Emissionen des KFZ-Verkehrs verursachter Veränderungen der Wachsmikromorphologie sowie Belegung der Nadeloberflächen mit Feinstaub untersucht.

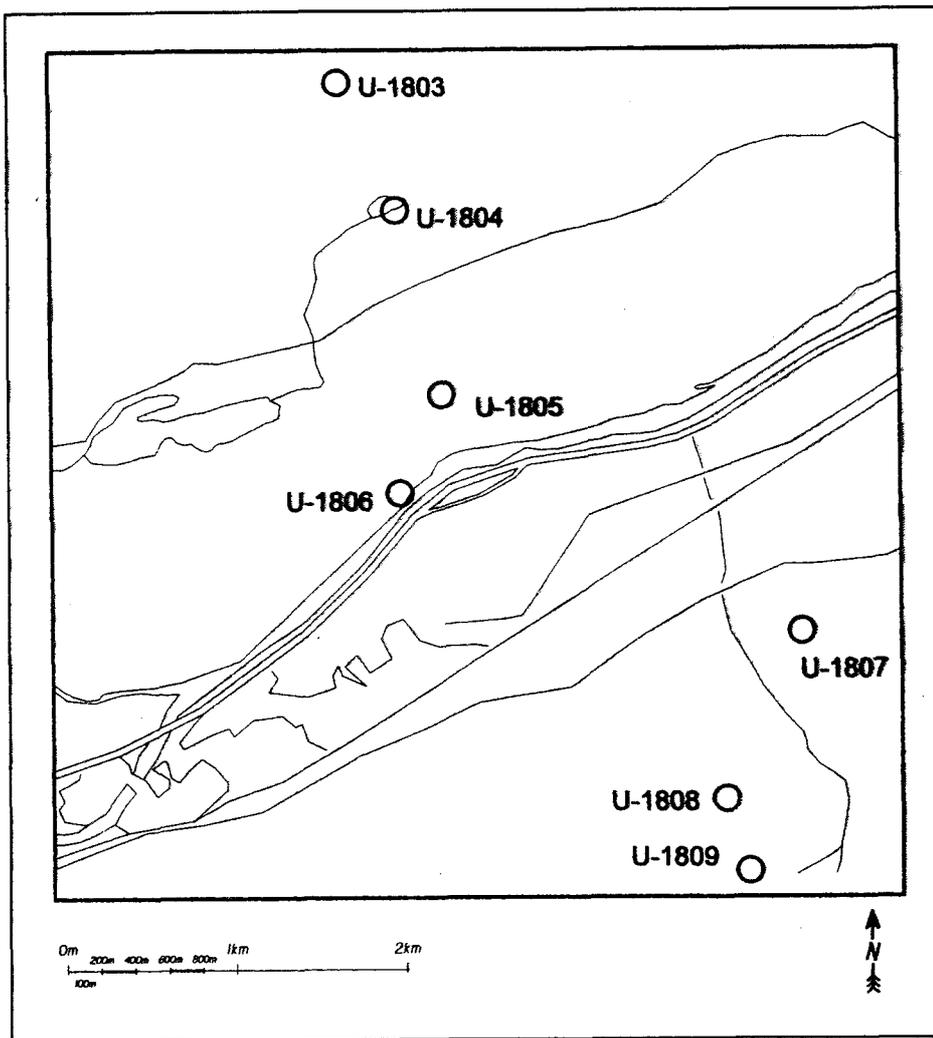
Die Hauptkomponenten der Verkehrsbelastung stellen die Stickoxide dar. 57 % der Gesamtemissionen von Stickstoffoxid in Österreich stammen aus dieser Emittentengruppe (KÖNIG ET AL., 1997). Die im Rahmen einer Studie vom Amt der Tiroler Landesregierung durchgeführten Erhebungen zur Feststellung der großräumigen Stickstoffoxidbelastung mittels Passivsammlern zeigten, daß bei den Querprofilen im Inntal die höchsten Immissionskonzentrationswerte erwartungsgemäß bei den Stationen am Talgrund gemessen wurden. Die maximalen Immissionskonzentrationen wurden dabei an den der Autobahn am nächsten gelegenen Stationen gemessen. Die Hälfte der verkehrsbedingten Stickoxidbelastung wird durch das Lkw-Aufkommen verursacht und die andere Hälfte stammt aus dem Pkw-Verkehr. (AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG-LANDESFORSTDIREKTION, 1991)

Aufgrund unvollständiger Verbrennung ist die Bildung von Kohlenwasserstoffen, und hier vor allem von Benzol, Toluol und Xylole eine weitere Emissionsquelle aus dem KFZ-Verkehr. Rasterelektronenmikroskopische Studien zeigten, daß die Emissionen von aromatischen Kohlenwasserstoffen an Autostraßen eine korrosive Wirkung auf die Nadelwachse haben und zu einem vorzeitigen strukturellen Verschluß der Spaltöffnungen führen. Die daraus resultierenden physiologischen Folgen sollen einen entscheidenden Anteil am „Waldsterben“ haben (z. B.: SAUTER & PAMBOR, 1989).

Zu den verkehrsspezifischen Metallen zählen Kupfer, Zink, Cadmium und Blei. Zink gelangt verkehrsbedingt durch seine Verwendung in Korrosionsschutzmitteln sowie als Additiv in Motorölen (Zinkdithiophosphit) und auch durch Reifenabrieb (Zinkoxid) in die Umwelt. Dadurch kann es entlang von Verkehrswegen lokal zu überhöhten Konzentrationen kommen. Der zweitgrößte Zinkemittent in Österreich ist - neben den Kleinverbrauchern - der Straßenverkehr. Cadmium befindet sich in geringen Konzentrationen im Dieseltreibstoff. Die Hauptquelle der verkehrsbedingten Cadmiumemissionen stellen der Fahrbahn-, Bremsbelag- und Reifenabrieb dar. Mehr als die Hälfte der Gesamtemissionen von Cadmium in Österreich stammt jedoch aus dem Sektor der Kleinverbraucher (Haushalte, Gewerbe und Verwaltung) (KÖNIG ET AL., 1997). Die Bleiemissionen konnten in den letzten Jahren durch die Einführung von bleifreien Kraftstoffen deutlich reduziert werden.

Weiters ist die partikuläre Belastung durch Straßenstaub und Dieselruß besonders im Nahbereich von stark frequentierten Verkehrswegen nicht zu unterschätzen. Hauptquelle für Feinstaub stellt der Abrieb der Fahrbahn, der Brems- und Kupplungsbeläge sowie der Reifen dar, der auch als Verursacher von Betonstaub, Ruß, Zink, Kupfer, Nickel, Chrom und Asbest verantwortlich ist.

Weitere Schadstoffkomponenten sind Kohlendioxid, Kohlenmonoxid und in geringen Konzentrationen Schwefeldioxid, welches auf den Schwefelgehalt des Dieseltreibstoffes zurückzuführen ist. Transmissions- und Immissionsmessungen im Inntal zeigten, daß die SO₂-Konzentrationen im gesamten Inntal allgemein gering waren und auch in den Ballungsgebieten wie Innsbruck und Hall nur unwesentlich anstiegen (SPRITZL & KELLNER, 1991).



Lageskizze der Probepunkte des Profils Radfeld bei Rattenberg (Inntalautobahn).

4.1.10.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die mittlere Wachsqualität der Fichtennadeln aller sieben Probepunkte des Höhenprofils lag zwischen 1,9 (unbeeinträchtigt) und 2,3 (leicht beeinträchtigt). Staubförmige Fremdpartikel wurden nur an zwei Probepunkten detektiert. Die Belegung mit Epibionten lag zwischen 3 % und 31 %.

Eine Beeinflussung der Nadeln zeigt sich hingegen deutlich in der Belegung der Nadeloberflächen der drei nächstgelegenen Standorte U-1805/1, U-1806/1 und U-1807/1 mit Feinstaub, Epibionten und Gipskristallen. Die Abbildungen 43 und 44 zeigen Nadelbereiche des Probepunktes U-1806/1 mit zum Teil massiver Belegung mit Feinstaubpartikeln. Aus diesem Grund konnten 3 % der Spaltöffnungen nicht bewertet werden und fielen in Sonderklasse 6. Mittels EDX-Analyse konnten im Staub die Elemente Al, Si, S, Cl, K, Ca, Fe und Zn nachgewiesen werden (Abb. 45). Die Belegung der Nadeln mit Pilzhypen und anderem organischen Material lag bei 15 %. In Abbildung 46 ist eine Spaltöffnung einer Fichtennadel des Probepunktes U-1807/1 dargestellt, auf der sich zahlreiche kleine Gipskristalle befinden.

Tab. 26: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten am Profil Radfeld (Inntalautobahn).

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
U - 1803/1	2,2 ± 0,49	0	6
U - 1804/1	2,1 ± 0,50	0	3
U - 1805/1	2,1 ± 0,38	0	17
U - 1806/1	2,0 ± 0,87	1	15
U - 1807/1	1,9 ± 0,32	4	31
U - 1808/1	2,3 ± 0,50	0	4
U - 1809/1	2,2 ± 0,67	0	6

Interessanterweise wiesen die drei autobahnnächsten Probepunkte U-1805/1 bis U-1807/1 am häufigsten, d. h. zwischen 15 und 31 % biologisches Material auf den Nadeloberflächen auf.

Die Nadeln entlang des Transekts wurden noch zusätzlich auf die Schwermetalle Cadmium und Blei analysiert. Die Cd-Werte lagen im Bereich von 0,05 mg/kg bis 0,32 mg/kg (siehe Tab. 28). Untersuchungen an Fichtennadeln 25 österreichischer Hintergrundstandorte ohne lokale Schadstoffquellen, die vom Umweltbundesamt durchgeführt wurden, ergaben für Cadmium einen Median von 0,04 mg/kg und einen Wertebereich von < 0,01 bis 0,18 mg/kg (WEISS, 1997). ZVACEK (1988) fand in Fichtennadelproben sieben österreichischer unbelasteter Waldstandorte Cd-Gehalte zwischen 0,01 und 0,54 mg/kg TS. Dem gegenüber wurden an industriell belasteten Standorten Cd-Werte von 1,42 bis 1,78 mg/kg TS in Fichtennadeln verzeichnet (GLATTES ET AL., 1985).

Tab. 27: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln am Profil Radfeld (Inntalautobahn). Gw für Cl im 1.Njg.: 0,1 %, GW für S im 1.Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
U-1803/1	*	0,13	1,3	7.117	6.106	1.351	1.245
U-1804/1	*	0,15	1,3	5.742	7.333	1.581	2.387
U-1805/1	0,11	0,13	1,4	4.258	5.262	1.408	950
U-1806/1	0,12	0,15	1,3	6.223	8.723	1.094	1.856
U-1807/1	0,11	0,14	1,2	4.442	6.116	1.459	1.245
U-1808/1	*	0,13	1,3	6.549	8.521	1.115	1.672
U-1809/1	*	0,13	1,4	7.095	8.307	1.233	1.350

Die Pb-Werte der untersuchten Nadelproben des Profils Radfeld lagen zwischen 0,85 mg/kg und 4,03 mg/kg, wobei die beiden höchsten Werte an den beiden der Autobahn am nächsten gelegenen Probepunkten gemessen wurden. Die vom Umweltbundesamt durchgeführten Nadelanalysen von Fichten 25 österreichischer Hintergrundstandorte ergaben für Blei einen Median von 0,4 mg/kg sowie einen Wertebereich von 0,1 bis 1,6 mg/kg.

Tab. 28: Cadmium- und Bleigehalte von Fichtennadeln am Profil Radfeld (Inntalautobahn).

PP Nr.	Cd mg/kg	Pb mg/kg
U-1803/1	0,09	1,11
U-1804/1	0,08	1,72
U-1805/1	0,13	3,88
U-1806/1	0,05	4,03
U-1807/1	0,32	0,97
U-1808/1	0,19	1,13
U-1809/1	0,10	0,85

Die Wachsqualität der Spaltöffnungen war im Untersuchungsgebiet Radfeld signifikant schlechter als an den Hintergrundstandorten (vgl. Kapitel 4.3).

Ein Vergleich der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen von Fichtennadeln am Autobahnprofil Radfeld mit Hintergrundstandorten ergab signifikant erhöhte Stickstoff-, Kalium- und Magnesiumgehalte. Die verkehrsrelevanten Schwermetalle Kupfer, Zink, Blei und Cadmium lagen auch in erhöhten Konzentrationen an den beiden der Fahrbahn am nächsten gelegene Probepunkten vor (vgl. Kapitel 4.3). Ein Einfluß der in der Nähe befindlichen Kupferhütte Brixlegg kann ebenfalls nicht ausgeschlossen werden.

Tab. 29: Metallgehalte von Fichtennadeln am Profil Radfeld (Inntalautobahn).

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
U-1803/1	4,6	68	426	32	13
U-1804/1	5,4	52	215	42	22
U-1805/1	7,1	47	164	43	< 11
U-1806/1	9,8	39	11	77	21
U-1807/1	16,0	75	75	58	12
U-1808/1	4,5	66	268	39	19
U-1809/1	4,1	76	611	36	26

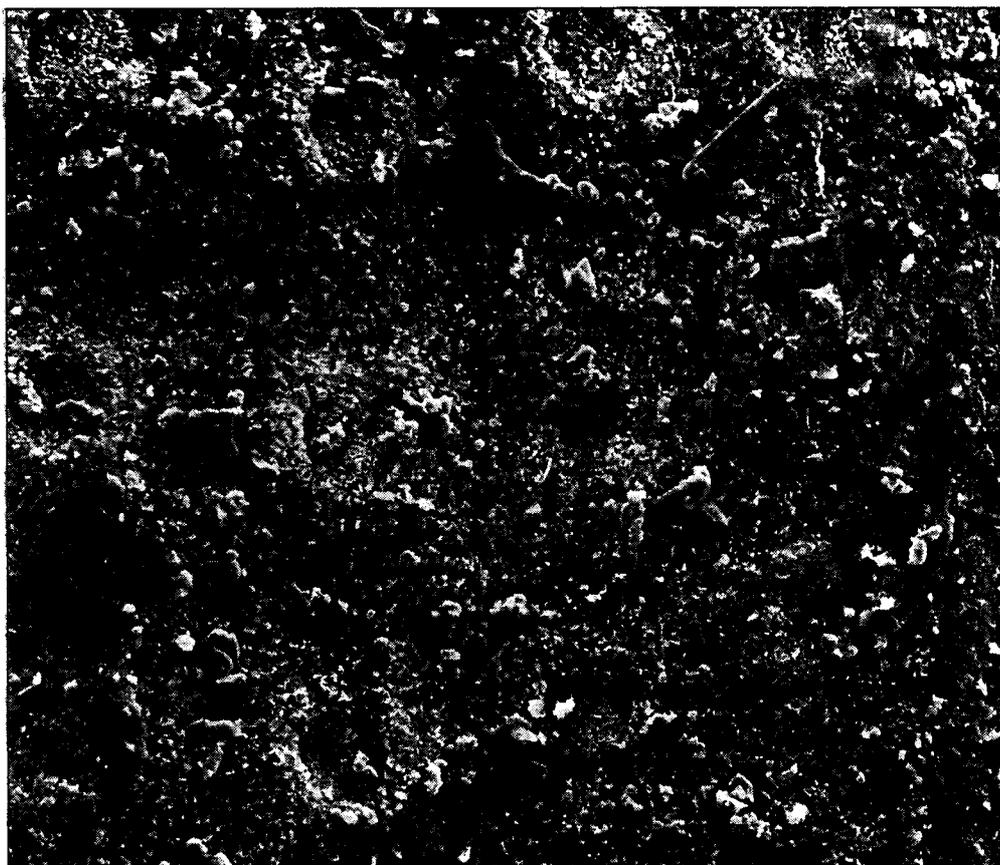


Abb. 43: A12, Profil Radfeld/U-1806/1, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit zahlreichen anhaftenden Staubpartikeln. Vergrößerung: 350fach.



Abb. 44: A12, Profil Radfeld/U-1806/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereichs mit massiver Staubbelagerung. Vergrößerung: 350fach.

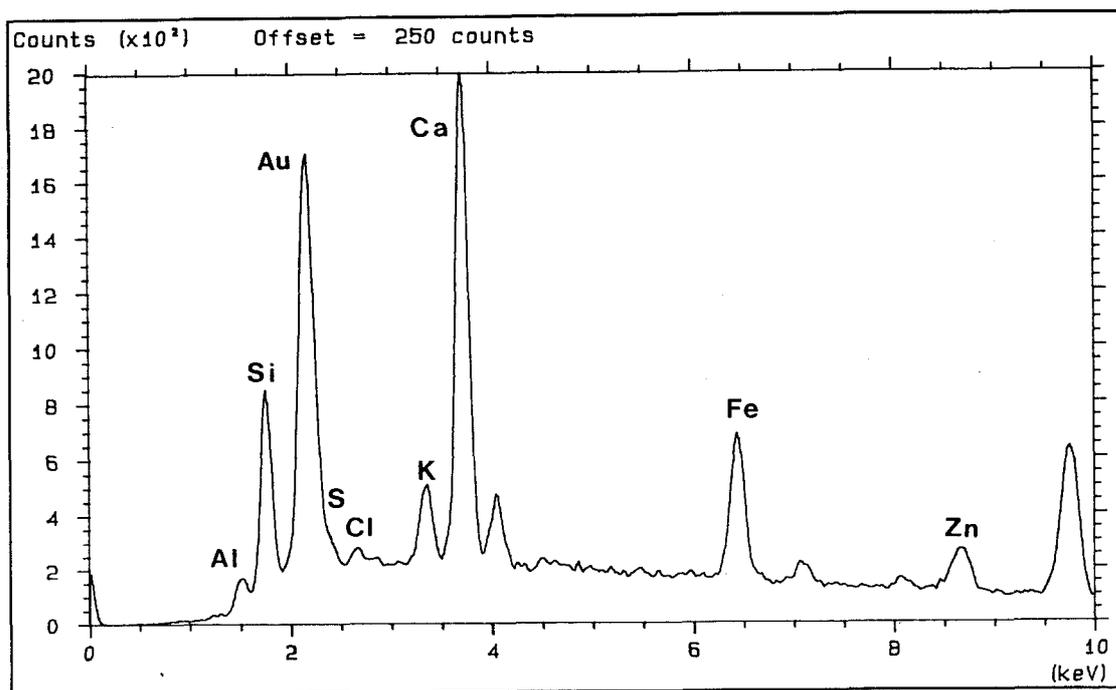


Abb. 45: A 12, Profil Radfeld/U-1806/1; EDX-Spektrum der Staubpartikel zu Abbildung 44.

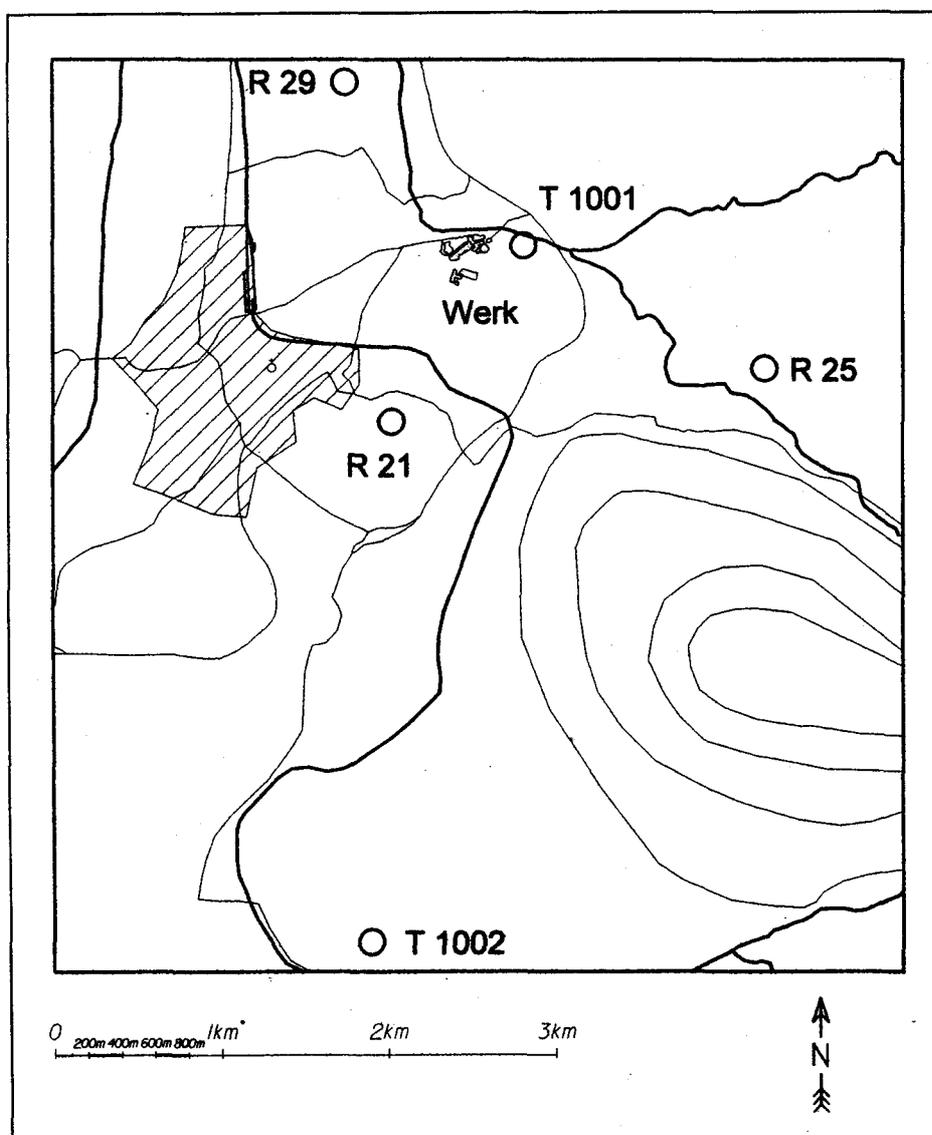


Abb. 46: A 12, Profil Radfeld/U-1807/1, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit zahlreichen kleinen Gipskristallen. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.11 Reutte

4.1.11.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In den Planseewerken Reutte in Tirol werden in metallurgischen (Sinter-)Prozessen Spezialmaterialien (hochschmelzende Metalle und Hartmetalle) hergestellt. Die hochschmelzenden Metalle der Plansee AG umfassen pulvermetallurgisch hergestelltes Halbzeug und Fertigprodukte aus Molybdän, Wolfram, Tantal, Niob, Rhenium und Chrom (Mitteilung Plansee Unternehmensgruppe, Standort Reutte). In der Umgebung der Planseewerke ist es zu Umweltbelastungen durch Molybdän gekommen, die dazu führten, daß bei Weidevieh gesundheitliche Probleme auftraten. Reutte zählt zu den wenigen Industriestandorten in Österreich, an denen systematische Untersuchungen der Umweltsituation bisher fehlten. Daher wurde 1995 ein Arbeitskreis des Landes Tirol ins Leben gerufen mit dem Ziel, die tatsächliche Umweltbelastung in dieser Region und etwaige Gefährdungen festzustellen und ggf. Maßnahmen zur Verbesserung der Situation zu erarbeiten.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Reutte.

4.1.11.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Vier der insgesamt fünf Probepunkte liegen in der unmittelbaren Umgebung der Planseerwerke. Der Punkt T1002 stellt die Referenzprobe dar und sollte von werkseitigen Immissionen weitgehend unbeeinflusst sein.

Die Wachsqualität der untersuchten Probepunkte lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,4 (leicht beeinträchtigt). Die Belegung der Nadeln mit staubförmigen Fremdpartikeln war sehr gering. Auch wiesen die untersuchten Spaltöffnungen nur zu einem geringen Prozentsatz biologisches Material auf.

Die beste Wachsqualität wurde für Nadeln des Probepunktes T 1001 und R 25 ermittelt. Die Wachsmikromorphologie war intakt und entspricht somit derjenigen, wie sie an unbeeinflussten Hintergrundstandorten beobachtet wurde (siehe Abb. 47). An diesen beiden Standorten können wachsschädigende Einflüsse im Beobachtungszeitraum (Mai bis September 1995) ausgeschlossen werden.

Für Fichtennadeln des Probepunktes R 29 ergaben die Analysen der Nadelwachsstruktur einen Wert von 2,4. Ab einem Wert von 2,0 kann bereits von einer leichten Beeinträchtigung der Epicuticularwachse gesprochen werden. Zusätzlich konnten an zahlreichen Nadeln Gipskristalle gefunden werden (siehe Abb. 48).

Tab. 30: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Reutte.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
T 1001	1,7 ± 0,59	2 %	7 %
T 1002	2,0 ± 0,92	0 %	10 %
R 25	1,6 ± 0,44	0 %	3 %
R 21	1,9 ± 0,65	1 %	2 %
R 29	2,4 ± 0,63	0 %	4 %

Untersuchungen der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen von Fichtennadeln zeigten, daß in Reutte, wie auch bei einigen anderen emittentennahen Standorten, die Gehalte an Stickstoff, Phosphor, Calcium, Kalium und Magnesium signifikant höher waren als vergleichsweise an Hintergrundstandorten (vgl. Kapitel 4.3). Die ermittelten Schwefelkonzentrationen der Nadeln waren in diesem Untersuchungsgebiet im Gegensatz zu fast allen anderen emittentennahen Standorten gegenüber dem Hintergrund nicht signifikant höher. Dies gilt auch für die Wachsqualität. Die Gehalte an Kupfer, Zink und Molybdän waren jedoch gegenüber den Hintergrundstandorten als erhöht zu bezeichnen.

Tab. 31: Cl-, S- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Reutte.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	Ca mg/kg	Mg mg/kg
T 1002	0,08	0,09	6.340	1.246
T 1001	0,09	0,10	6.827	1.265
R 25	0,09	0,08	7.563	1.665
R 21	0,08	0,10	8.491	2.334
R 29	0,10	0,13	6.057	1.285

Tab. 32: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Reutte.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg
T 1002	7,2	41	139	109
T 1001	6,2	46	210	96
R 25	5,8	58	119	103
R 21	4,7	50	153	62
R 29	8,6	59	760	71

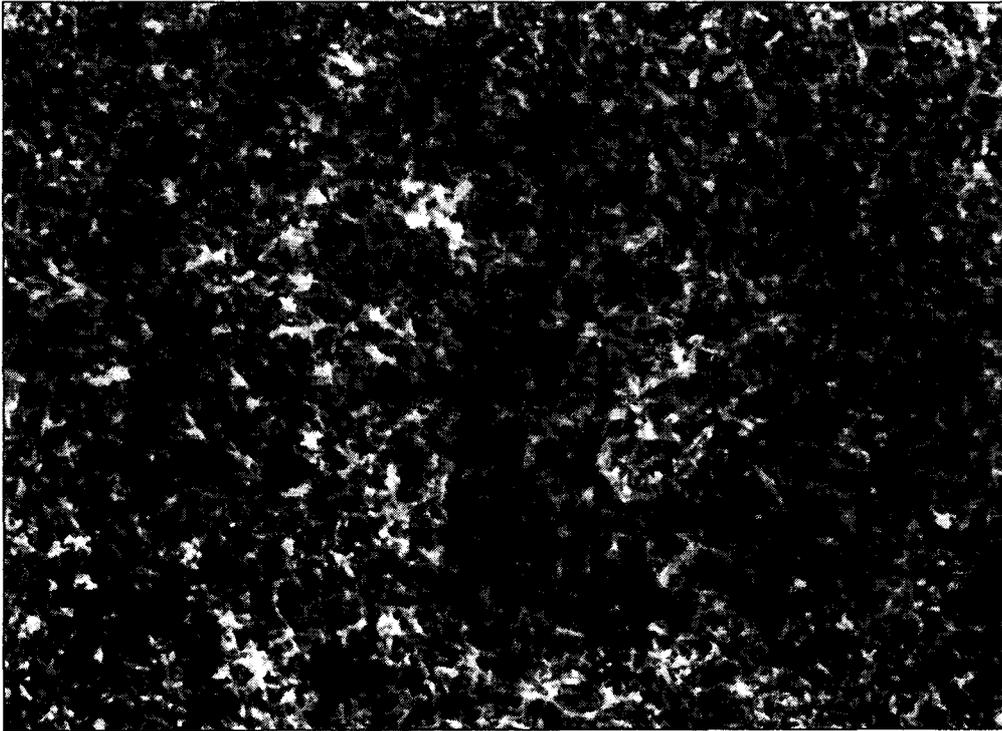


Abb. 47: Reutte/R25, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakter Wachsstruktur. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 48: Reutte/R29, REM-Aufnahme eines Nadelbereichs mit zahlreichen Gipskristallen. Vergrößerung: 1000fach.

4.1.12 Treibach

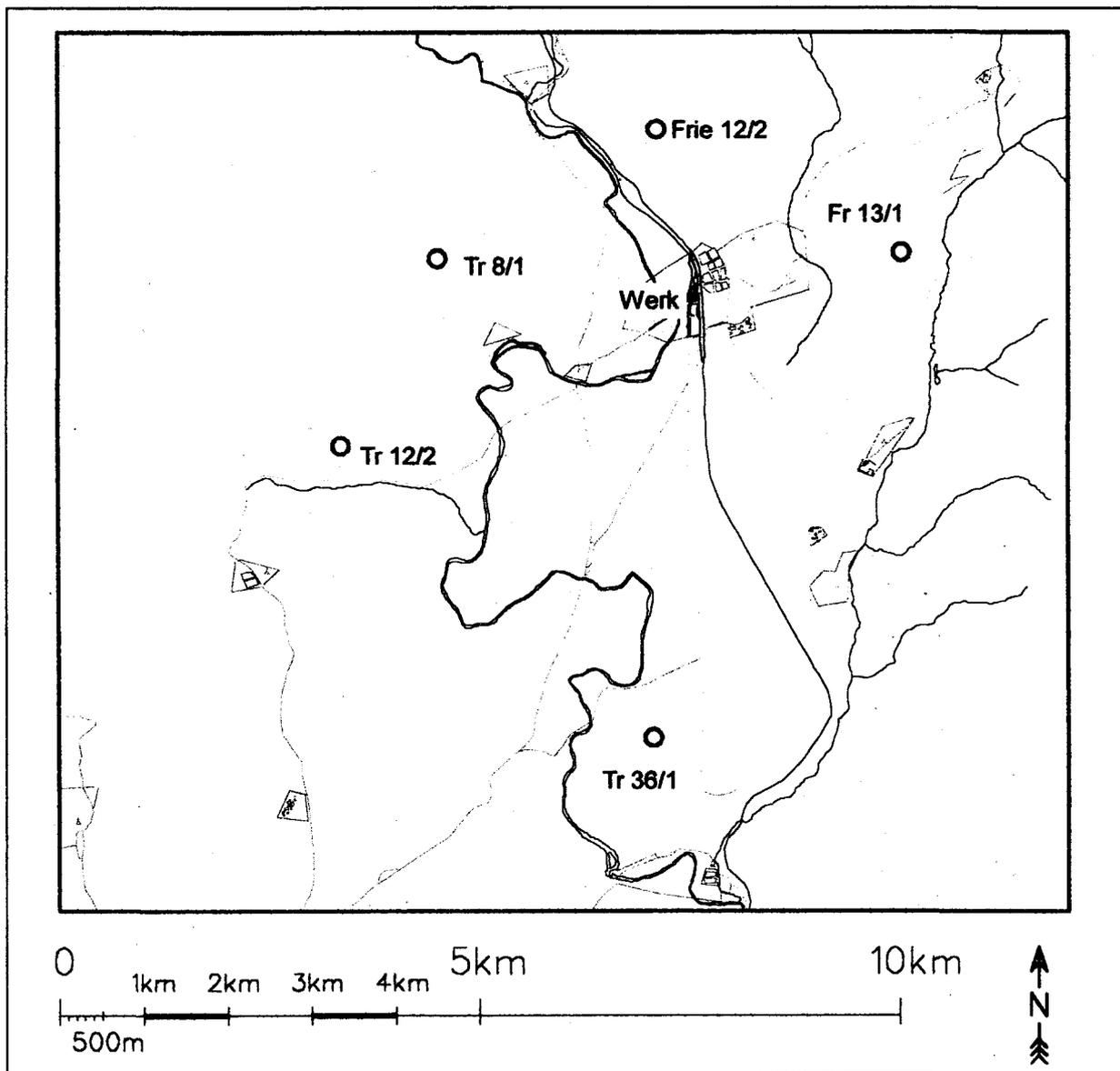
4.1.12.1 Lage und Klima

Das Werksgelände der Treibacher Industrie AG liegt am nordöstlichen Rand des Krappfeldes, einer beckenähnlichen Erweiterung des Gurktales. Ca. 4 km nördlich mündet das West-Ost gerichtete Gurktal in das Nordwest-Südost verlaufende Metnitztal. Durch die Einmündungen vieler kleiner Seitentäler gestalten sich die topographischen Verhältnisse in diesem Raum kompliziert. Daher wurden die Windverteilungen mit Hilfe von Ballonaufstiegsversuchen ermittelt. Dabei zeigt sich eine ausgeprägte Nord-Süd Ausrichtung gemäß dem Talverlauf in Bodennähe. In Höhen ab 100 m über Grund dreht der Wind in die in der freien Atmosphäre herrschende Windrichtung. Derartige Änderungen der Windrichtung mit zunehmender Höhe bedeuten, daß Emissionen, die in Höhen über 100 m über Tal gelangen, sprunghaft wesentlich besser verdünnt werden, sich aber auch weiter ausbreiten können (KOFLE ET AL., 1992). Weiters ist der Raum Treibach-Althofen durch das Auftreten von Inversionslagen (Inversionshöhe um 800 m Seehöhe) und Perioden mit geringen Windgeschwindigkeiten charakterisiert.

4.1.12.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Der Standort Treibach ist bereits seit dem 16. Jahrhundert ein Industriestandort. Bis Ende des 19. Jahrhunderts befanden sich auf dem Gelände der heutigen Treibacher Industrie AG Hammer- und Eisenhüttenwerke. 1907 wurde die Treibacher Chemische Werke GmbH gegründet, welche 1929 in die Treibacher Chemische Werke AG umgewandelt wurde. Die Palette der in Treibach hergestellten Produkte ist sehr reichhaltig und umfaßt die Produktion von Ferrolegerungen, Vorlegerungen, Vanadinoxid, Hartmetall-Rohstoffen, Natriumperborat, Mischmetall, Zündsteinen, Glaspoliermitteln (seltene Erden) sowie Magneten für die Elektroindustrie. Weiters werden seit 1977 in den TCW aus Rückständen von industriellen Produktionen im Recyclingverfahren vor allem die Wertmetalle Wolfram und Nickel gewonnen.

Die Luft in der Umgebung der TCW war vor allem durch Staubemissionen mit hohem Schwermetallgehalt (insbesondere Nickel und Vanadium) aber auch durch Chlor- und Fluoremmissionen (Cl_2 , HCl , HF) belastet. In den werksnahen Staubbiederschlägen wurden hohe Konzentrationen an Ni, Mo, V, Cr und Co gefunden (VOGEL ET AL., 1991). Die Bodenbelastung lag in Werksnähe bei den Elementen Ni, V und Mo deutlich über den zur Orientierung herangezogenen Grenzkonzentrationen. In Pflanzen aus der näheren Werksumgebung wurden vor allem hohe Nickelkonzentrationen gefunden (insbesondere in Pilzen). Um die zurückliegenden Emissionen in gesundheitlicher Hinsicht abzuklären, wurde von 1988 bis 1990 ein umfassendes Meßprogramm durchgeführt. Die Emissions- und Immissionssituation wurde in der 1992 veröffentlichten „Lufthygienischen Schwerpunktstudie Treibach-Althofen“ dargestellt (KOFLE ET AL., 1992). Durch emissionsmindernde Maßnahmen bzw. die Stilllegung von Anlagenteilen konnten die Staub- und Chloremissionen in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden. Lag etwa die Gesamtstaubfracht des Werkes im Jahr 1987 bei 75 Tonnen, wurden im Jahr 1996 nur mehr rund 9 Tonnen emittiert (Quelle: Emissionserklärung 1996 - Werk Treibach). Die Emissionen von Chlor (Cl_2) wurden von rund 3 Tonnen im Jahr 1987 auf 165 kg im Jahr 1996 reduziert (Quelle: Emissionserklärung 1996 - Werk Treibach).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

4.1.12.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität der Fichtennadeln der fünf Probepunkte im Untersuchungsgebiet Treibach lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) bis 2,7 (leicht beeinträchtigt). An keinem Standort wurden staubförmige Fremdpartikel auf den untersuchten Spaltöffnungen verzeichnet. Die Belegung der Nadeln mit Epibionten war an zwei Probepunkte relativ hoch.

Leicht beeinträchtigte Wachsstrukturen wiesen die Nadeln des südwestlich der TCW gelegenen Probepunktes Tr 12/2 auf (MW 2,7). Besonders auffällig war, daß 43 % der untersuchten Nadeln massiv mit Pilzhyphen und Sporen bedeckt waren, die sich vor allem auf den epistomatären Bereich konzentrierten (Abb. 49 und 50).

Tab. 33: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
Frie 12/6	1,9 ± 0,45	0	14
Frie 13/1	2,0 ± 0,41	0	3
Tr 8/1	2,0 ± 0,57	0	17
Tr 12/2	2,7 ± 1,06	0	43
Tr 36/1	2,5 ± 0,78	0	35

Der südlich des Werks im Wollschart Wald gelegene Probepunkt Tr 36/1 wies eine Besonderheit auf. Bei den Untersuchungen im REM waren häufig Nadelbereiche mit Spaltöffnungen ohne jegliche Wachsstruktur zu beobachten (Abb. 51 und 52). Dieses Phänomen konzentrierte sich vor allem auf die apikalen Nadelteile. Insgesamt 8 % der untersuchten Spaltöffnungen waren davon betroffen und wurden daher mit Sonderklasse 6 bewertet. Aus derzeitiger Sicht kann jedoch nicht geklärt werden, ob das Fehlen von Spaltöffnungswachs natürliche Ursachen hat oder auf Immissionseinflüsse zurückzuführen ist. An insgesamt 35 % der untersuchten Spaltöffnungen wurden Epibionten verzeichnet. Weiters ergaben die Nadelanalysen für diesen Probepunkt deutlich erhöhte Chlorwerte (Tab. 34) und auch die höchsten Molybdän-, Nickel- und Vanadiumwerte aller untersuchten Bäume aus dem Raum Treibach-Althofen (Tab. 35). Die Nickelgehalte in den Nadeln lagen im Toleranzbereich. ZVACEK (1988) fand bei Fichten an sieben Waldstandorten in Österreich Konzentrationen zwischen 0,1 und 13,6 ppm im 1. Nadeljahrgang. Die Molybdän- und Vanadiumwerte des Probepunktes Tr 36/1 sind nach wie vor als erhöht zu bezeichnen. Sie liegen jedoch deutlich unter den Konzentrationen, die in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes im Raum Treibach in Fichtennadeln eines in der Nähe befindlichen BIN-Punktes gefunden wurden (VOGEL ET AL., 1991: 8,0 mg/kg Mo, 22,9 mg/kg V). Die Molybdängehalte in Fichtennadeln des obersten Quirls liegen üblicherweise zwischen 0,04 und 0,2 ppm (vgl. BERGMANN, 1993). Eine Schweizer Untersuchung an Fichten von 47 Standorten in Winterthur ergab für gewaschene Nadeln Vanadiumwerte von 0,04 bis 0,113 ppm (WYTTENBACH ET AL., 1991).

Über das Dreifache des Chlorgrenzwertes erhöhte Chlorgehalte wurde in Nadeln des werksnahen Probepunktes Frie 12/6 nachgewiesen. Demgegenüber lag die Wachsqualität der Fichtennadeln bei MW 1,9, was Werten aus unbelasteten Hintergrundstandorten und somit intakten Wachsstrukturen entspricht. Eine charakteristische Spaltöffnung ist in Abbildung 53 dargestellt.

Tab. 34: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen. GW für Cl im 1. Njg.: 0,1 %; GW für S im 1. Njg. 0,11 %.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Frie 12/6	0,36	0,14	1,2	4.213	4.968	1.351	1.840
Frie 13/1	0,14	0,13	1,4	9.698	5.128	994	1.330
Tr 8/1	0,13	0,12	1,3	7.373	5.053	1.515	1.451
Tr 12/2	0,12	0,14	1,2	6.446	5.079	1.146	1.651
Tr 36/1	0,24	0,10	1,2	11.395	6.041	815	1.234

Tab. 35: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg
Frie 12/6	3,4	19	2.620	74	78	0,55	9,06	1,20
Frie 13/1	5,4	22	230	39	24	< 0,4	3,20	< 0,28
Tr 8/1	4,5	25	2.990	45	58	< 0,4	10,38	< 0,26
Tr 12/2	4,1	30	2.080	60	179	< 0,4	4,87	0,53
Tr 36/1	2,8	20	2.560	76	102	2,95	10,42	6,63

Die Untersuchungen der Nähr- und Schadstoffgehalte von Fichtennadeln ergaben signifikant höhere Gehalte an Schwefel, Stickstoff und Calcium als im Hintergrund (vgl. Kapitel 4.3). Weiters waren die Metallgehalte von Mangan, Nickel und Molybdän signifikant höher als an den Hintergrundstandorten.

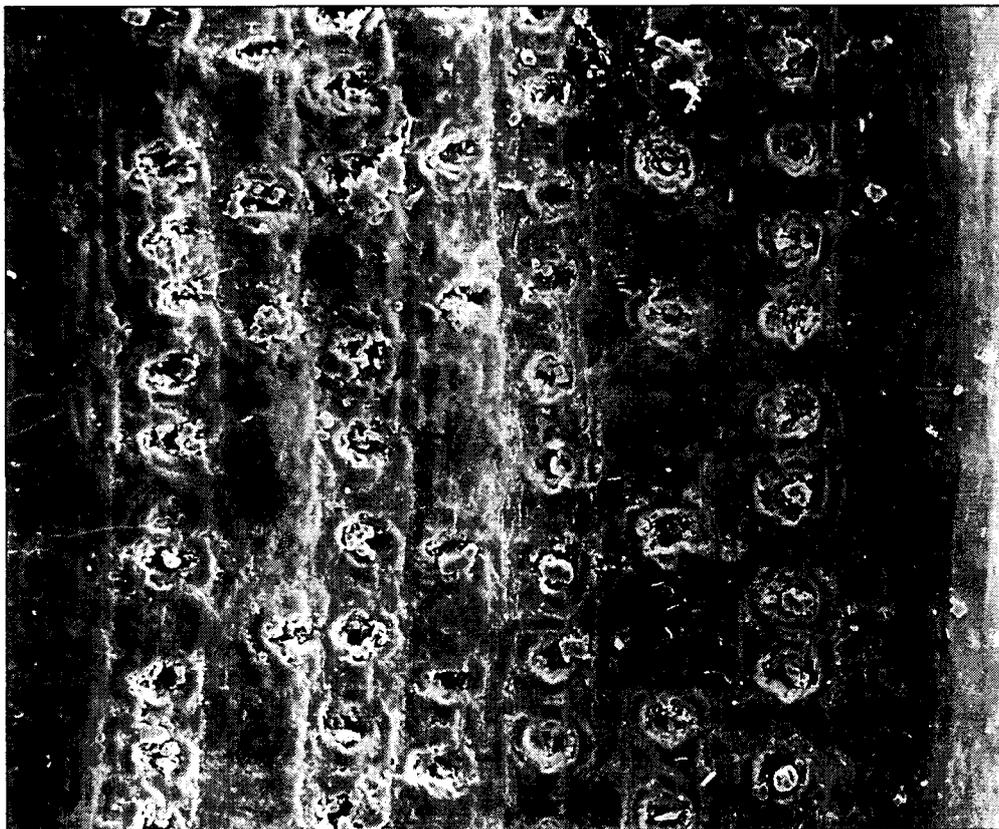


Abb. 49: Treibach-Althofen/Tr 12/2, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche, fast alle Spaltöffnungen sind mit Pilzsporen verstopft. Vergrößerung: 150fach.

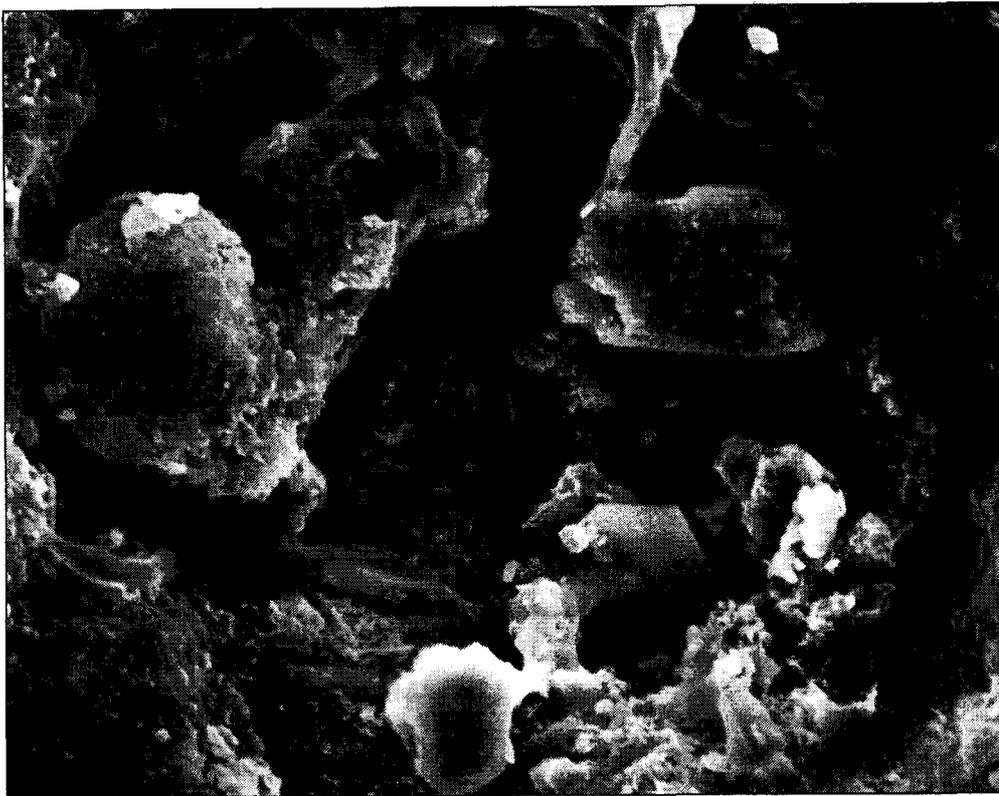


Abb. 50: Treibach-Althofen/Tr 12/2; REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit Pilzhyphen und bereits degradierten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.

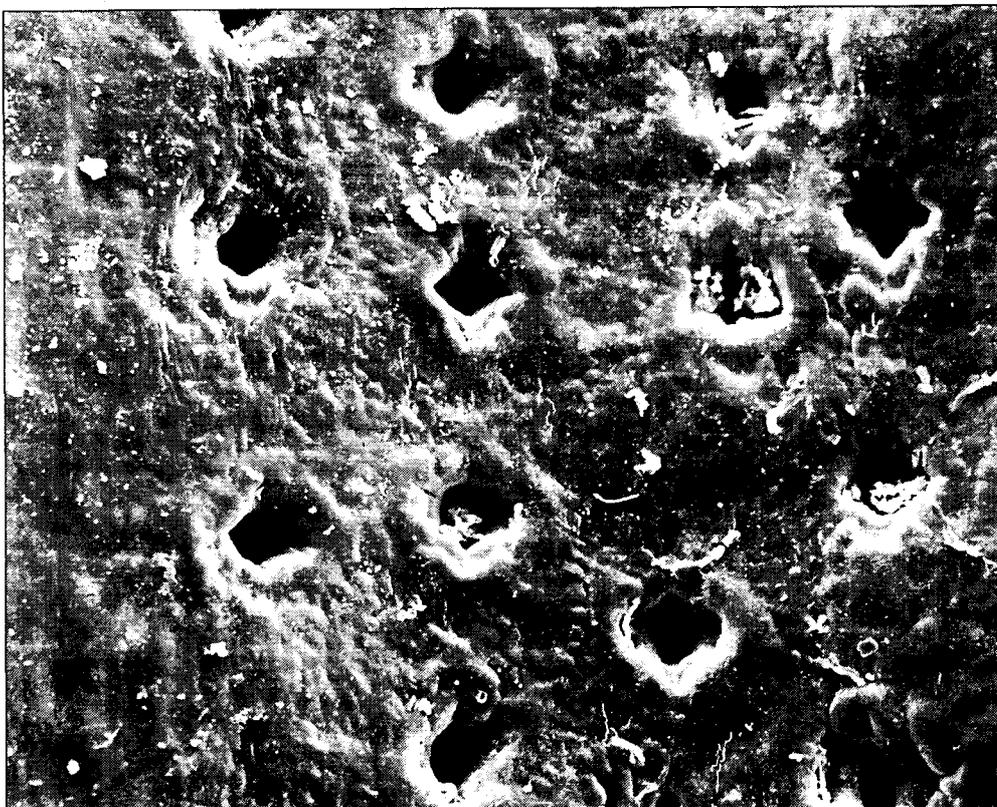


Abb. 51: Treibach-Althofen/Tr 36/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit Spaltöffnungen ohne jegliche Wachsstruktur. Vergrößerung: 350fach.



Abb. 52: Treibach-Althofen/Tr 36/1, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung ohne Stomatawachs, Sporen (Pfeil). Vergrößerung: 2500fach.

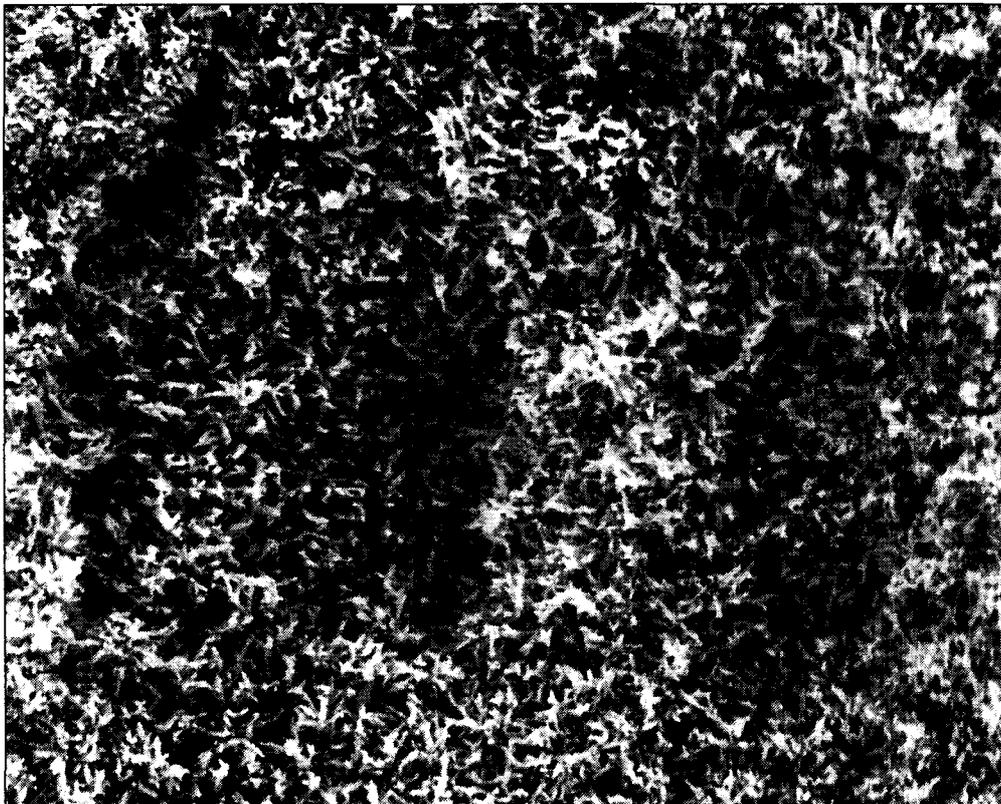


Abb. 53: Treibach-Althofen, Frie 12/6, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.

4.1.13 Wietersdorf

4.1.13.1 Lage und Klima

Das Untersuchungsgebiet Klein St. Paul-Wietersdorf befindet sich im Nord-Süd orientierten Görschitztal. Dieses liegt am Fuß der Westabdachung der Saualpe und wird durch einen in Nord-Süd-Richtung sich erstreckenden Bergrücken vom Krappfeld getrennt. Im Zentrum des Talverlaufs ist die Weitung von Klein St. Paul. Am Nord- und am Südende verengt sich das Görschitztal, wodurch dem dazwischenliegenden Abschnitt ein langgezogener, beckenähnlicher Charakter verliehen wird. Dementsprechend bilden sich Bodeninversionslagen mit Behinderungen im horizontalen und vertikalen Luftaustausch sowie charakteristische Talwindsysteme aus. Es herrschen hauptsächlich Nordwinde vor. Kurz nach Sonnenaufgang können ebenso Winde aus südlichen Richtungen auftreten, die in direkter Abhängigkeit zur Sonneneinstrahlung stehen (KOFLER ET AL., 1986).

4.1.13.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

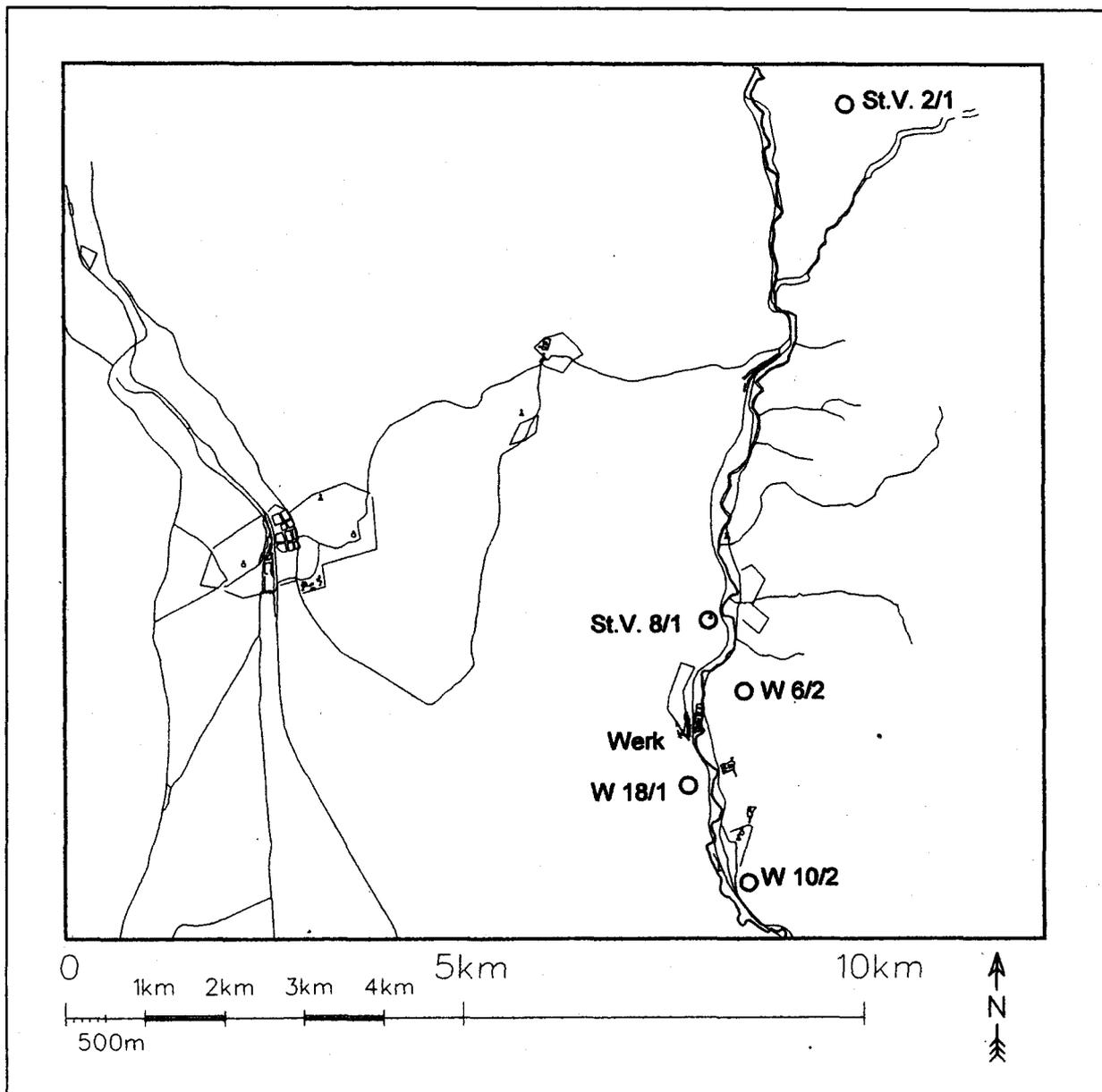
Die Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke produzieren jährlich ca. 200.000 t Zement. Im südwestlich gelegenen werkseigenen Steinbruch werden 550.000 t Rohgestein (Kalk und Ton) gewonnen. Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von Staub, NO_x, SO_x und CO.

Im Auftrag der Kärntner Landesregierung wurde im Jahre 1986 die „Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf“ durchgeführt (KOFLER ET AL., 1986), um detaillierte Erkenntnisse über die Staubbelastung (besonders Schwermetalle) in diesem Gebiet zu erhalten. Allgemein können bei der Zementproduktion in den Drehrohröfen (1.000 bis 1.450°C) verschiedene, auch alternative Brennstoffe (Altöl, Altreifen, etc.) verwendet werden. Aus umwelthygienischer Sicht sind je nach Energieträger unterschiedliche Schwermetallemissionen zu erwarten. In der genannten Schwerpunktstudie dienten die Messungen von Schwermetallkonzentrationen im Staubbiederschlag zur Beurteilung der Schwermetallbelastung. Durch umfangreiche Emissionsschutzmaßnahmen seitens des Werkes konnte die Staubbelastung gesenkt werden. Es wurden für den Raum nur zeitweise erhöhte Cadmium- und Zinkwerte gefunden. Die Schwermetallwerte ließen keine gesundheitliche Gefährdung bei den zum damaligen Zeitpunkt eingesetzten Brenn- und Ausgangsstoffen erwarten.

Die Emissionsangaben der Jahre 1993 bis 1996 für die Komponenten Schwefeldioxid, Stickoxiden und Staub sind in nachstehender Tabelle angeführt:

Tab. 36: Massenströme 93-96 absolut in t/Jahr. Quelle: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH, 1997.

	1993	1994	1995	1996
SO ₂	170,5	204,6	92,8	73,2
NO _x	281,7	400,9	361,7	350,7
Staub	7,7	11,3	15,9	16,0



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.

4.1.13.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Wachsqualität der untersuchten Fichtennadeln aus der Umgebung des Zementwerkes reichte von einem Wert von 1,6 (unbeeinträchtigt) bis zu einem Wert von 3,0 (mittelstark beeinträchtigt), wobei der niedrigste Wert für den in nördlicher Richtung ca. 5 km entfernten Probepunkt ermittelt wurde, der höchste Wert für einen in unmittelbarer Nähe des Werkes befindlichen Probepunkt. An einem der Punkte war eine massive Staubbelegung zu verzeichnen, an einem weiteren Probepunkt waren an 15 % der untersuchten Spaltöffnungen staubförmige Fremdpartikel zu beobachten. Bei drei Standorten des Untersuchungsgebietes wurden keine Staubteilchen auf den untersuchten Stomata detektiert. Die Belegung der Nadeln mit Epibionten lag im Bereich von 0 % bis 18 %.

Mit einer Wachsqualität von 3,0 wies der werksnahe Probepunkt W 6/2 mittelstark beeinträchtigte Wachsstrukturen auf. 15 % der untersuchten Spaltöffnungen waren mit staubförmigen Fremdpartikeln bedeckt (Abb. 54 und Spektrum 55). Der Staub setzte sich im wesentlichen aus den Elementen Silicium, Calcium und Eisen zusammen. Die Belegung der Nadeloberfläche mit Pilzhypen oder Sporen lag bei 18 %. Eine Spaltöffnung mit beginnenden Wachsdegradationen ist in Abbildung 56 dargestellt.

Tab. 37: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
St.V. 2/1	1,6 ± 0,44	0	0
St.V. 8/1	2,0 ± 0,40	0	11
W 6/2	3,0 ± 1,00	15	18
W 10/2	1,9 ± 0,58	0	6
W 18/1	2,7 ± 1,10	54	10

Für den südwestlich des Zementwerks in der Nähe des Steinbruchs gelegenen Probepunkt W 18/1 konnte eine Staubebelegung von 54 % nachgewiesen werden (Abb. 57). Bei 4 % der untersuchten Spaltöffnungen war eine Klassifizierung der Wachsstrukturen durch den dichten Staubebelag nicht möglich. Sie wurden daher Sonderklasse 6 zugeordnet. Zusätzlich wurden zahlreiche Gipskristalle auf den Nadeln beobachtet (Abb. 58 und 59). Die Nadelanalysen dieses Probepunktes ergaben auch hohe Calcium- und Kaliumgehalte sowie eine Grenzwertüberschreitung bei Schwefel (0,17 %).

Tab. 38: Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wietersdorf. GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
St. V 2/1	0,12	1,1	4.893	6.620	1.237	1.365
St. V 8/1	0,13	1,0	4.351	8.894	915	1.457
W 6/2	0,17	1,2	6.017	8.051	777	2.577
W 10/2	0,13	1,3	6.561	7.619	1.101	1.312
W 18/1	0,17	1,1	8.399	9.809	986	1.029

Tab. 39: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
St. V 2/1	3,6	29	1.066	35	57
St. V 8/1	3,3	40	53	37	32
W 6/2	3,8	21	596	67	43
W 10/2	3,8	37	53	33	25
W 18/1	3,3	56	32	103	81

Untersuchungen der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln ergaben, daß die Gehalte der Elemente Calcium und Kalium signifikant höher waren als an den Hintergrundstandorten. Weiters waren die Schwefelgehalte der Nadeln im Untersuchungsgebiet signifikant höher als im Hintergrund (vgl. Kapitel 4.3).



Abb. 54: *Waltersdorf/W 6/2, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit Sporen (Pfeile) und Staubpartikeln. Vergrößerung: 350fach.*

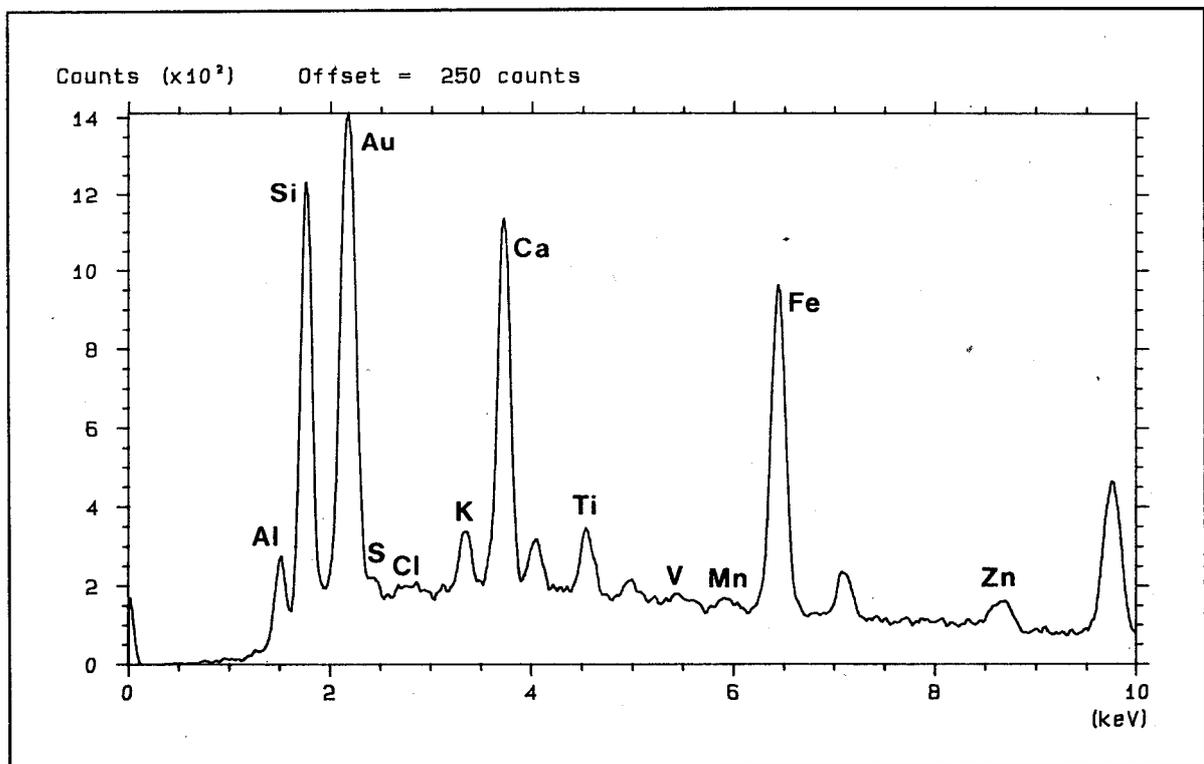


Abb. 55: *Waltersdorf/W 6/2: EDX-Spektrum der anhaftenden Staubpartikel in Abb. 54.*

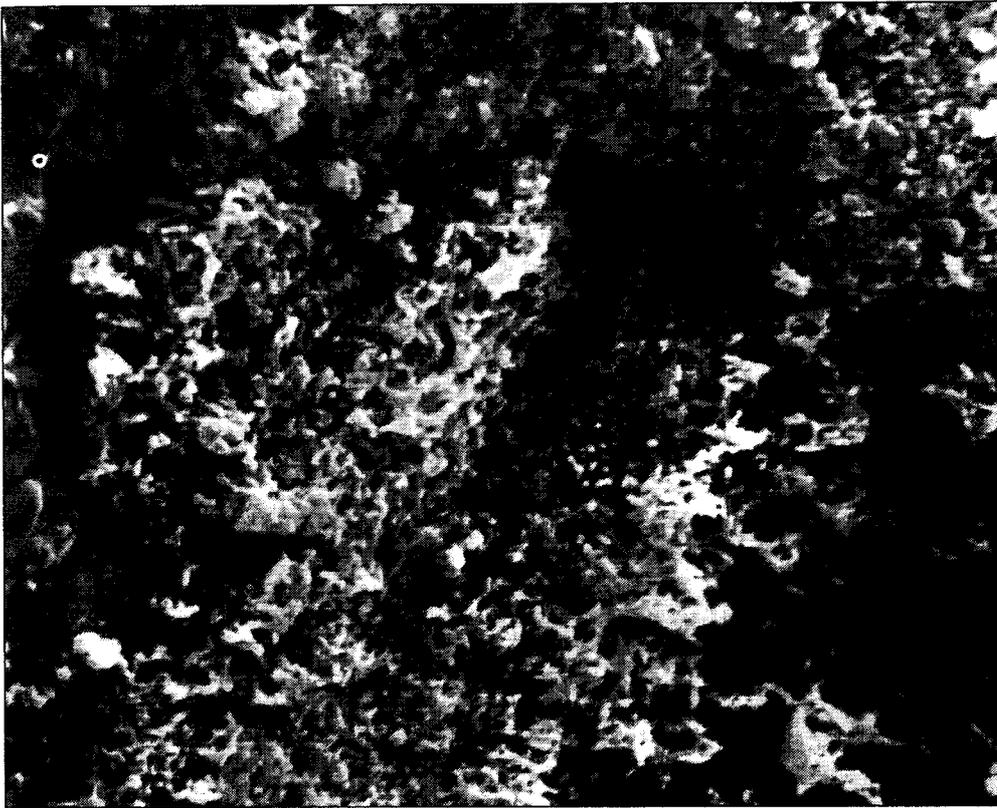


Abb. 56: *Waltersdorf/W 6/2: REM-Aufnahme einer für diesen Probepunkt charakteristischen Spaltöffnung mit beginnender Wachsdegradation. Vergrößerung: 3000fach.*

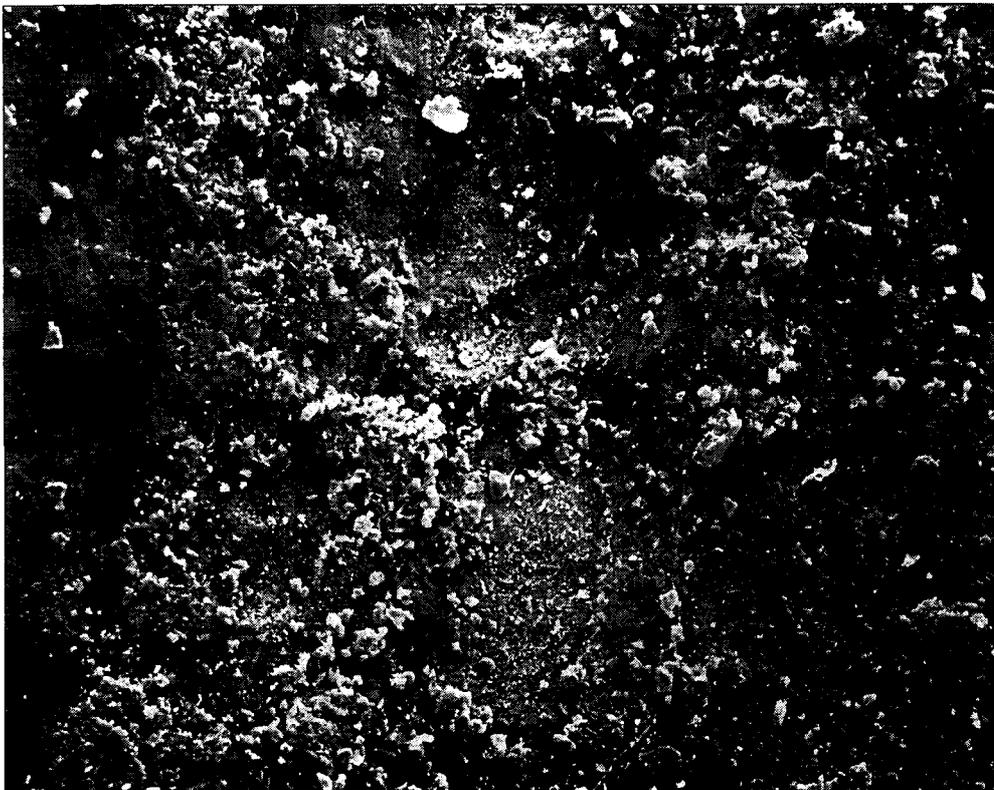


Abb. 57: *Waltersdorf/W 18/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit massiver Staubbelegung. Vergrößerung: 350fach.*



Abb. 58: *Wietersdorf/W 18/1, REM-Aufnahme von kleinen Gipskristallen. Vergrößerung: 2300fach.*

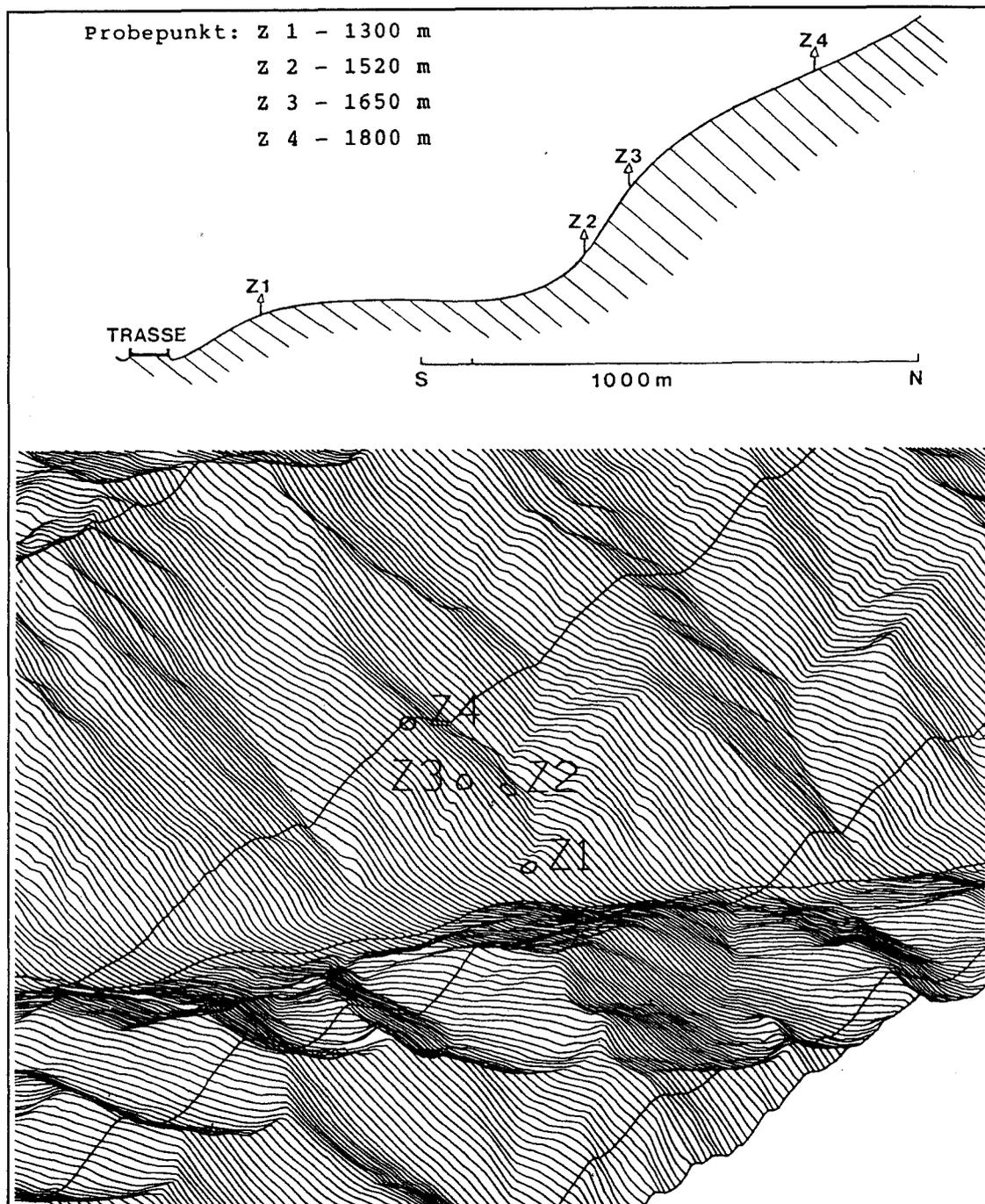


Abb. 59: *Wietersdorf/W 18/1, REM-Aufnahme von Gipskristallen. Vergrößerung: 7000fach.*

4.1.14 Zederhaus

4.1.14.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden unter anderem Fichtennadeln zweier Autobahnprofile auf mögliche, durch Emissionen des Kfz-Verkehrs verursachte Veränderungen der Wachsmikromorphologie untersucht. Neben einem Höhenprofil an der A12-Inntalautobahn bei Radfeld in Tirol wurden auch an der A10 Tauernautobahn bei Zederhaus/Salzburg Nadeln eines Höhenprofils analysiert. Die Ergebnisse von Radfeld sowie Angaben zu verkehrsspezifischen Emissionen finden sich in Kapitel 4.1.10.



Lageskizze (oben) und Geländemodell (unten) der Probepunkte des Höhenprofils „Stampernitzen“ bei Zederhaus.

Bereits in einer früheren Projektstudie des Umweltbundesamtes wurden an der Scheitelstrecke der Tauernautobahn bei Zederhaus umfangreiche Untersuchungen von Boden und Vegetation durchgeführt mit dem Ziel, die Schadstoffbelastungen durch einen der meistbefahrenen Verkehrsträger Österreichs zu erheben. (KASPEROWSKI & FRANK, 1989).

4.1.14.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Der autobahnnächste Probepunkt 401 wies eine mittlere Wachsqualität von 2,8 auf. Dieser Wert entspricht leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen. An den Nadeloberflächen konnten Epidermisaufbrüche beobachtet werden. Staubpartikel wurden nicht detektiert, die Belegung mit Pilzhyphen und -sporen lag bei 24 % (Abb. 60).

Fichtennadeln des Probepunktes 402 zeigten geringere Beeinträchtigungen der Stomatawachse. Zum Teil konnten Verwerfungen und Aufbrüche der Nadeloberfläche beobachtet werden. Vergleicht man in diesem Zusammenhang die Chlorwerte der Nadeln, so wurden für diesen Probepunkt extrem hohe Chlorgehalte (0,41 %) nachgewiesen (Tab. 41). Die beobachteten Strukturzerstörungen könnten daher auf die Verwendung von Auftausalzen auf der A10 zurückzuführen sein.

Die schlechteste Wachsqualität des Höhenprofils wiesen die Nadeln des in 1650 m Seehöhe befindlichen Probepunktes 403 auf. Der ermittelte Wert von 4,1 entspricht stark beeinträchtigten Wachsstrukturen. Diese sind zum Teil mechanisch bedingt (Rekristallisationen), zum Teil jedoch - erkennbar am Erscheinungsbild der Wachsverschmelzungen - immissionsbedingt. In Abbildung 61 ist eine Spaltöffnung mit vorwiegend mechanisch bedingten Wachsverschmelzungen dargestellt. Eine Beeinflussung durch Immissionen des Kfz-Verkehrs kann wahrscheinlich wegen der bereits großen Entfernung zur Autobahntrasse ausgeschlossen werden. In dieser alpinen Höhenlage können es vielfältige Ursachen sein, die die starke Beeinträchtigung der Wachsstrukturen hervorgerufen haben. Neben Witterungseinflüssen können auch überregionale Phänomene, wie Schadstofftransporte oder erhöhte Ozonbelastungen eine Rolle spielen. Ähnliche Beobachtungen, nämlich stark beeinträchtigte Nadelwachse in Höhen um 1600 m Seehöhe, die nicht ausschließlich auf Witterungseinflüsse zurückzuführen sind, wurden auch entlang eines Höhenprofils bei Achenkirch in Tirol gemacht (TRIMBACHER, 1996c).

Der höchstgelegene Probepunkt 404 des Autobahnprofils wies mit einem Wert von 3,1 mittelstark beeinträchtigte Wachsstrukturen auf. Die veränderte Wachsmikromorphologie läßt sich hier in erster Linie auf mechanische Beeinträchtigungen durch verschiedenen Witterungseinflüsse zurückführen. Staubpartikel und Epibionten wurden auf den Nadeloberflächen nicht nachgewiesen.

Verglichen mit den Hintergrundstandorten, war die Wachsqualität am Halbprofil bei Zederhaus signifikant schlechter. Doch ist die erhöhte Wachsdegradation an den beiden von der Autobahn am weitesten entfernt gelegenen Probepunkten auch witterungsbedingt.

Tab. 40: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten am Höhenprofil „Stampemitzen“.

PP	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
401	2,8 ± 0,84	0	24
402	2,3 ± 0,54	0	1
403	4,1 ± 0,74	0	10
404	3,1 ± 0,66	0	0

Tab. 41: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln am Höhenprofil „Stampernitzen“.

PP Nr.	Cl %	S-Gesamt %	N-Kjeldahl %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
401	0,19	0,13	1,3	9.819	4.857	2.295	1.498
402	0,41	0,11	1,3	5.914	6.071	1.261	1.754
403		0,10	0,9	4.942	3.256	1.198	1.941
404		0,12	1,2	4.028	5.919	1.126	2.115

Tab. 42: Metallgehalte von Fichtennadeln am Höhenprofil „Stampernitzen“.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
401	3,6	54	159	38	18
402	3,4	59	452	83	80
403	2,0	29	1.071	57	85
404	3,9	41	1.190	26	38

Die Untersuchungen der Nährelementgehalte und der Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln ergaben, daß die Nadeln des Autobahnprofils bei Zederhaus signifikant höhere Gehalte an Phosphor und Kalium aufwiesen. Die Schwefelgehalte waren ebenso gegenüber den Hintergrundstandorten erhöht. Die Chloridgehalte der Nadeln, die nur an den beiden der Fahrbahn am nächsten gelegenen Probepunkten bestimmt wurden, waren erhöht und lagen über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert (vgl. Kapitel 4.3).



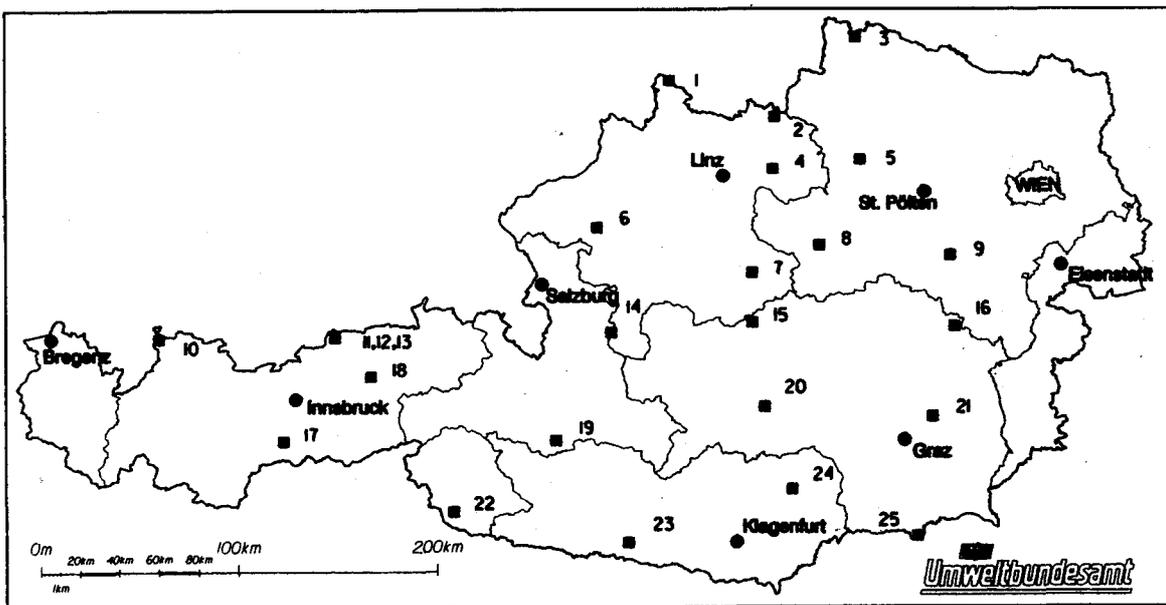
Abb. 60: Zederhaus/401, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung, die mit zahlreichen Sporen bedeckt ist. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 61: Zederhaus/403, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit hauptsächlich mechanisch bedingten Wachsveränderungen, erkennbar an Rekristallisationen (Pfeile). Vergrößerung: 3000fach.

4.2 Hintergrundstandorte

Um Vergleichsdaten zu emittentennahen Standorten zu erhalten, wurden auch Fichtennadeln von 25 österreichischen Hintergrundstandorten, d. h. von lokalen Schadstoffquellen unbeeinflussten Waldstandorten, hinsichtlich der Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung sowie der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen untersucht. Bei 21 dieser Probepunkte handelt es sich um WBS-Standorte (Waldschadens-Beobachtungssystem) der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien. Die Probepunkte 11, 12 und 13 liegen entlang des Höhenprofils Achenkirch in Tirol, einer im Kalkalpin befindlichen Dauerbeobachtungsfläche der FBVA. Der Probepunkt 7 liegt im Integrated Monitoring Gebiet Zöbelboden (Reichraming) des Umweltbundesamtes.



Lageplan der Hintergrundstandorte in Österreich.

4.2.1 Ergebnisse für das Jahr 1995

Die rasterelektronenmikroskopisch bestimmte Wachsqualität der Hintergrundstandorte lag im Bereich von 1,5 (unbeeinträchtigt) bis 4,0 (stark beeinträchtigt). Der Median lag bei 1,9. Dieser Wert entspricht unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. An drei der insgesamt 25 Probepunkte wurden stärkere Wachsdegradationen verzeichnet. Die Ursachen für die mittelstark beeinträchtigten Wachsstrukturen des Probepunktes 10 sind mechanische Einflüsse. 10 % der untersuchten Spaltöffnungen mußten mit Klasse 5 infolge starker mechanischer Beeinflussung bewertet werden. Dies ist eindeutig durch zahlreiche, rekristallisierte Wachsröhrchen zu erkennen. Erhebliche Wachsdegradationen wurden auch an den beiden Probepunkten 12 und 13 des Höhenprofils Achenkirch verzeichnet. Am Standort 12 in etwa 1.140 m Seehöhe gelegen, läßt sich die mittelstark beeinträchtigte Wachsqualität hauptsächlich auf mechanische Beeinflussung zurückführen. Die schlechte Wachsqualität des höchstgelegenen Probepunktes 13 des Höhenprofils ist nur zu einem geringen Teil mechanische bedingt. An Fichtennadeln dieses Punktes wurden zahlreiche, mit verschmolzenem, amorphen Wach nahezu vollständig verschlossene Spaltöffnungsvorhöfe beobachtet. Das Erscheinungsbild dieser Wachsdegradation sowie das Fehlen von rekristallisiertem Wachs lassen auf Immissionseinflüsse schließen (Trimbacher 1996c). Erhöhte Immissionseinflüsse des höchstgelegenen Standortes lassen sich auch anhand von Nadel- und Auflagehumusuntersuchungen auf organische Schadstoffe entlang dieses Höhenprofils indikativ ableiten (WEISS ET AL., 1996).

An keinem der 25 Hintergrundstandorte wurden auf den untersuchten Spaltöffnungen staubförmige Fremdpartikel beobachtet. Die Belegung der Nadeloberflächen mit Epibionten, d. h. mit diversem biologischen Material wie Pilzhyphen, oder verschiedene Sporen, lag im Bereich von 0 % bis 36 %.

Tab. 43: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung sowie Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibionten von Fichtennadeln österreichischer Hintergrundstandorte.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
1	2,0 ± 0,45	0	11
2	1,9 ± 0,43	0	7
3	2,1 ± 0,55	0	0
4	2,0 ± 0,32	0	4
5	2,0 ± 0,52	0	1
6	2,1 ± 0,67	0	21
7	1,7 ± 0,35	0	0
8	1,9 ± 0,31	0	10
9	1,9 ± 0,55	0	8
10	3,0 ± 1,10	0	36
11	1,9 ± 0,42	0	15
12	3,0 ± 1,06	0	22
13	4,0 ± 1,00	0	18
14	1,8 ± 0,83	0	22
15	1,9 ± 0,98	0	4
16	1,5 ± 0,52	0	6
17	1,9 ± 0,77	0	17
18	2,1 ± 0,84	0	24
19	1,9 ± 0,71	0	3
20	2,1 ± 0,68	0	8
21	1,6 ± 0,49	0	10
22	1,9 ± 0,72	0	17
23	1,6 ± 0,31	0	1
24	1,5 ± 0,23	0	1
25	1,5 ± 0,43	0	1

Tab. 44: Standortparameter der Untersuchungsstandorte. ¹ MW = Mühl-, Waldviertel; NA = Nördliches Alpenvorland, Nördliche Kalkalpen und Flyschzone („Nördl. Alpenbereich“); ZA = Zentralalpen; SA = Südliche Kalkalpen, Alpenostrand („Südost-Alpen“). ² Höhenprofil Achenkirch.

Standort	Seehöhe m. s. m.	Exposition	Hangnei- gung %	Alter (Jahre)	Lagekriterien ¹		
1	1.240	NW	10	25	nord	ost	MW
2	990	NW	20	78	nord	ost	MW
3	630	W	8	104	nord	ost	MW
4	450	NO	52	54	nord	ost	MW
5	860	-	0	95	nord	ost	MW
6	690	-	0	44	nord	west	NA
7	900	-	0	95	nord	ost	NA
8	700	N	30	70	nord	ost	NA
9	780	-	65	47	nord	ost	NA
10	1.160	SW	15	55	nord	west	NA
11 ²	840	N	*	*	nord	west	NA
12 ²	1.125	N	*	*	nord	west	NA
13 ²	1.650	N	*	*	nord	west	NA
14	1.120	N	44	83	nord	west	NA
15	840	W	8	86	nord	ost	NA
16	1.500	N	60	140	nord	ost	NA
17	1.740	-	80	105	süd	west	ZA
18	1.490	SW	25	160	nord	west	ZA
19	1.540	W	66	82	süd	west	ZA
20	1.150	N	92	112	süd	ost	ZA
21	450	NO	17	29	süd	ost	SA
22	1.670	SW	70	120	süd	west	SA
23	1.110	S	41	97	süd	west	SA
24	1.490	-	18	43	süd	ost	SA
25	670	NW	14	100	süd	ost	SA

Tab. 45: Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln an Hintergrundstandorten. GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP Nr.	S-Gesamt %	N-Gesamt %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
1	0,1	1,1	2.119	4.809	611	1.383
2	0,09	1,1	3.541	4.489	1.152	1.607
3	0,09	1	2.216	6.142	957	1.426
4	0,1	1,1	1.896	7.309	1.094	1.231
5	0,1	1,2	4.741	5.774	916	1.348
6	0,09	1,2	2.034	3.907	549	1.020
7	0,09	1,1	6.064	5.654	1.337	950
8	*	1,2	3.691	7.957	928	1.054
9	0,08	1	4.471	4.716	1.223	994
10	*	1	9.970	3.513	731	856
11	0,07	1	5.075	4.640	1.291	988
12	0,07	1	7.205	3.795	1.333	1.080
13	0,06	0,9	5.801	3.000	969	816
14	*	1,1	3.170	3.799	986	1.339
15	0,08	1,1	4.812	4.689	1.724	1.326
16	0,1	1,2	2.789	4.191	1.021	1.720
17	0,1	1,2	6.038	7.283	1.149	2.090
18	0,1	1,2	6.244	5.007	1.470	1.755
19	0,09	1	3.781	7.113	1.273	1.574
20	0,09	1,2	9.558	2.802	1.106	1.179
21	0,08	1,1	3.527	7.171	844	1.506
22	0,09	1,2	7.343	5.588	1.061	1.109
23	0,09	1	4.671	5.722	962	1.130
24	0,09	1,2	3.860	6.422	921	1.101
25	0,09	0,9	2.849	6.522	1.228	1.158

Tab. 46: Metallgehalte von Fichtennadeln an Hintergrundstandorten.

PP Nr.	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Al mg/kg
1	4,4	23	314	48	62
2	4,7	43	467	*	*
3	3,1	28	685	91	158
4	3,6	24	547	*	85
5	4,3	35	889	46	67
6	3,7	19	1.000	58	53
7	4,0	46	956	94	175
8	4,2	36	274	65	54
9	3,6	33	167	45	42
10	2,9	39	239	44	51
11	3,8	37	172	28	27
12	3,4	48	227	37	36
13	3,0	42	226	36	42
14	2,9	25	1.153	52	89
15	3,3	41	651	32	87
16	4,7	34	568	39	69
17	3,4	50	985	70	103
18	3,2	34	689	35	70
19	4,2	37	812	39	110
20	3,5	32	119	72	82
21	3,6	20	573	55	65
22	3,3	44	414	42	50
23	2,8	47	990	84	158
24	3,3	41	344	27	31
25	2,9	29	576	39	138

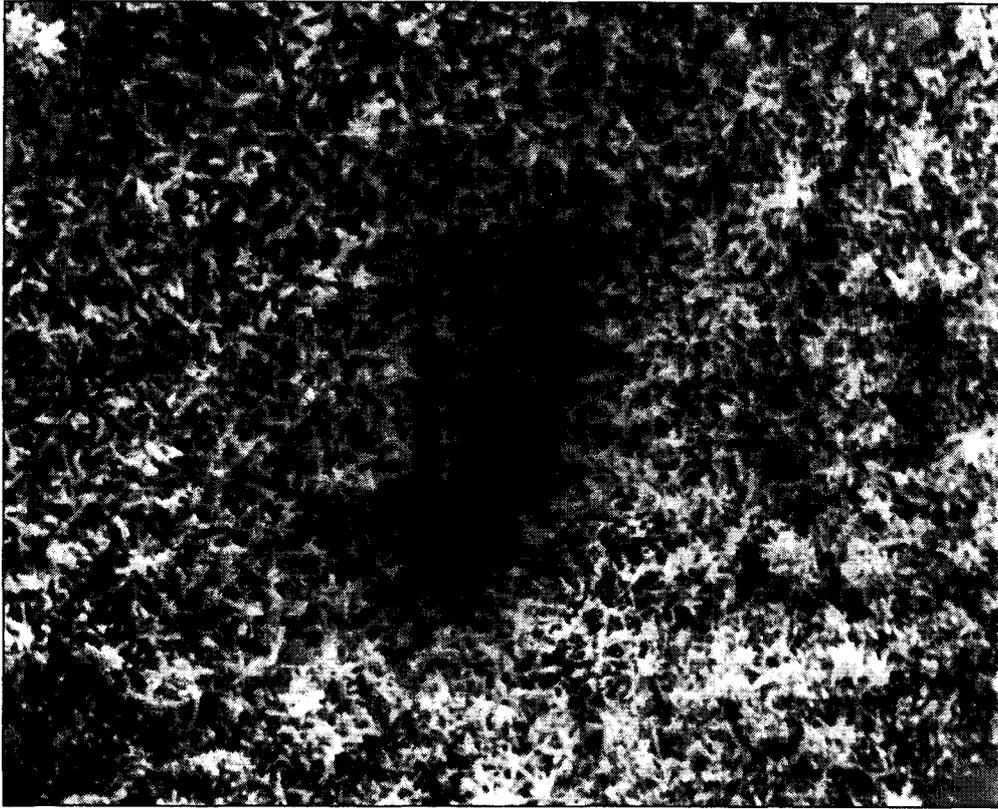


Abb. 62: Hintergrund/2, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intaktem Wachs. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 63: Hintergrund/12, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit mechanisch beeinträchtigtem Wachs, erkennbar an Rekristallisationen. Vergrößerung: 3000fach.

Für eine Überprüfung auf lagemäßige Unterschiede wurden die 25 Hintergrundstandorte zu Gruppen zusammengefaßt. Diese Gruppen entsprechen Standorten über und unter 1.000 m Seehöhe, östlichen und westlichen Standorten, nördlichen und südlichen Standorten. Die Trennung in „ost“ und „west“ erfolgte anhand der ideell verlängerten Grenze zwischen den Bundesländern Salzburg und Steiermark. Die Trennung zwischen „nord“ und „süd“ erfolgte anhand der Lage nördlich der Zentralalpen (nord) und in oder südlich davon (süd). Weiters wurden einzelne Standorte zu landschaftlichen Großeinheiten zusammengefaßt. Die Einteilung erfolgte nach ausgewiesenen Großlandschaften der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (1992), wobei nördliches Alpenvorland, Flyschzone und nördliche Kalkalpen zu „nördl. Alpen“ und die südlichen Kalkalpen und der Alpenostrand zu „Südostalpen“ zusammengefaßt wurden. Dies war aufgrund der geringen Stichprobenzahl erforderlich.

Anhand des Mehrgruppenvergleichs zeigt sich, daß sich diese landschaftlichen Großeinheiten hinsichtlich der gefundenen Wachsqualität 1995 signifikant unterscheiden. Nach den Ergebnissen der Tests für die Zweigruppenvergleiche weisen die Gruppen „Mühl-/Waldviertel“ sowie „nördliche Alpen“ eine signifikant schlechtere Wachsqualität auf als die Gruppe „Südostalpen“ (Abb. 64). Dementsprechend weist die Gruppe von Standorten nördlich der Zentralalpen eine signifikant schlechtere Wachsqualität auf als jene der südlichen Standorte. Dies gilt allerdings nur für das Jahr 1995, da eine derartige Überprüfung für die gleichen Standorte bezogen auf die Ergebnisse des Jahres 1993 diese Unterschiede nicht zeigte. Ein genereller Unterschied der Wachsqualität aufgrund der Lage kann somit nicht abgeleitet werden. Dies gilt auch für die Seehöhe, da weder Unterschiede zwischen den Gruppen über und unter 1.000 m hinsichtlich der Wachsqualität noch Korrelationen zwischen Seehöhe und Wachsqualität für die Jahre 1993 und 1995 abgesichert werden konnten. Ein Einfluß der Seehöhe auf die Wachsqualität dürfte somit auszuschließen sein.

Ähnliches gilt für die Epibiontenbelegung. Lediglich 1995 wiesen Standorte über 1.000 m Seehöhe eine signifikant höhere Epibiontenbelegung auf den Spaltöffnungen auf. Bei der Trennung nach östlichen und westlichen Standorten ist der Unterschied zwischen diesen beiden Jahren noch gravierender. 1995 wiesen westliche Standorte eine signifikant höhere Epibiontenbelegung auf, 1993 östliche (Abb. 65).

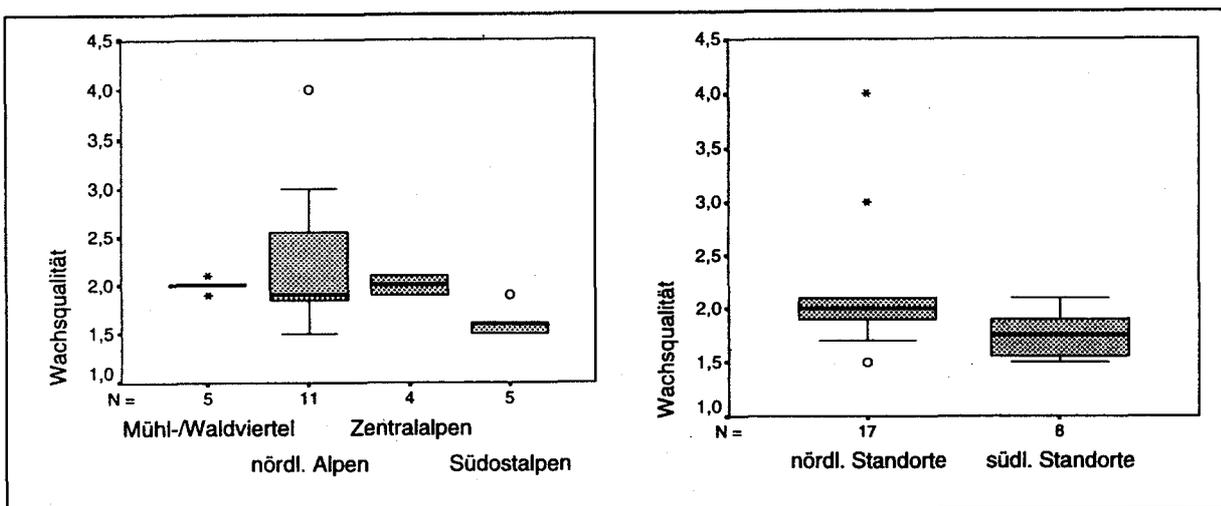


Abb. 64: Boxplots zur Wachsqualität 1995 getrennt nach Gruppen anhand von Lagekriterien.

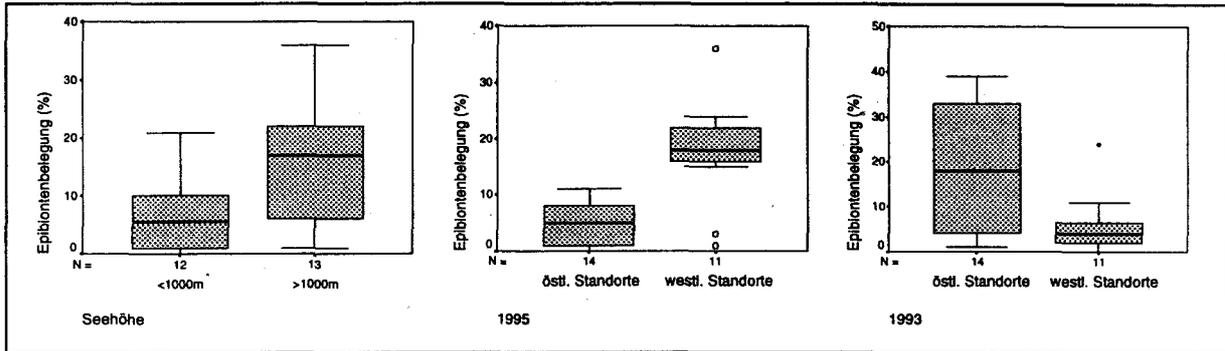


Abb. 65: Boxplots zu den Prozent der Spaltöffnungen mit Epibiontenbelegung der einzelnen Standorte getrennt nach den Lagekriterien Seehöhe (1995) sowie östliche/westliche Standorte (1995, 1993).

Sowohl für das Jahr 1995 als auch für das Jahr 1993 zeigt der Mehrgruppenvergleich, daß signifikante Gruppenunterschiede zwischen den einzelnen Großlandschaften hinsichtlich ihrer Schwefel-Nadelgehalte bestehen. In beiden Jahren weist jeweils das Mühl- und Waldviertel signifikant höhere Schwefelwerte als der nördliche Alpenbereich auf (Abb. 66). Anhand eines größeren Stichprobenumfanges, wie er alljährlich durch das forstliche Bioindikatornetz abgedeckt wird, zeigt sich ebenfalls, daß das Mühl- und Waldviertel zu jenen Regionen zählt, die vergleichsweise höhere Schwefelnadelgehalte aufweisen (STEFAN, 1996). Grenzüberschreitender Luftschadstofftransport ist als wesentliche Ursache für die vergleichsweise erhöhten Schwefel-Ergebnisse dieser Region anzunehmen.

Lediglich im Jahr 1995 zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Phosphor- und Kupfergehalten der Hintergrundstandorte einzelner Lagegruppen. Die Phosphorgehalte des nördlichen Alpenbereichs sind signifikant geringer als jene des Mühl- und Waldviertels und der Zentralalpen, jene der Gruppe „Südostalpen“ signifikant geringer als jene der Zentralalpen (Abb. 67). Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit jenen des österreichweiten Bioindikatornetzes (FÜRST, 1994). Die Ursachen für diese lagemäßigen Unterschiede dürften in erster Linie bodenbedingt sein. Ebenfalls nur im Jahr 1995 wies die Gruppe „östlicher Standorte“ signifikant höhere Kupfergehalte als jene der „westlichen“ auf. Im Jahr 1993 war dieser Unterschied ebenfalls gegeben, liegt aber mit $p=0,051$ knapp über dem Signifikanzniveau. Mögliche Ursachen für diesen Unterschied sind nicht bekannt.

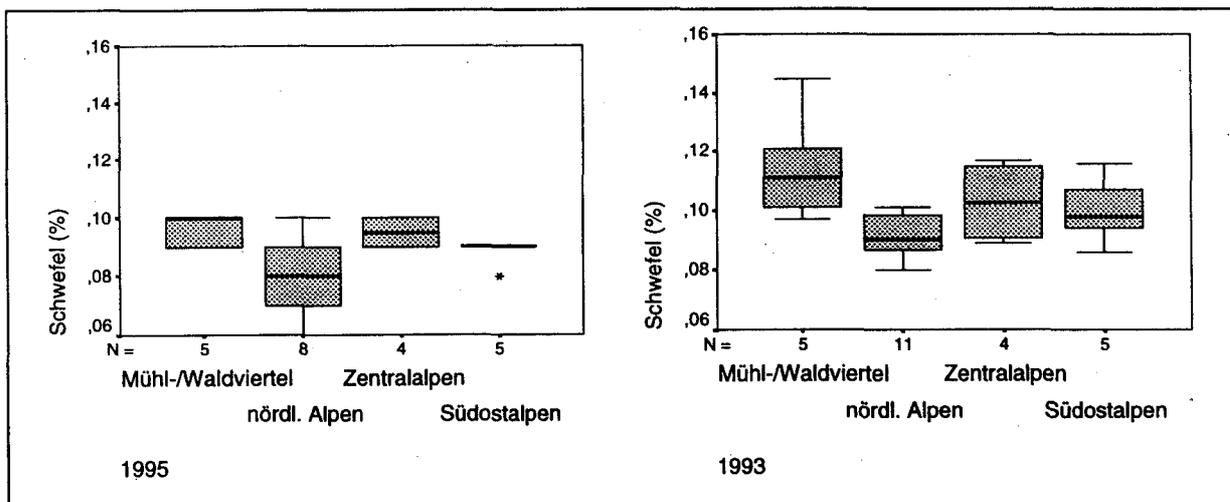


Abb. 66: Boxplots zu den Schwefelgehalten 1995 und 1993 getrennt nach Gruppen anhand von Lagekriterien.

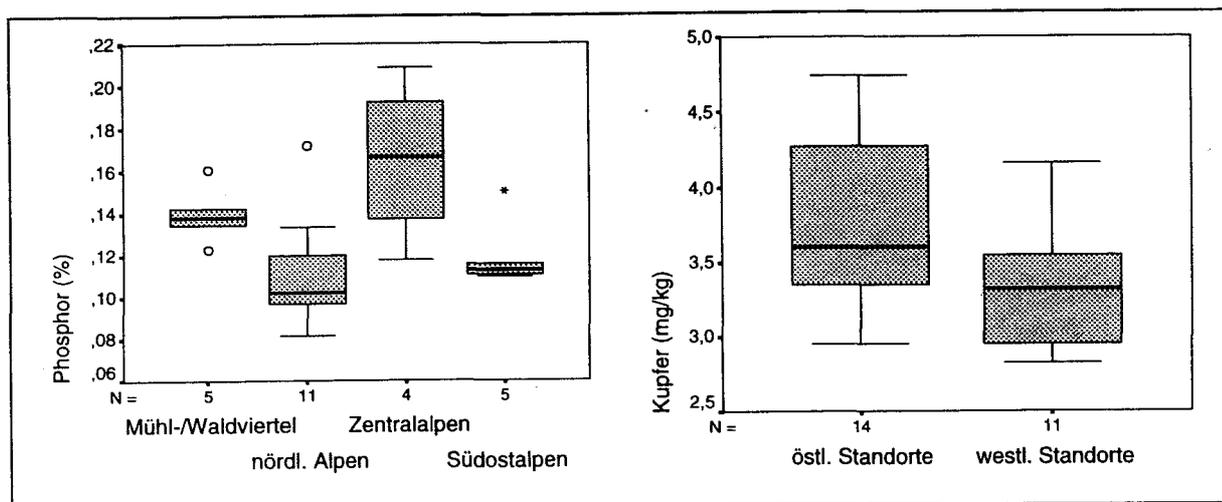


Abb. 67: Boxplots zu den Phosphor- und Kupfergehalten 1995 getrennt nach Gruppen anhand von Lagekriterien.

Mittels schrittweiser Regression konnte anhand der vorliegenden Hintergrund-Daten für das Jahr 1993 ein Zusammenhang der Wachsqualität gemeinsam mit den Mangan- und Schwefelgehalten der Nadeln sowie der Kronenverlichtung errechnet werden (TRIMBACHER ET AL., 1995). Mittels der Daten für das Jahr 1995 für die identen Standorte konnte dieser Zusammenhang nicht reproduziert werden. Im Jahr 1995 zeigte die Wachsqualität der Hintergrundstandorte einen signifikanten, schwach positiven Zusammenhang mit der Epibiontenbelegung und einen signifikanten, schwach negativen Zusammenhang mit dem Kaliumgehalt der Nadeln. Beide Ergebnisse dürften eher zufällig zustandekommen (vgl. Kap. 4.4.1).

Da es sich bei den meisten Hintergrundstandorten um Aufnahmeflächen des Waldschadensbeobachtungssystems der Forstlichen Bundesversuchsanstalt handelt, liegen auch für das Jahr 1995 Daten zur Kronenverlichtung bzw. zum Entnadelungsprozent vor (NEUMANN, pers. Mitteilung). Die herangezogenen Kronenverlichtungsdaten umfassen einerseits ein Kollektiv von Fichten je Standort sowie jene beiden Fichten je Standort, die für die vorliegende Untersuchung beprobt wurden. Es wurde eine Zuteilung in Gruppen von verlichteten und unverlichteten Standorten jeweils anhand der Kronenverlichtungsdaten für das Gesamtkollektiv von Fichten je Standort sowie für die beiden beprobten Fichten je Standort durchgeführt. Nach beiden Zuteilungen konnten für das Jahr 1995 keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen „verlichtet“ und „unverlichtet“ hinsichtlich der Wachsqualität nachgewiesen werden. Ein Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern an Hintergrundstandorten scheint somit nicht gegeben zu sein.

Die Schwefelgehalte des 1. Nadeljahrganges zeigen eine signifikante, ausgeprägt positive Korrelation mit dem Stickstoff- und dem Phosphorgehalt der Nadeln (Abb. 68), sind zudem noch signifikant positiv mit dem Manganengehalt der Nadeln und signifikant negativ mit den Boden-pH-Werten korreliert (pH-Werte - MUTSCH, pers. Mitteilung). Besonders die Korrelation zwischen den Schwefel- und Stickstoffgehalten ist von besonderem Interesse, da sich diese nicht nur für die Hintergrundstandorte, sondern für das Gesamtkollektiv, also belastete und unbelastete Standorte gemeinsam, zeigte (Kap. 4.4.3).

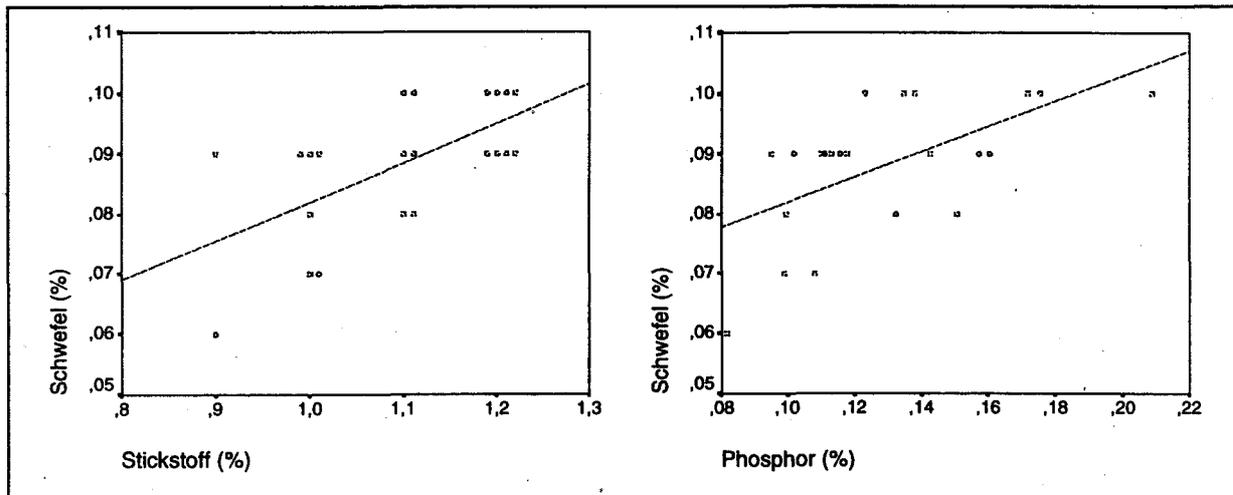


Abb. 68: Scatterplots zu den Schwefel- und Stickstoff- bzw. Schwefel- und Phosphorgehalten einjähriger Nadeln der untersuchten Hintergrundstandorte und zugehörige Regressionsgeraden.

Die Nadelgehalte der Elemente Calcium und Zink weisen eine signifikante, ausgeprägt positive Korrelation auf (Abb. 69). Dieser Zusammenhang dürfte bodenbedingt erklärbar sein (vgl. FÜRST, 1996b). Die Magnesiumgehalte sind ebenso signifikant positiv, aber nicht sehr straff mit den Zinkgehalten korreliert. Die Calciumgehalte sind zudem signifikant negativ mit den Kaliumgehalten und positiv mit den pH-Werten des Bodens korreliert (Abb. 69, pH-Werte - MUTSCH, pers. Mitteilung). Der Zusammenhang mit dem pH-Wert ist durch bodenchemische Eigenschaften erklärbar.

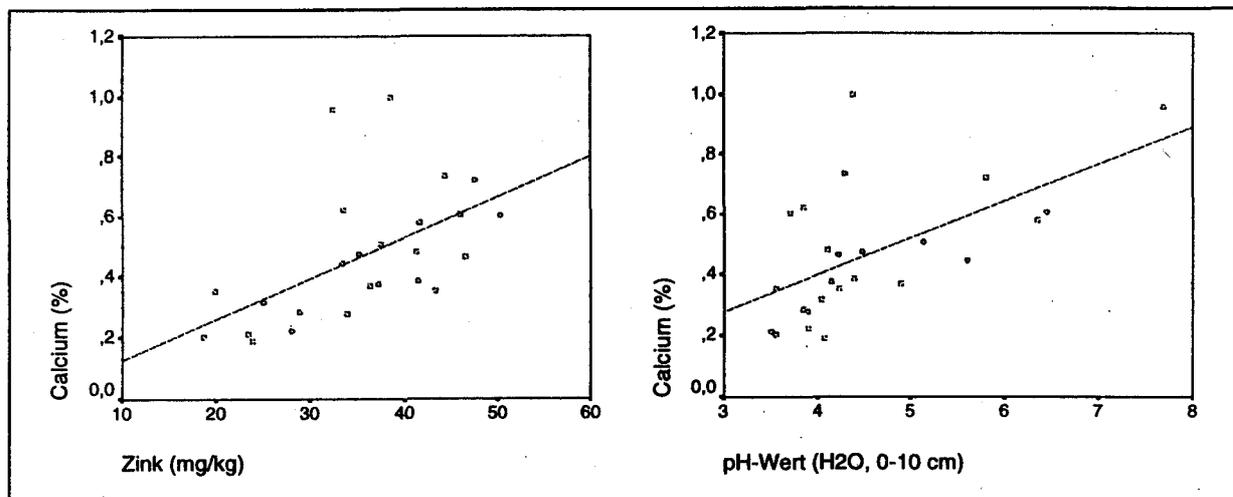


Abb. 69: Scatterplots zu den Calcium- und Zinkgehalten der einjährigen Nadeln bzw. Calciumgehalten und Boden-pH-Werten der untersuchten Hintergrundstandorte und zugehörige Regressionsgeraden.

Die Phosphorgehalte korrelieren - neben dem Zusammenhang mit den Schwefelgehalten - mit den Mangan- und Aluminiumgehalten der Nadeln signifikant positiv, mit den pH-Werten des Bodens signifikant negativ (pH-Werte - MUTSCH, pers. Mitteilung).

Die Aluminiumgehalte korrelieren signifikant positiv mit den Mangan- und Eisengehalten der Nadeln (Abb. 70). Allen drei Elementen ist gemein, daß sie bei sauren Bodenbedingungen in erhöhtem Ausmaß aus dem Boden aufgenommen werden. Dies zeigt sich auch anhand der negativen Korrelationen zwischen den Aluminium-, v. a. aber Mangangehalten mit den pH-Werten des Bodens.

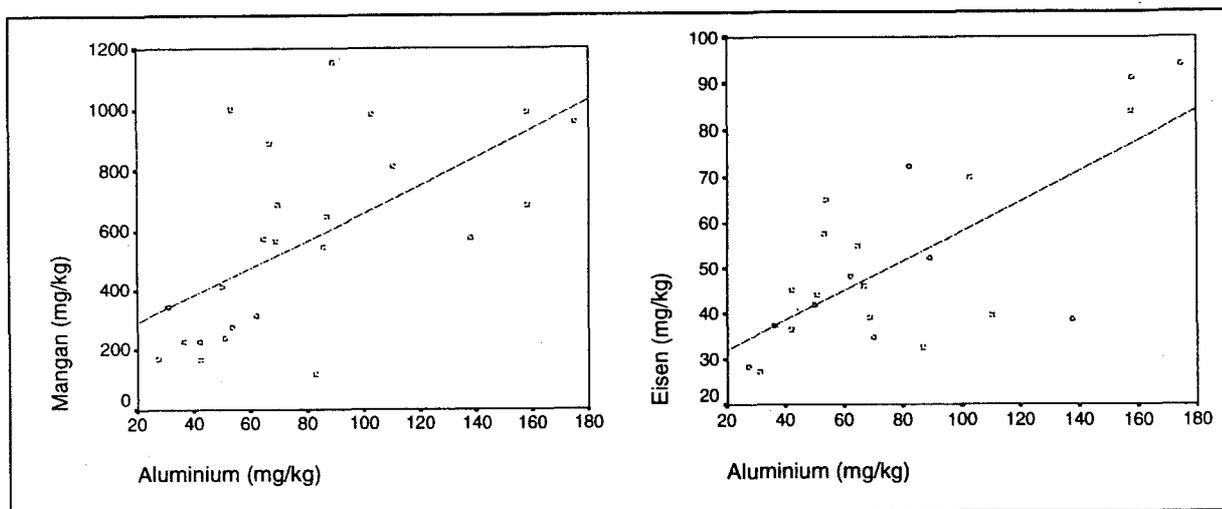


Abb. 70: Scatterplots zu den Aluminium- und Mangan- bzw. Aluminium- und Eisengehalten einjähriger Nadeln der untersuchten Hintergrundstandorte und zugehörige Regressionsgeraden.

4.2.2 Unterschiede zwischen den Jahren 1993 und 1995

Im Jahr 1993 war die Wachsqualität der Hintergrundstandorte tendenziell schlechter als 1995. Ein statistischer Vergleich der identen Hintergrundstandorte zeigt jedoch keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Wachsqualität zwischen den Jahren 1993 und 1995. Die Elementgehalte der Nadeln unterscheiden sich teilweise in diesen beiden Jahren signifikant. Diese Unterschiede dürften in erster Linie witterungsbedingt sein (vgl. STEFAN, 1996; FÜRST, 1994). Die Stickstoff-, Phosphor-, Schwefel- und Kupfergehalte des Jahres 1993 sind signifikant höher als jene des Jahres 1995. Umgekehrt sind die Eisen-, Zink und Aluminiumgehalte des Jahres 1995 signifikant höher als jene des Jahres 1993. Dazu kommt, daß das 100-Nadelgewicht im Jahr 1993 signifikant höher war als 1995 (Abb. 71). Während für 1995 kein Staub auf den untersuchten Spaltöffnungen nachgewiesen werden konnte, waren im Jahr 1993 nahezu auf allen Standorten Staubpartikel auf den Spaltöffnungen vorhanden (Tab. 47). Auch dieses Ergebnis dürfte witterungsbedingte Ursachen haben.

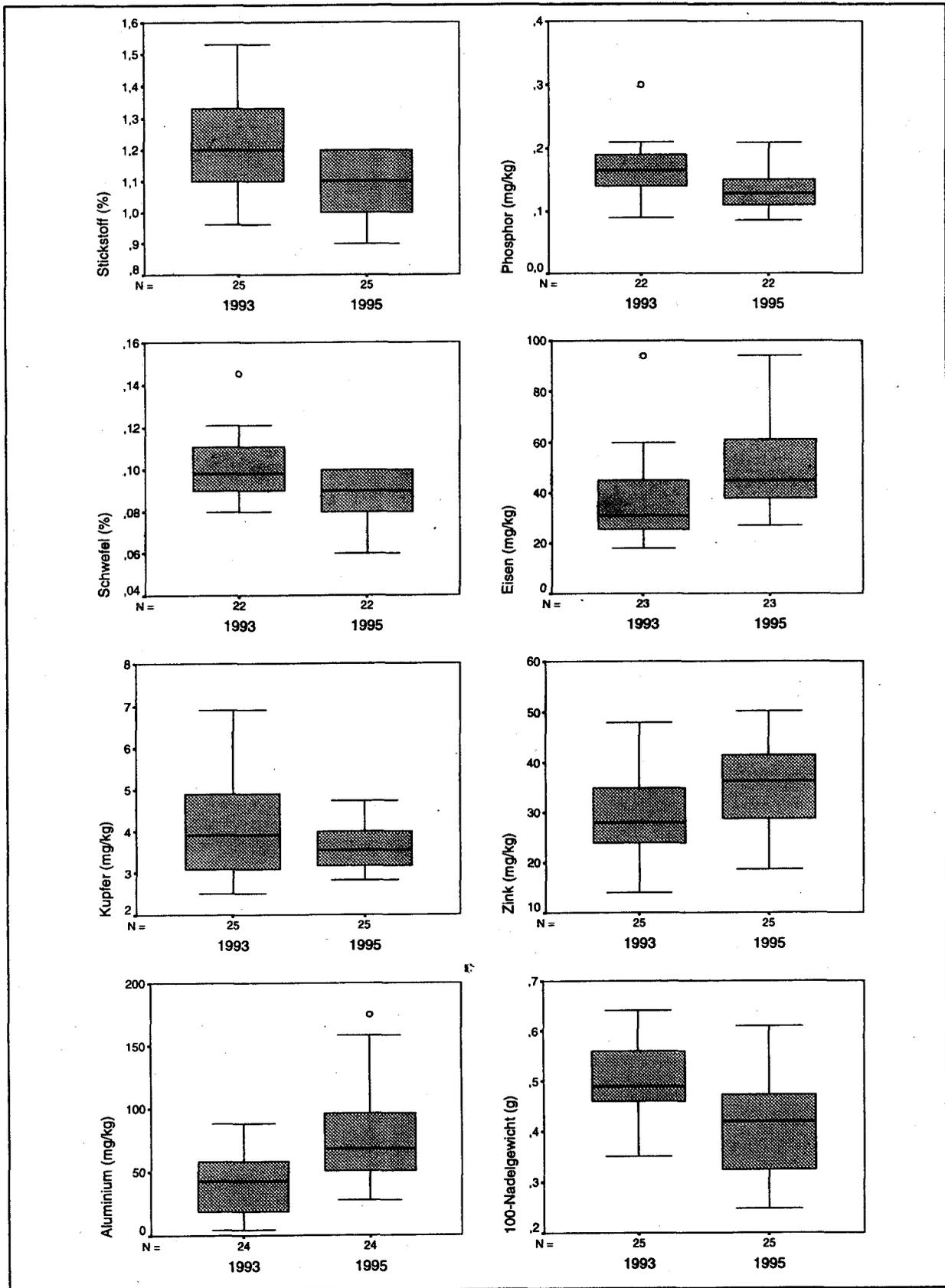


Abb. 71: Boxplots zu den Nadelgehalten für die Elemente Stickstoff, Phosphor, Schwefel, Eisen, Kupfer, Zink und Aluminium sowie zum 100-Nadelgewicht der Hintergrundstandorte in den Jahren 1993 und 1995.

Tab. 47: Kreuztabelle zu den Hintergrundstandorten mit und ohne Staub auf den Nadeln in den Jahren 1993 und 1995.

			kein Staub	Staub	Total
JAHR	1993	n	1	24	25
		% des Jahres	4,0%	96,0%	100,0%
	1995	n	25		25
		% des Jahres	100,0%		100,0%

4.3 Vergleiche nach Standortskategorien

4.3.1 Wachsqualität, Gips-, Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln

Nach gutachterlicher Einteilung aller Standorte in die Kategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ wurde geprüft, ob sich diese Gruppen hinsichtlich der Parameter Wachsqualität, Gipskristalle, Staub- und Epibiontenbelegung unterscheiden. Dabei wurden nur die Ergebnisse für das Jahr 1995 herangezogen. Standorte mit der Bezeichnung „Hintergrund“ sind durchwegs in sehr großer Distanz zu Ballungsräumen, öffentlichen Straßen und Betrieben. In der Gruppe „nahe Emittenten“ sind jene Standorte der untersuchten Ballungsräume, öffentlichen Straßen und/oder Betriebe zusammengefaßt, wo aufgrund der Lage bereits geringerer Einfluß dieser Quellen vermutet wird. Standorte in der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ liegen im unmittelbaren Nah- und daher Einflußbereich der untersuchten Quellen.

Im Mehrgruppenvergleich zeigt sich, daß sich diese Gruppen hinsichtlich der Wachsqualität, jedoch nicht hinsichtlich der Epibiontenbelegung signifikant unterscheiden (Abb. 72, Abb. 73). Standorte der Gruppen „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ weisen eine signifikant schlechtere Wachsqualität der Spaltöffnungen auf als die Gruppe „Hintergrund“. Die Gruppe „nahe Emittenten“ weist zwar tendenziell eine bessere Wachsqualität als die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ auf, dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Die beiden in Abb. 74 und Abb. 75 ersichtlichen Ausreißer bei der Wachsqualität für die Gruppe „Hintergrund“ konnten, im Unterschied zu den Beeinträchtigungen der Wachsqualität der beiden anderen Gruppen, eindeutig auf mechanische Beeinträchtigungen zurückgeführt werden (vgl. Kap. 4.2).

Besonders die Standorte Zederhaus und Linz weisen eine vergleichsweise schlechte Wachsqualität auf. Statistisch absicherbar war die schlechtere Wachsqualität im Vergleich zum Hintergrund bei den Standorten Radenthein, Breitenau, Leoben, Innsbruck, Zederhaus, Radfeld und Linz. Demgegenüber liegt der Median der Wachsqualität der Standorte Arnoldstein und Reutte ähnlich jenem der Hintergrundstandorte (Abb. 74).

Auch die Epibiontenbelegung auf den Spaltöffnungen ist in Linz im Vergleich zum Hintergrund signifikant erhöht. Obwohl Unterschiede zum Hintergrund nicht statistisch absicherbar sind, weisen auch die untersuchten Standorte in Treibach und Graz tendenziell eine höhere Epibiontenbelegung auf. Dazu kommen einzelne Standorte mit Extremwerten in den Regionen Radenthein, Breitenau und Innsbruck. Die untersuchten Fichtennadeln der Regionen Arnoldstein und Reutte sind wiederum unauffällig (Abb. 75).

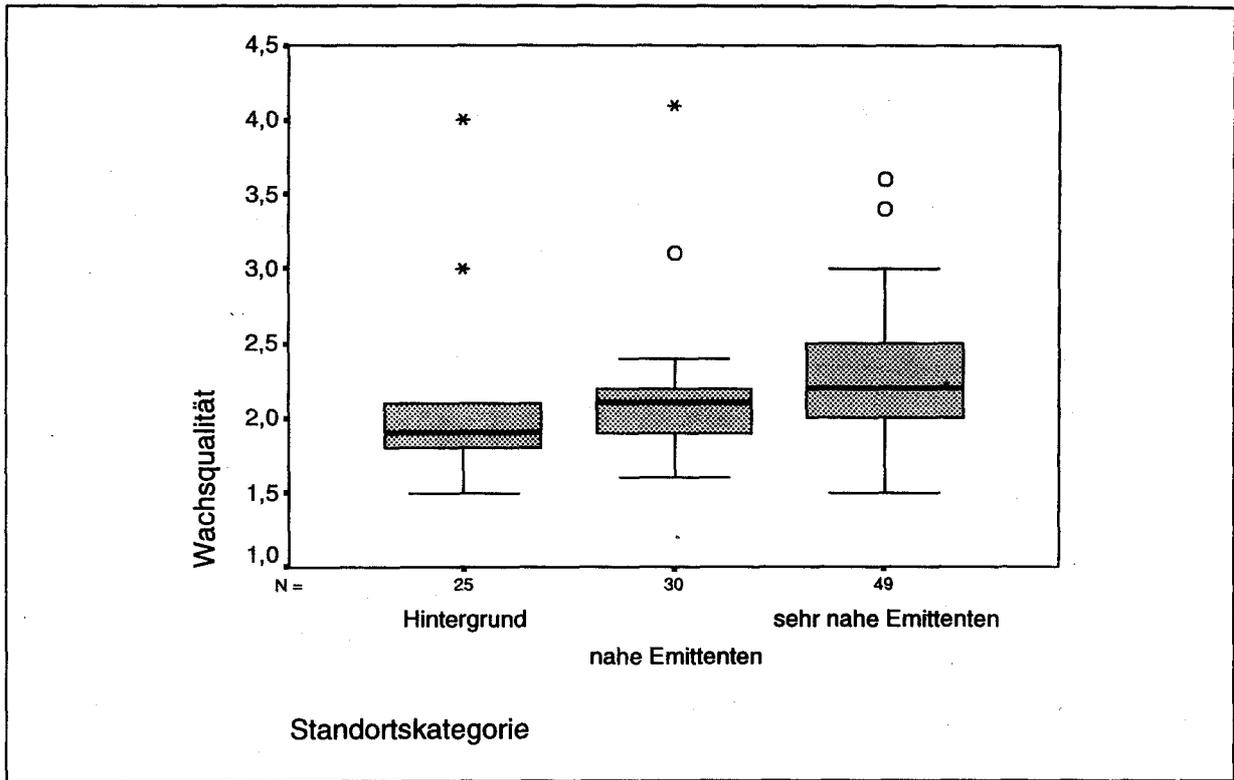


Abb. 72: Boxplots zur Wachsqualität der Standortskategorie-Gruppen.

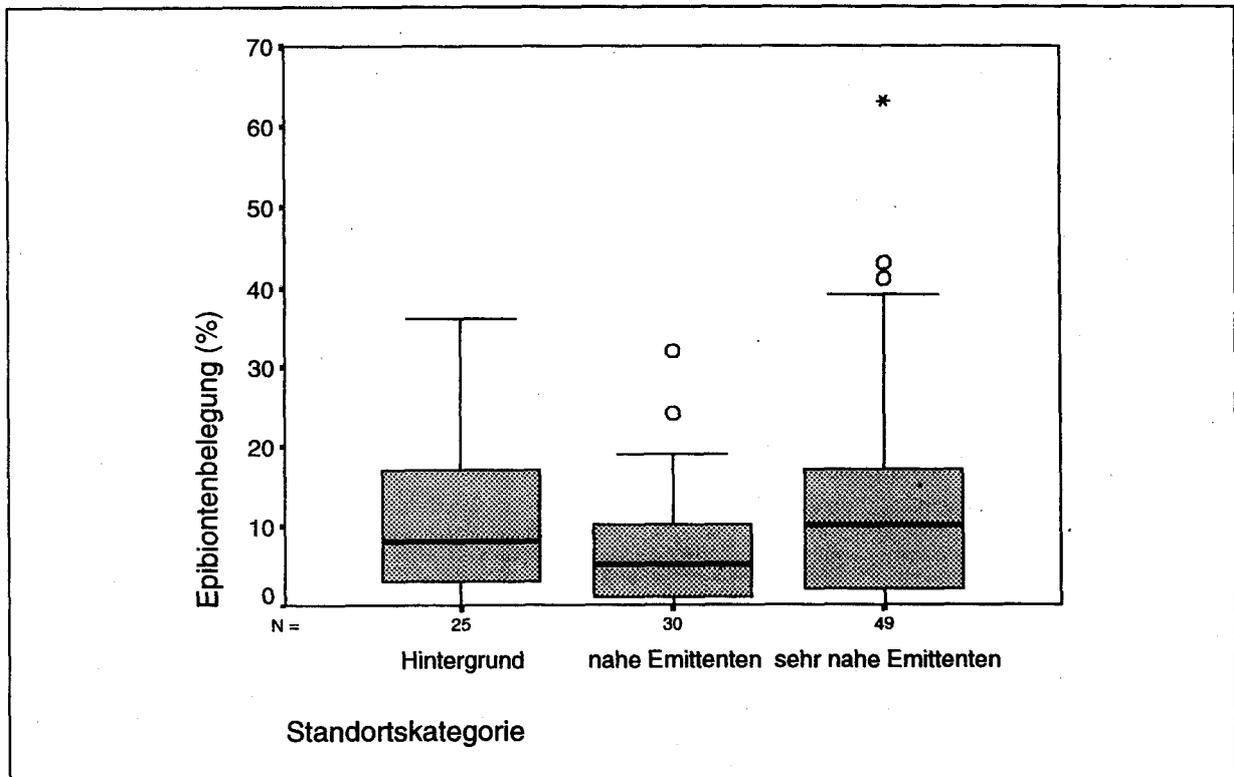


Abb. 73: Boxplots zu den Prozent der Spaltöffnungen mit Epibiontenbelegung getrennt nach Standortskategorien.

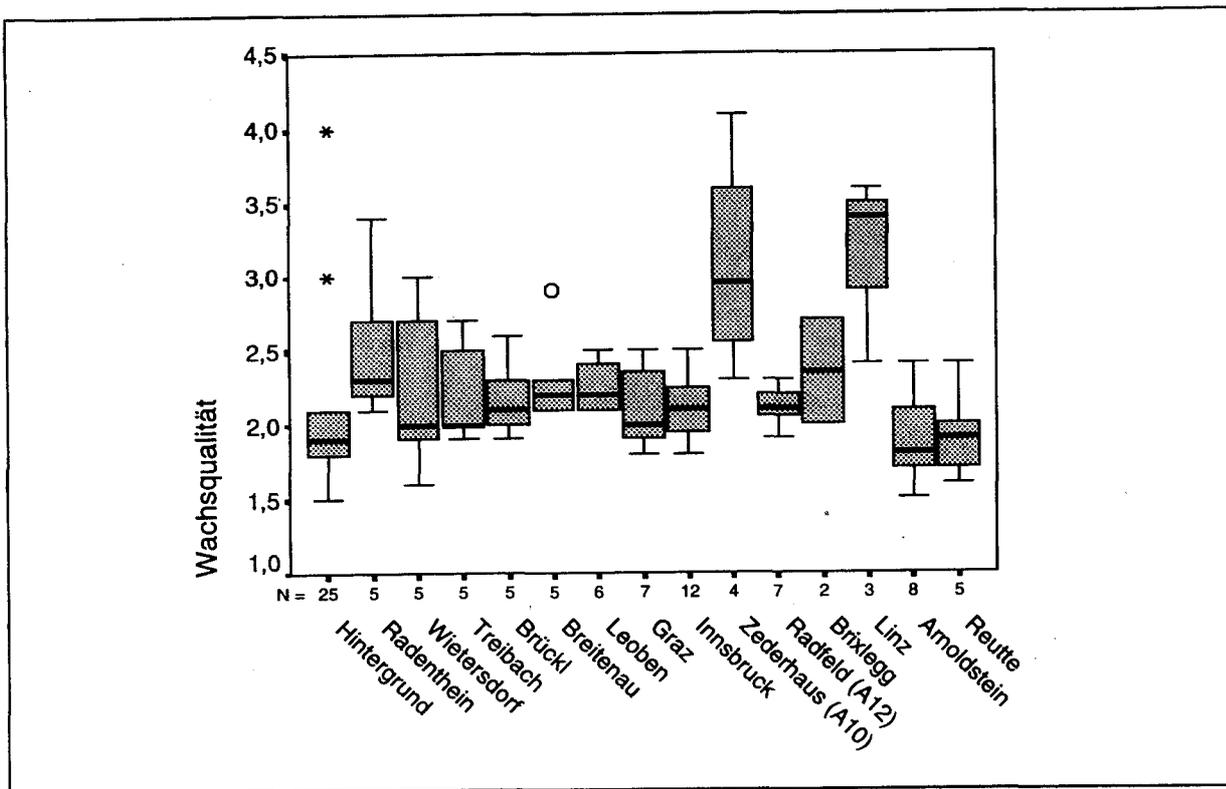


Abb. 74: Boxplots zur Wachsqualität der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund.

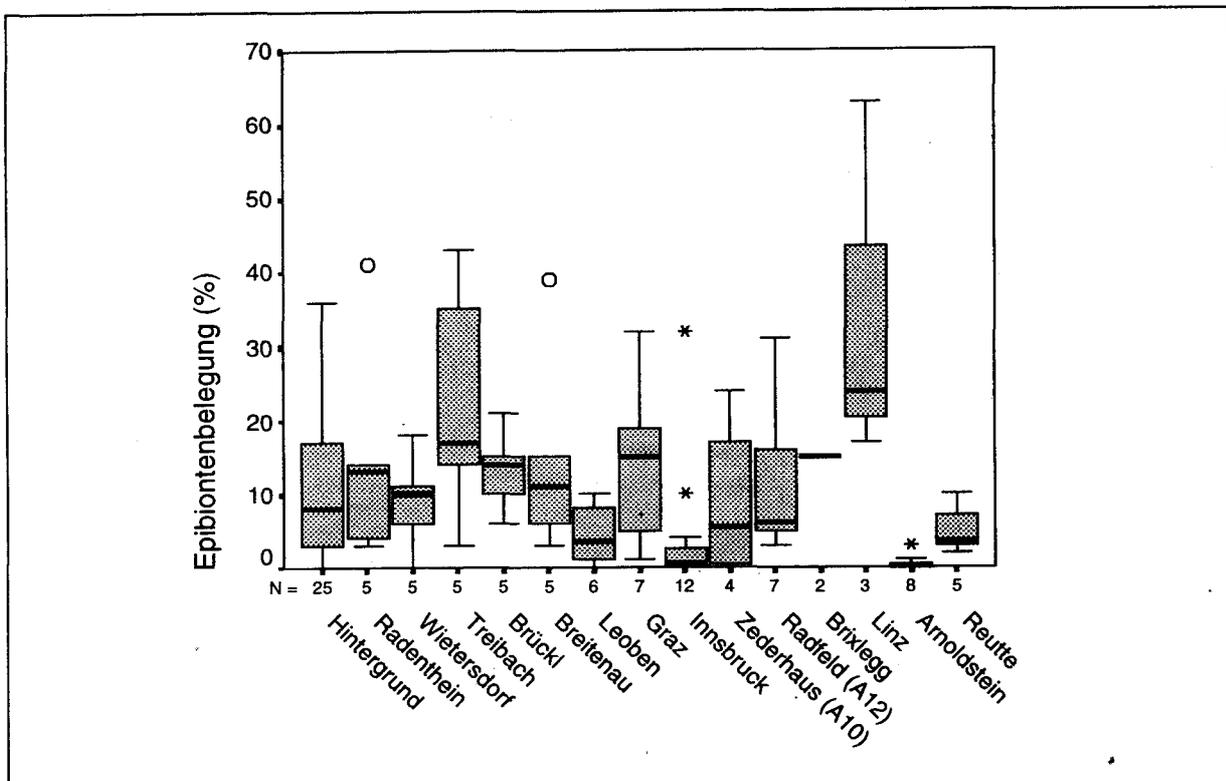


Abb. 75: Boxplots zu den Prozent der Spaltöffnungen mit Epibiontenbelegung der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund.

Auch die Staubebelegung und das Auffinden von Gipskristallen auf den Nadeln ist abhängig von der Lage der Standorte. Diese Unterschiede zwischen den Standortskategorien konnten mittels Chi-Quadrat-Test abgesichert werden. Auf den Spaltöffnungen von Fichtennadeln der Hintergrundstandorte konnte 1995 kein Staub gefunden werden. Im Einflußbereich von Emittenten ist die Staubebelegung auf jenen Standorten höher, die näher zu den Emittenten liegen (Tab. 47). Die „Sonderklasse 6“, das sind Spaltöffnungen die vollkommen mit Staub zugedeckt sind, wurde nur bei Standorten die sehr nahe zu Emittenten liegen, gefunden (Tab. 48).

Gemäß Abbildung 76 sind einzelne Standorte besonders in Radenthein, Wietersdorf, Brückl, Breitenau, Leoben und Linz hinsichtlich der Staubebelegung auf den Spaltöffnungen auffällig.

Tab. 47: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Staub auf den Spaltöffnungen gefunden wurde.

			Staub		Total
			kein Staub	Staub	
Standortskategorie	Hintergrund	n	25		25
		% innerhalb Standortskategorie	100,0%		100,0%
	nahe Emittenten	n	25	5	30
		% innerhalb Standortskategorie	83,3%	16,7%	100,0%
	sehr nahe Emittenten	n	34	15	49
		% innerhalb Standortskategorie	69,4%	30,6%	100,0%
Total		n	84	20	104
		% innerhalb Standortskategorie	80,8%	19,2%	100,0%

Tab. 48: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo die „Sonderklasse 6“ (Spaltöffnungen vollkommen mit Staub bedeckt) gefunden wurde.

			Sonderklasse 6		Total
			nicht vorh.	vorhanden	
Standortskategorie	Hintergrund	n	25		25
		% innerhalb Standortskategorie	100,0%		100,0%
	nahe Emittenten	n	30		30
		% innerhalb Standortskategorie	100,0%		100,0%
	sehr nahe Emittenten	n	44	5	49
		% innerhalb Standortskategorie	89,8%	10,2%	100,0%
Total		n	99	5	104
		% innerhalb Standortskategorie	95,2%	4,8%	100,0%

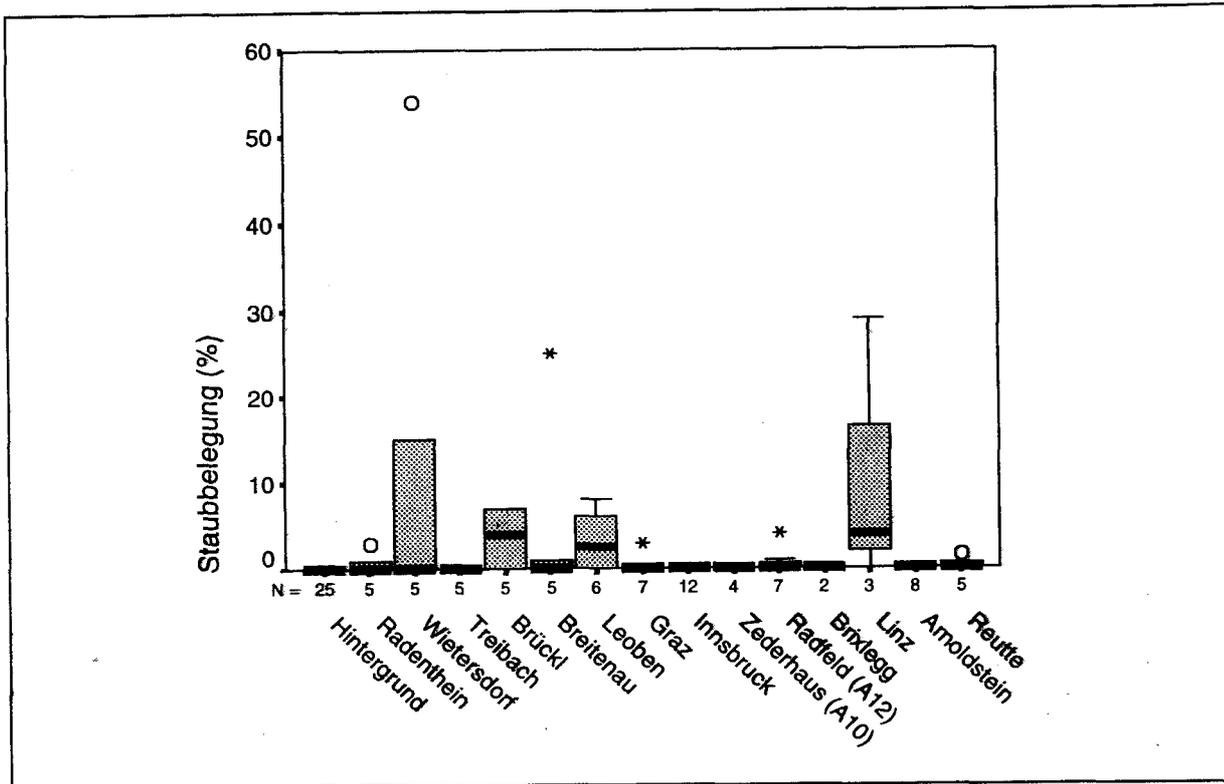


Abb. 76: Boxplots zu den Prozent der Spaltöffnungen mit Staubbelegung der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund.

Die Standorte der Kategorie „Hintergrund“ haben keine Gipskristalle über den Spaltöffnungen. Jene sehr nahe von Emittenten weisen den höchsten Prozentsatz von Standorten auf, wo Gipskristalle auf den Spaltöffnungen gefunden wurden. Immerhin bei rd. 20 % der Standorte der Kategorie „sehr nahe Emittenten“ konnten Gipskristalle gefunden werden (Tab. 49). Von Bedeutung in diesem Zusammenhang ist, daß der Schwefel im Gipskristall von der Luftschadstoffbelastung herrührt, das Calcium im Kristall jedoch von der Abgabe aus den Nadeln herrührt (HEINZE & FIEDLER, 1992, vgl. Kap. 4.4). Das Auffinden der Gipskristalle ist somit ein guter Indikator für erhöhtes „leaching“ von Nährstoffen aus den Nadeln aufgrund von Schwefelbelastungen. Dem Kapitel 4.1 kann entnommen werden, bei welchen Standorten Gips gefunden wurde.

Zusammenfassend kann somit gesagt werden, daß Standorte im Einflußbereich von Emittenten eine signifikant schlechtere Qualität der Spaltöffnungswachse aufweisen. Weiters ist eine höhere Staubelegung und das Auffinden von Gipskristallen mit der Nähe zu Emittenten gekoppelt. Diese Ergebnisse verdeutlichen, daß das dargestellte Verfahren eine sehr sensible und geeignete Methode der Bioindikation darstellt und daß im Nahbereich von Emittenten offenbar stärkere wachsschädigende Einflüsse vorhanden sind. Es liegt auf der Hand, daß diese Einflüsse mit höheren Immissionsbelastungen aufgrund nahegelegenen Quellen in Verbindung zu bringen sind.

Tab. 49: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Gipskristalle auf den Spaltöffnungen gefunden wurden.

			GIPS		Total
			kein Gips	Gips gefunden	
Standortskategorie	Hintergrund	n	25		25
		% innerhalb Standortskategorie	100,0%		100,0%
	nahe Emittenten	n	29	1	30
		% innerhalb Standortskategorie	96,7%	3,3%	100,0%
	sehr nahe Emittenten	n	39	10	49
		% innerhalb Standortskategorie	79,6%	20,4%	100,0%
Total		n	93	11	104
		% innerhalb Standortskategorie	89,4%	10,6%	100,0%

4.3.2 Nähr- und Schadstoffgehalte der Fichtennadeln

Eine Überprüfung der Standortskategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ auf Unterschiede hinsichtlich der Gehalte einzelner Nähr- und Schadelemente erbrachte bemerkenswerte Ergebnisse. Zu berücksichtigen bei diesen Ergebnissen ist, daß nicht für alle Standorte Ergebnisse zu den Nadelgehalten vorliegen.

Der Mehrgruppenvergleich ergab, daß sich die drei Standortskategorien hinsichtlich der Gehalte einjähriger Nadeln bei allen Elementen außer Mangan und Zink signifikant unterscheiden. Anhand der Zwei-Gruppenvergleiche wird deutlich, daß die Gruppe der Hintergrundstandorte signifikant geringere Stickstoff-, Phosphor-, Calcium-, Kalium-, Magnesium-, Schwefel-, Kupfer- und sogar Zinkgehalte hat als jeweils die Gruppe von Standorten nahe und sehr nahe von Emittenten (Abb. 77). Zudem sind die Eisengehalte der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ signifikant höher als jene der Gruppe „Hintergrundstandorte“ und jene der Gruppe „nahe Emittenten“. Eisen stellt somit ein Element dar, daß lediglich im Bereich sehr nahe von Emittenten in vergleichsweise höheren Konzentrationen nachzuweisen ist. Bei Aluminium weisen die Hintergrundstandorte signifikant höhere Gehalte auf als jene im Nahbereich von Emittenten. Bemerkenswert ist weiters, daß das 100-Nadelgewicht der Standorte im Bereich sehr nahe von Emittenten signifikant höher ist als auf Standorten im Hintergrund (Abb. 77).

Für einzelne dieser Elemente war dieses Ergebnis zu erwarten. Beispielsweise bei Stickstoff und Schwefel entspricht dies dem Umstand, daß höhere Konzentrationen in der Luft bzw. Depositionen dieser Elemente im Nahbereich von Emittenten sich in höheren Nadelgehalten äußern. Nahezu alle Standorte der Kategorien „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ überschreiten den Grenzwert für Schwefel der 2. Verordnung für forstschädliche Luftverunreinigungen, was als Indiz für erhöhte Schwefelbelastungen gewertet werden kann. Zusätzlich zum Unterschied zwischen Hintergrundstandorten und emittentennahen Standorten weist die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ signifikant höhere Schwefelgehalte als die Gruppe „nahe Emittenten“ auf. Grenzwertüberschreitungen bei Schwefel in den Nadeln klassischer österreichischer Emissionsgebiete konnten auch laufend durch das verdichtete Bioindikationsnetz der Forstlichen Bundesversuchsanstalt festgestellt werden (STEFAN, 1996).

Bei den anderen Elementen könnten diese Unterschiede zwischen Hintergrundstandorten und emittentennahen Standorten ebenfalls mit Depositionen oder mit der Staubbelegung auf

den Nadeln in Zusammenhang stehen. Depositionsmessungen zeigen, daß diese Elemente im Nahbereich von Ballungsräumen oder Emittenten in höherem Ausmaß deponiert werden als in Hintergrundgebieten (z. B. SOMMER ET AL., 1993). Diese Depositionen in den Boden könnten von den Pflanzen für die Ernährung genützt werden. Es deutet jedoch vieles daraufhin, daß ein Gutteil der Differenz zwischen Nadelgehalten im Nahbereich von Emittenten und jenen im Hintergrund durch die Staubebelegung auf den Nadeln von emittentennahen Standorten erklärbar ist. Die EDX-Spektren in Kapitel 4.1 zeigen, daß diese Nährelemente in anhaftenden Staubpartikeln detektierbar sind. Ein weiteren Hinweis dazu liefert der Vergleich der Standortgruppen mit Staub auf den Spaltöffnungen und ohne Staub auf den Spaltöffnungen. Die Gruppe mit Staub weist signifikant höhere Phosphor-, Calcium- und Eisengehalte auf (Kap. 4.4). Dies alles stellen Indizien dar, daß ein Teil der Nadelgehalte auf anlagernden Staub zurückzuführen ist. Dies läßt eine Beurteilung nach Richtwerten zur Ernährungssituation für Standorte im Nahbereich von Emittenten eher fragwürdig erscheinen, da durch den Einfluß anhaftenden Staubs Gehalte vorgetäuscht werden, die nur teilweise die tatsächliche Ernährung der Bäume widerspiegeln. In künftigen Untersuchungen zur Beurteilung der Ernährungssituation im Nahbereich von Emittenten sollte dies berücksichtigt werden.

Zur näherungsweise Einordnung wurden in Abbildung 77 trotzdem Grenz- und Richtwerte zur Beurteilung der Nadelgehalte in Form einer Linie eingefügt. Es ist ersichtlich, daß insbesondere bei Stickstoff „Unterversorgung“ bei allen Standortskategorien auftritt. Die Hintergrundstandorte liegen sogar unter der Mangelgrenze von 1,30 %. Kritisch angemerkt werden muß aber, daß u.a. die Stickstoff-Richtwerte sich von Düngemittelversuchen ableiten und bestenfalls einen Indikator für optimales Wachstum darstellen (vgl. GUSSONE, 1964). Diese Richtwerte stellen jedenfalls keine Größe dar, deren Unterschreiten mit dem Auftreten offensichtlicher bzw. physiologisch nachweisbarer Mangelsymptome verbunden ist (vgl. GULDER & KÖLBEL, 1993). Die untersuchten Standorte befinden sich in Bezug auf ihre „nicht ausreichende Versorgung“ bei Stickstoff jedenfalls in guter Gesellschaft, da gemäß Bioindikatornetz alljährlich mehr als 90 % der österreichweit untersuchten Standorte unter dem Richtwert für ausreichende Stickstoff-Versorgung liegen (FÜRST, 1996). Die Aussagekraft dieser Richtwerte ist somit kritisch zu hinterfragen.

Bei fast allen anderen Elementen liegt der Median der jeweiligen Standortskategorien zumeist über dem Richtwert für ausreichende Versorgung, einzelne Standorte jedoch auch darunter (Abb. 77). Die nachgewiesenen Gehalte fügen sich gut in die Ergebnisse des österreichischen Bioindikatornetzes ein (vgl. FÜRST, 1994). Zu berücksichtigen ist wiederum, daß lediglich für die „staubfreie“ Standortskategorie „Hintergrund“ eine Bewertung der Nährstoffversorgung nach diesen Richtwerten zulässig ist. Die höheren Gehalte emittentennaher Standorte dürften durch Staubebelag auf den Nadeln mitbeeinflusst sein.

Wie bereits angeführt, weist die Gruppe der Standorte sehr nahe von Emittenten signifikant höhere 100-Nadelgewichte auf als die Gruppe „Hintergrund“ (Abb. 77). GRILL ET AL. (1988) sowie SCHÖN ET AL. (1988) fanden, daß in „neuartigen“ Waldschadensgebieten stärker verlichtete Bäume höhere 100-Nadelgewichte aufweisen. In „klassischen Schadensgebieten“ wurden in beeinträchtigten Beständen allerdings geringere 100-Nadelgewichte festgestellt (FUCHS, 1994). Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung ist schwierig zu interpretieren, da Daten zum Verlichtungszustand der untersuchten Bäume nicht vorliegen. Insgesamt ist unklar, ob die Standorte der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ mit signifikant höherem 100-Nadelgewicht eine stärkere Kronenverlichtung als jene der anderen Gruppen aufweisen. Ein Zusammenhang zwischen Staubebelegung der Nadeln und 100-Nadelgewicht wurde ebenfalls nicht gefunden. Auffällig ist jedoch, daß mit Ausnahme von Radfeld alle Standorte im Nahbereich von Emittenten einen höheren Median hinsichtlich des 100-Nadelgewichtes aufweisen als die Gruppe Hintergrund (Abb. 78). Statistisch abgesichert werden konnte dieser Unterschied zum Hintergrund bei den Untersuchungsgebieten Treibach, Brückl und Graz.

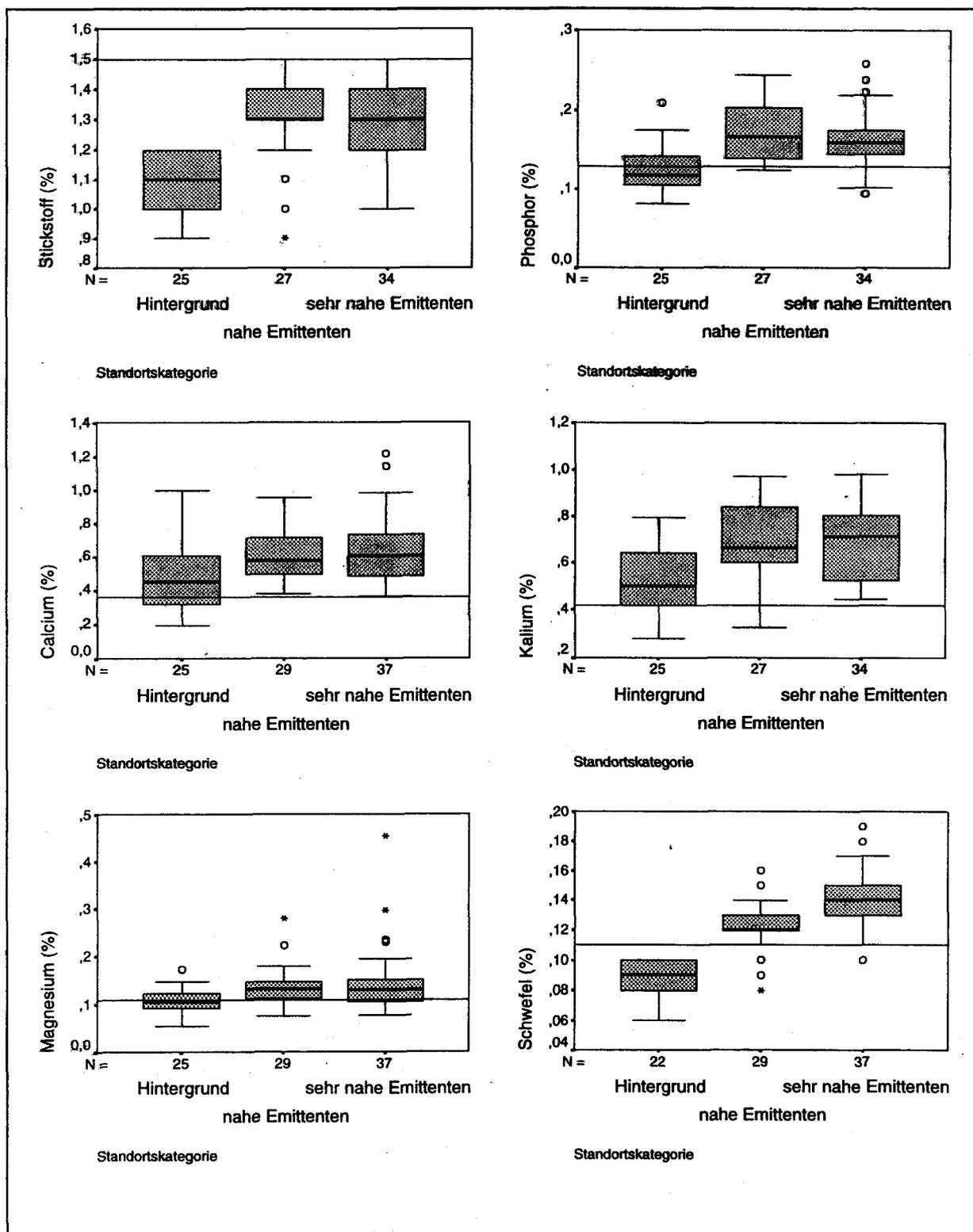


Abb. 77: Boxplots zu den Gehalten von Nähr- und Schadelementen in einjährigen Fichtennadeln sowie 100-Nadelgewicht getrennt nach Standortskategorien. Linien in den Boxplots: N, P, Ca, K, mg: Richtwert nach STEFAN (1992) für ausreichende Versorgung. S: Grenzwert der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (WOHANKA & STÜRZENBECHER, 1989). Fe: Untergrenze für optimale Versorgung nach FOERST ET AL. (1987). Mn, Cu, Zn: Untergrenze ausreichender Mineralstoffgehalte nach BERGMANN (1993).

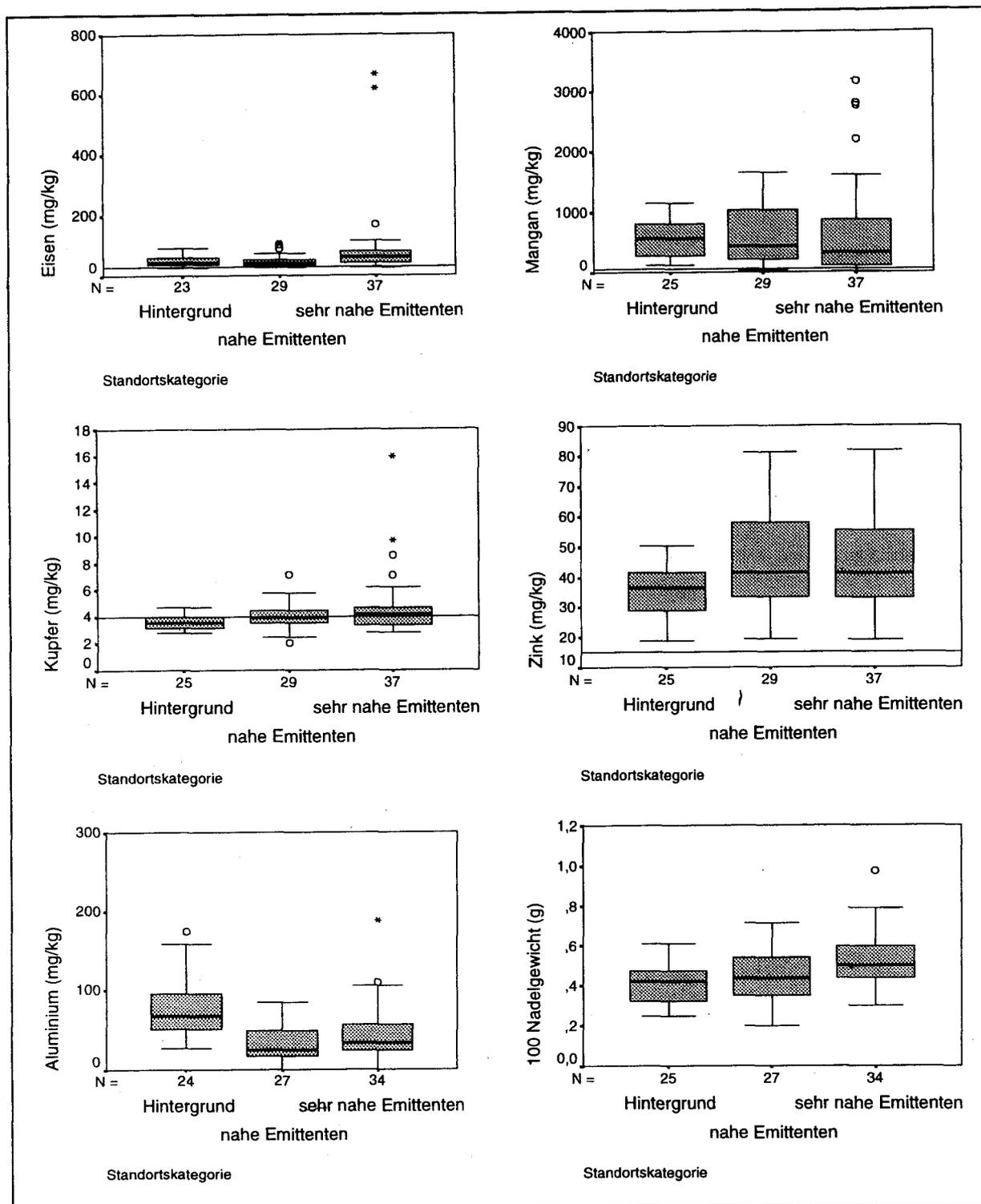


Abb. 77: Fortsetzung

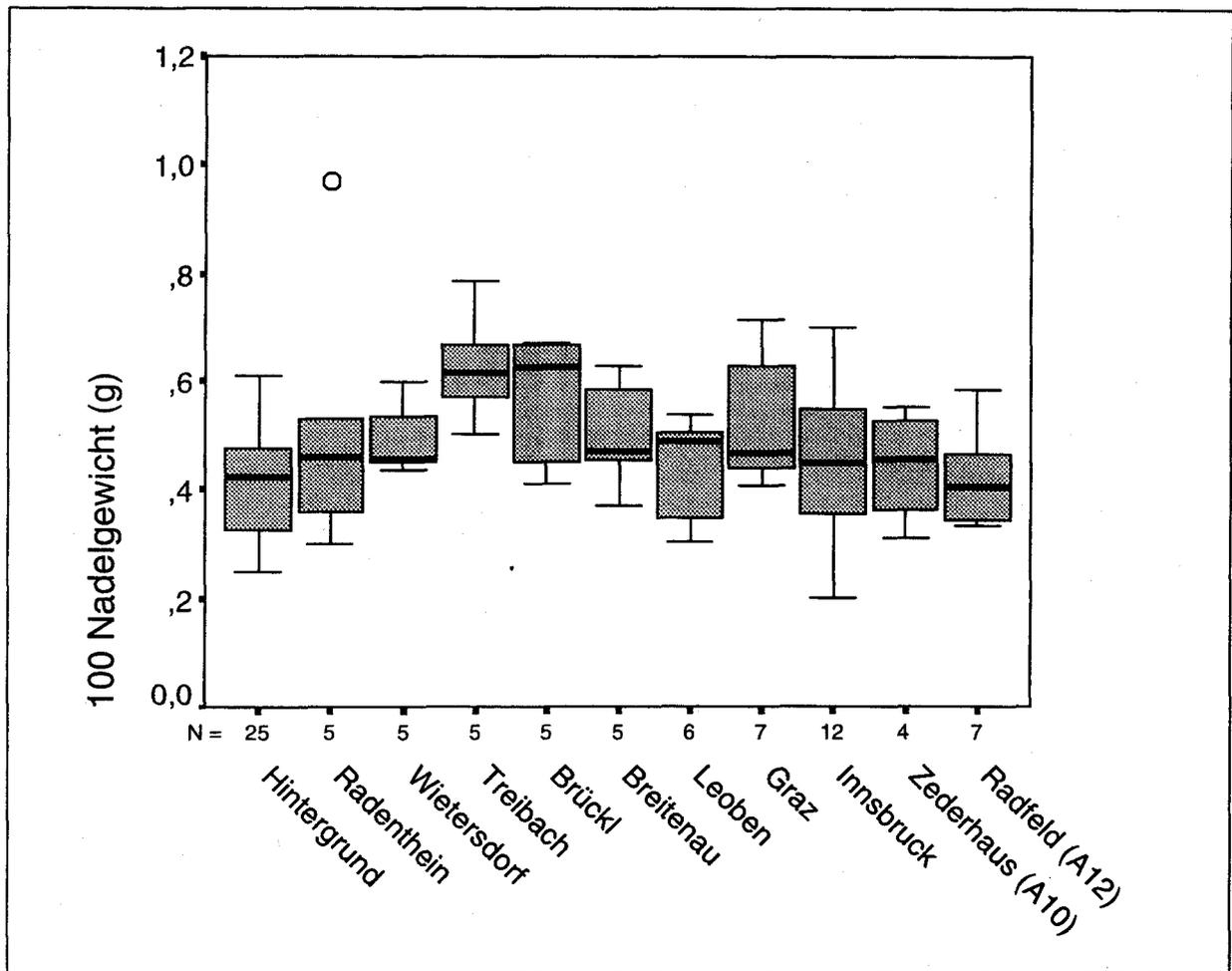


Abb. 78: Boxplots zu den 100-Nadelgewichten einjähriger Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund.

Anhand der nachfolgenden Abbildungen 79 bis 93 sind emittentennahe Untersuchungsgebiete mit auffälligen Nadelgehalten identifizierbar.

4.3.2.1 Stickstoff

Signifikant höhere Stickstoff-Nadelgehalte als der Hintergrund weisen mit Ausnahme von Radenthein, Wietersdorf und Zederhaus alle anderen emittentennahen Untersuchungsgebiete auf, wo Stickstoffnadelgehalte vorliegen. Auffällig höher sind insbesondere die Standorte der urbanen Ballungsräume Graz und Innsbruck, der autobahnahe Inntalstandort Radfeld und der Chlorchemie-Standort Brückl (Abb. 79). Mit Ausnahme von Brückl stellen dies jene Untersuchungsgebiete dar, wo mit höheren Stickstoffimmissionen zu rechnen ist. Die Gehalte in diesen Gebieten liegen auch über dem Mittelwert von 1,202 %, der 1992 für die Fichte im Rahmen der österreichischen Bioindikatornetzes festgestellt wurde (FÜRST, 1994).

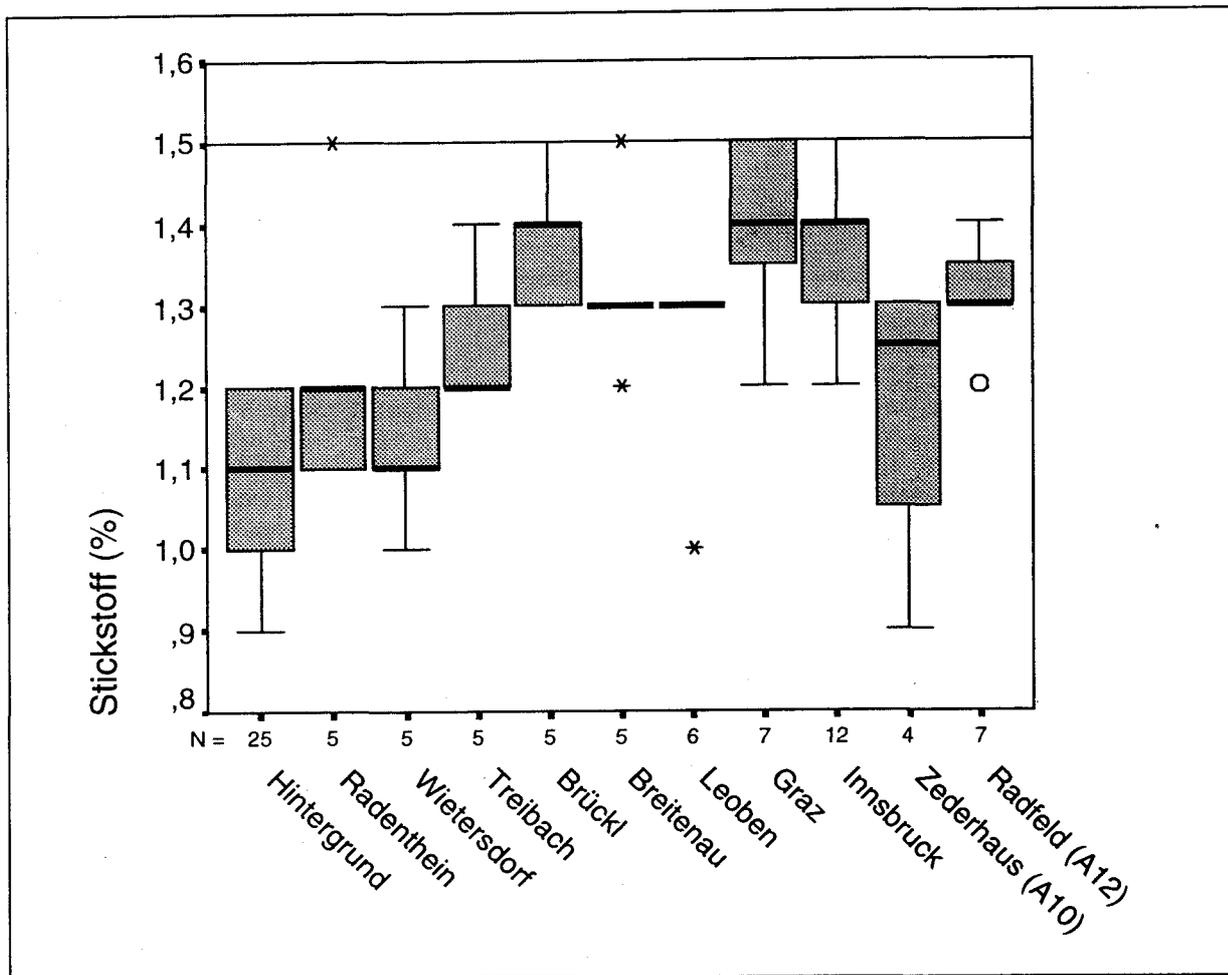


Abb. 79: Boxplots zu den Stickstoffgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Richtwert für ausreichende Versorgung nach STEFAN, (1992)).

4.3.2.2 Phosphor

Signifikant höhere Phosphorgehalte als der Hintergrund zeigen mit Ausnahme von Wietersdorf, Treibach und Radfeld alle anderen Untersuchungsgebiete (Abb. 80). Die Maximalwerte bei einzelnen Gebieten liegen vergleichbar hoch wie das Maximum der untersuchten Bioindikatornetzpunkte 1992 in Österreich (FÜRST, 1994). Gehalte über 0,18 %, die nach KNABE (1984) als sehr hoch bezeichnet werden, bzw. über 0,20 %, die nach FOERST ET AL. (1987) über dem optimalen Bereich liegen, weisen nahezu alle untersuchten emittentennahen Gebiete auf, waren vereinzelt aber auch in Hintergrundgebieten feststellbar.

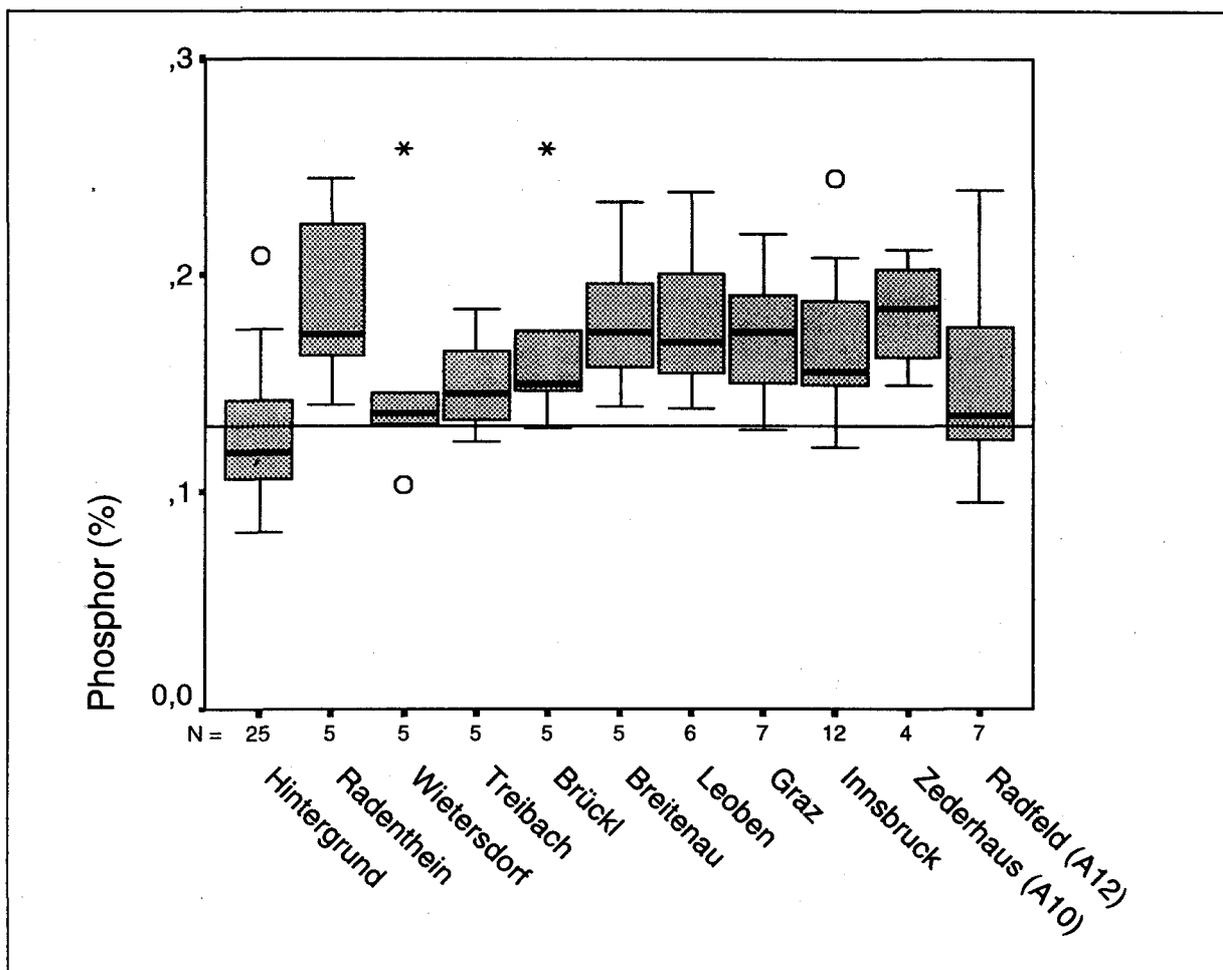


Abb. 80: Boxplots zu den Phosphorgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Richtwert für ausreichende Versorgung nach STEFAN, (1992)).

4.3.2.3 Calcium

Bei Calcium weisen die Untersuchungsräume Treibach, Leoben, Graz und Reutte signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund auf (Abb. 81). Vergleichsweise hohe Werte wurden auch in Radenthein festgestellt, die auf Einfluß des Magnesitwerkes als Ursache hindeuten (Kap. 4.1). Nach FÜRST (1994) lagen 1992 österreichweit die Calcium-Konzentrationen bei Fichte zwischen 0,17 und 1,07 %. Die Gehalte der Gebiete Radenthein und Treibach überschreiten diesen Bereich. Besonders die Calciumgehalte dürften jedoch mit der Staubbelegung der Nadeln gekoppelt sein, wie es für einzelne Standorte mittels EDX-Analyse bzw. für das Gesamtkollektiv anhand statistischer Methoden festgestellt werden konnte (siehe Kap. 4.1, 4.4).

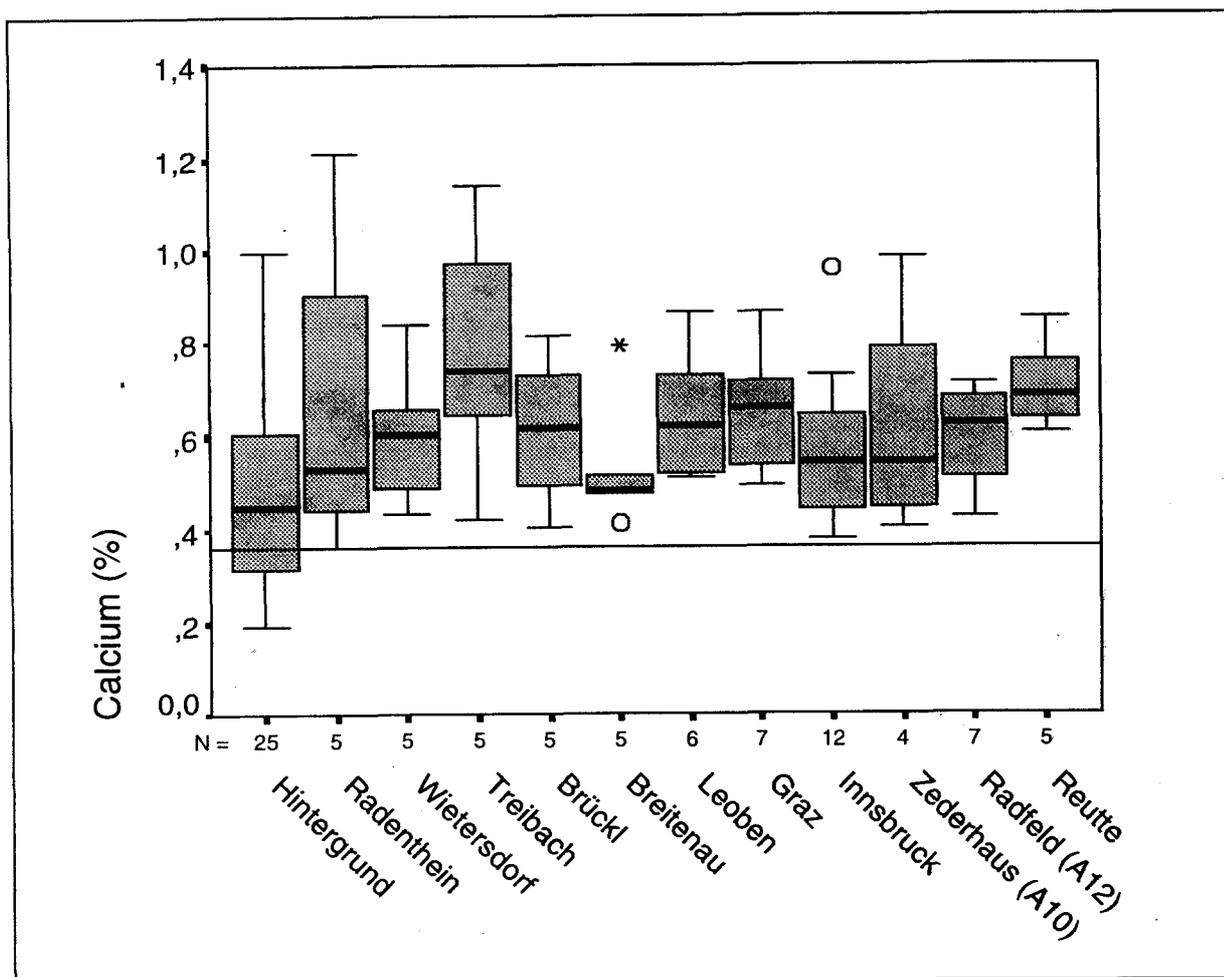


Abb. 81: Boxplots zu den Calciumgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Richtwert für ausreichende Versorgung nach STEFAN, 1992).

4.3.2.4 Kalium

Die Kaliumgehalte aller Untersuchungsgebiete mit Ausnahme von Treibach, Breitenau und Zederhaus sind signifikant höher als im Hintergrund. Als Obergrenze für den optimalen Bereich nach FOERST ET AL. (1987) bzw. als Untergrenze für den sehr hohen Bereich nach KNABE (1984) gelten 0,80 %. Mit Ausnahme der drei erwähnten Untersuchungsgebiete wird dieser Richtwert von einzelnen Standorten aller anderen Regionen überschritten (Abb. 82). Die Mediane der Gebiete mit höheren Kaliumgehalten liegen auch deutlich über dem Mittelwert für Fichte gemäß österreichischem Bioindikatornetz 1992 von 0,611 %. Der Maximalwert des Bioindikatornetzes von 1,28 % wird allerdings bei weitem nicht erreicht (vgl. FÜRST, 1994). Neben Calcium, Magnesium und einzelnen Schwermetallen gehört auch Kalium zu jenen Elementen, deren Eintrag in Ballungsräumen oder nahe Industriebetrieben höher ist als in Hintergrundgebieten (vgl. SOMMER ET AL., 1993).

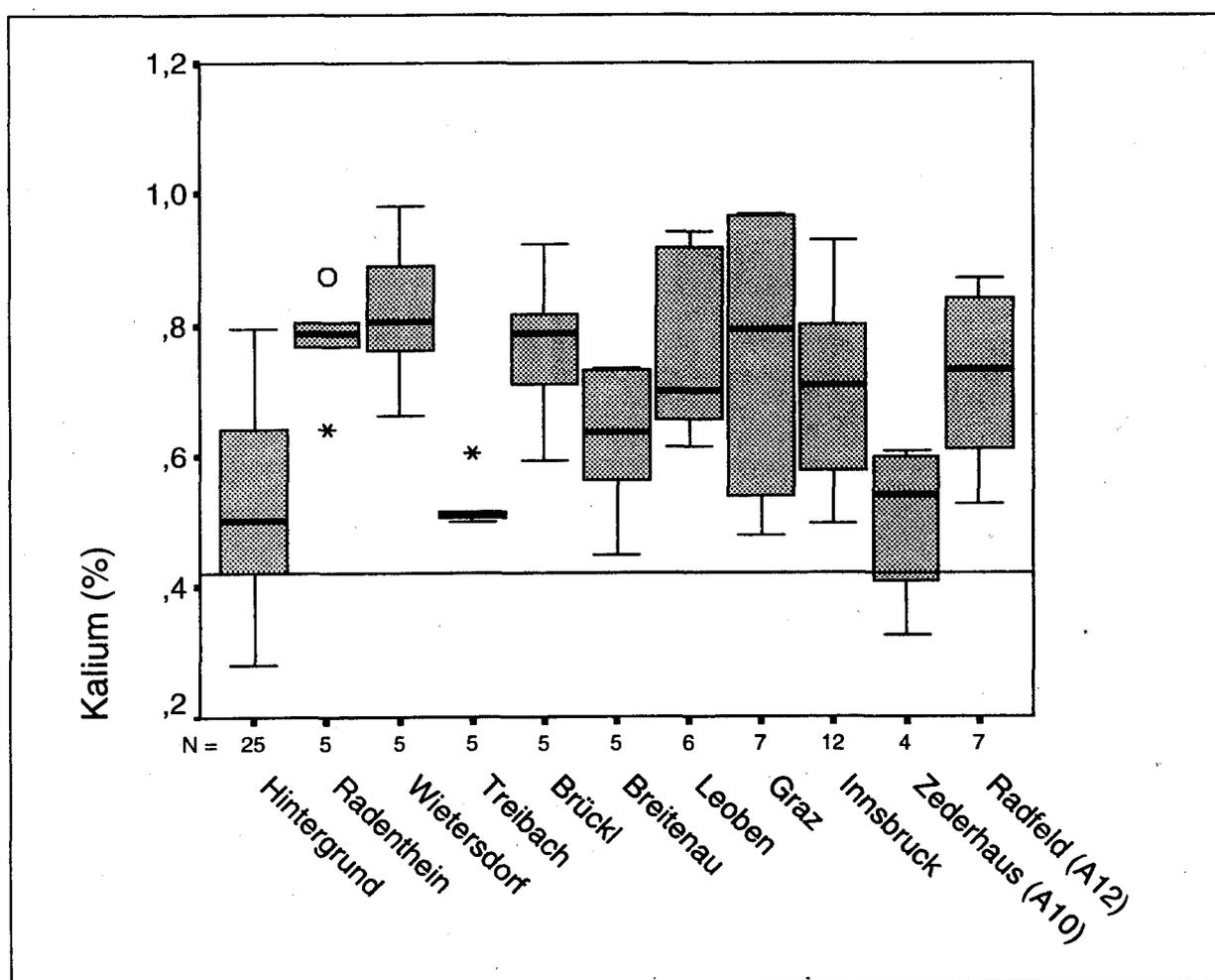


Abb. 82: Boxplots zu den Kaliumgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Richtwert für ausreichende Versorgung nach STEFAN (1992)).

4.3.2.5 Magnesium

Signifikant höhere Magnesium-Gehalte als im Hintergrund wurden in Radenthein, Breitenau, Innsbruck, Radfeld und Reutte gefunden. Besonders die Magnesium-Gehalte der Untersuchungsgebiete Radenthein und Breitenau, wo Magnesitwerke stehen, sind auffällig (Abb. 83). Durch beide Betriebe wird magnesiumhaltiger Staub emittiert, der in Staubpartikeln auf den Nadeln detektierbar ist (Kap. 4.1). Die erhöhten Nadelgehalte dieser beiden Gebiete sind derart erklärbar. Besonders in Breitenau wurden im Nahbereich des Werkes Gehalte erreicht, die deutlich über dem Maximalwert des österreichischen Bioindikatornetzes liegen und den Optimalbereich nach FOERST ET AL. (1987) überschreiten. Vergleichsweise fand FÜRST (1994) österreichweit im Mittel 0,126 % Magnesium in einjährigen Fichtennadeln.

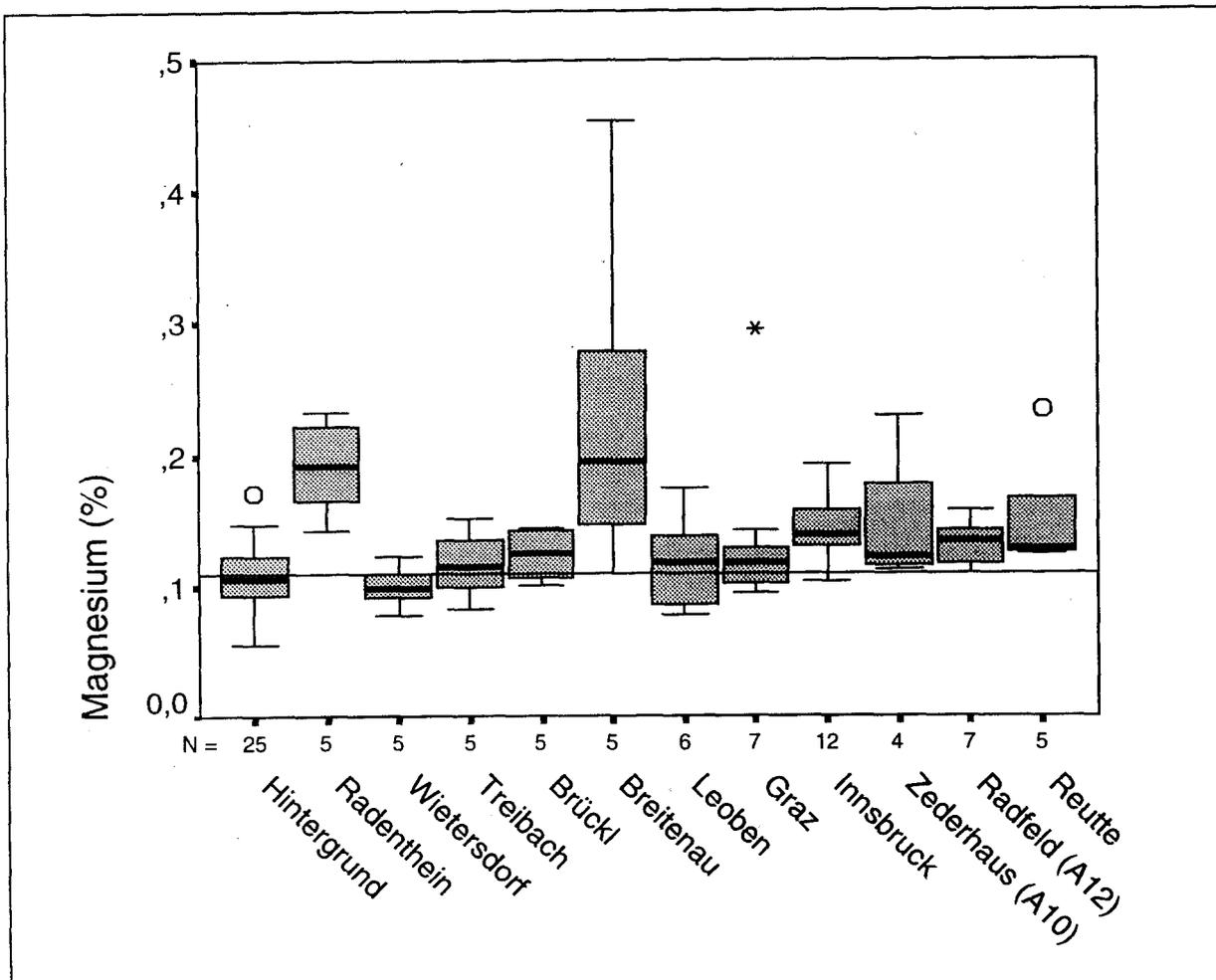


Abb. 83: Boxplots zu den Magnesiumgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Richtwert für ausreichende Versorgung nach STEFAN (1992)).

4.3.2.6 Schwefel

Dem Schwefelgehalt in den Nadeln kommt neben seiner Bedeutung für die Nährstoffversorgung auch die Indikation von Schwefelimmisionen zu. Abbildung 84 vermittelt, daß mit Ausnahme von Reutte alle Untersuchungsgebiete hinsichtlich des Medians über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,11 % liegen, bei dessen Überschreiten Schwefelimmisionen anzunehmen sind. Mit Ausnahme von Reutte weisen auch alle anderen emittentennahen Gebiete einen signifikant höheren Schwefelgehalt als der Hintergrund auf. Am auffälligsten erhöht sind die Schwefelgehalte in Leoben, das in Bezug auf Schwefel zu den stärkstbelasteten Gebieten Österreichs zählt (UMWELTBUNDESAMT, 1992). Der österreichweite Mittelwert des ersten Nadeljahrganges für das Jahr 1995 beträgt 0,100 % und liegt somit deutlich niedriger als die Gehalte in den einzelnen Untersuchungsgebieten (vgl. STEFAN, 1996). Trotz bedeutender emissionsreduzierender Maßnahmen in Österreich bei Schwefel werden die Grenzwerte im Bereich von Ballungsräumen und Emittenten nach wie vor überschritten.

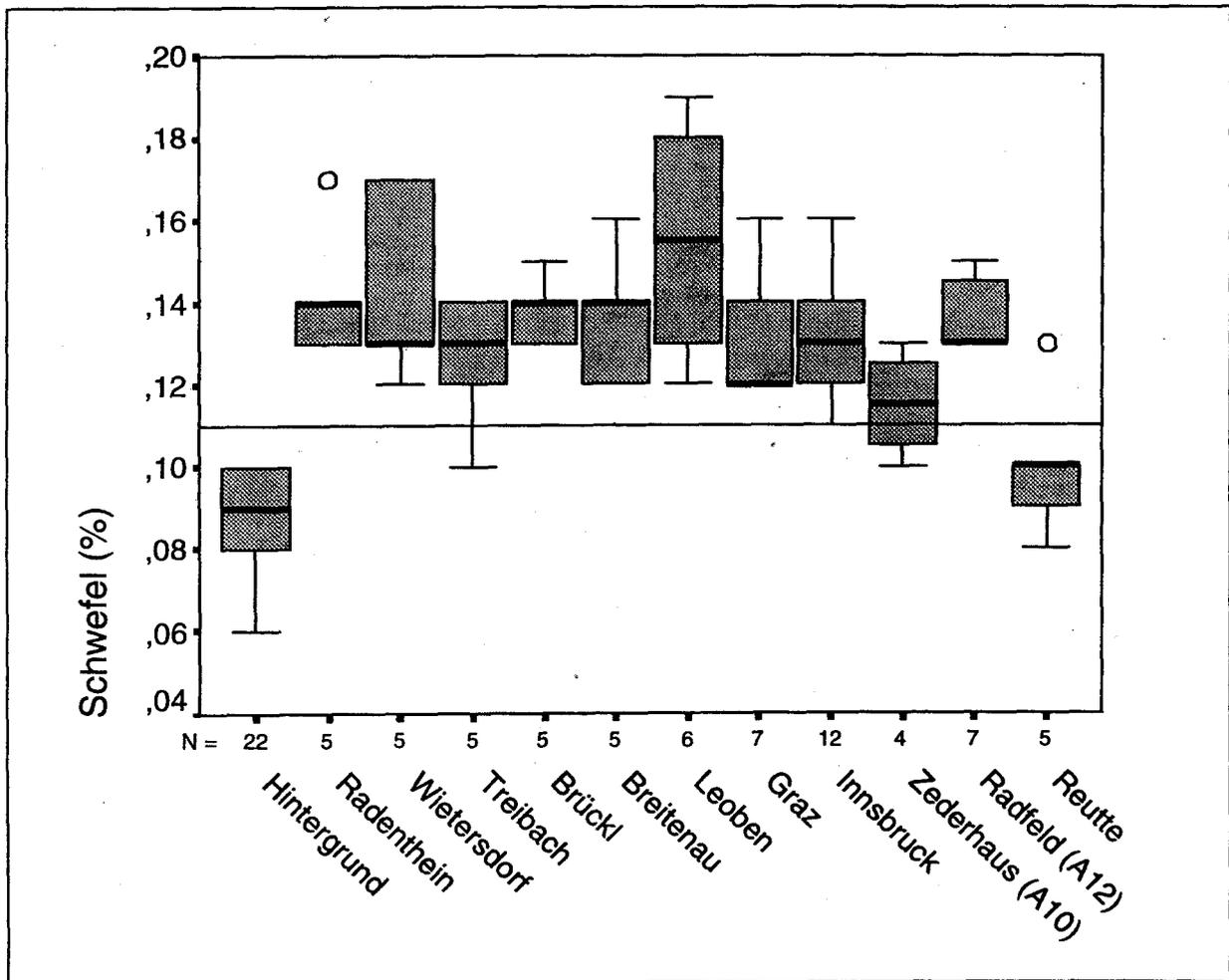


Abb. 84: Boxplots zu den Schwefelgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Grenzwert der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (WOHANKA & STÜRZENBECHER, 1989)).

4.3.2.7 Eisen

Bei Eisen weist lediglich der Raum Leoben signifikant höhere Konzentrationen als der Hintergrund auf (Abb. 85). Die Eisengehalte des Stahlstandortes Leoben liegen teilweise deutlich über dem Optimalbereich zwischen 30 und 180 mg/kg nach FOERST ET AL. (1987) und dem österreichweiten Maximum gemäß Bioindikatornetz von 181 mg/kg (FÜRST, 1994). Vergleichbar hohe Eisengehalte von Fichtennadeln wie in Leoben wurden in Linz festgestellt (TRIMBACHER & WEISS, 1992). Derartig hohe Gehalte sind offenbar mit dem Vorhandensein von Stahlindustrie gekoppelt. Da der Staub auf den Nadeln mit höheren Eisenkonzentrationen höhere Eisenpeaks aufweist und da höhere Eisengehalte der Nadeln mit der Staubbelegung in Zusammenhang stehen, muß angenommen werden, daß ein Gutteil des nachgewiesenen Eisens nicht in sondern auf den Nadeln ist (vgl. Kap. 4.1, 4.4, TRIMBACHER & WEISS, 1992).

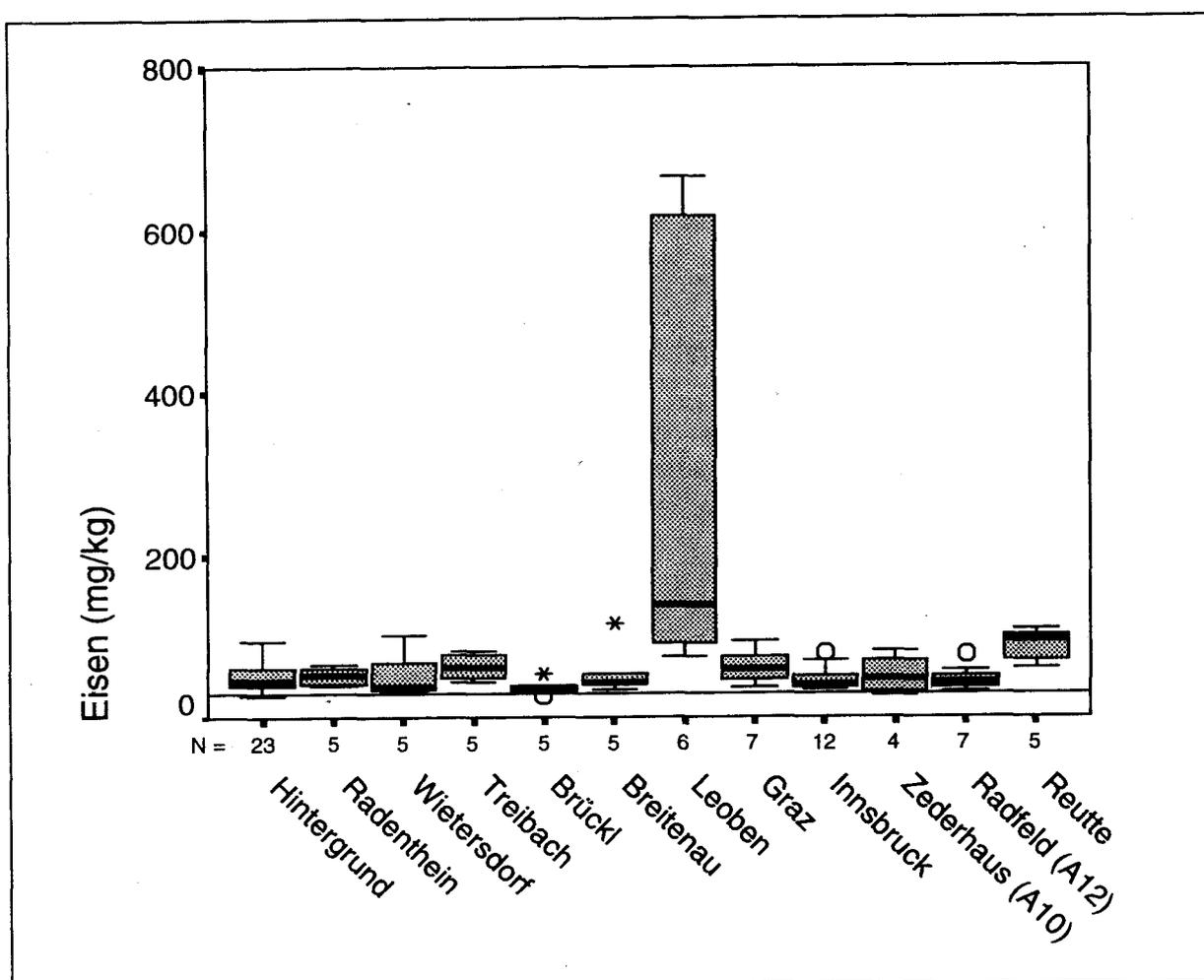


Abb. 85: Boxplots zu den Eisengehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Untergrenze (30 mg/kg) für optimale Versorgung nach FOERST ET AL. (1987)).

4.3.2.8 Mangan

Obwohl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Mangangehalten der Standortskategorien gefunden wurden, zeigen die Untersuchungsgebiete Treibach und Brückl signifikant höhere Gehalte als die Gruppe „Hintergrund“. Besonders die Mangangehalte des Untersuchungsgebietes Treibach sind auffällig, allerdings schwanken auch natürlicherweise die Mangangehalte der Fichte in einem weiten Bereich (BERGMANN, 1993). Erhöhte Mangangehalte in verschiedenen Umweltmedien wurden in Treibach im Rahmen einer umfangreichen Studie festgestellt (VOGEL ET AL., 1991). Der Einfluß des Betriebsstandortes, der nachweislich Schwermetalle emittiert, könnte daher mit den vergleichsweise höheren Mangangehalten in Zusammenhang stehen. Der Wertebereich für Fichtennadelgehalte Kärntens liegt gemäß Bioindikatornetz jedenfalls unter den in Treibach gefundenen Mangangehalten (vgl. FÜRST, 1994).

In Breitenau, Radfeld und Reutte wurden signifikant geringere Mangangehalte als im Hintergrund gefunden (Abb. 86).

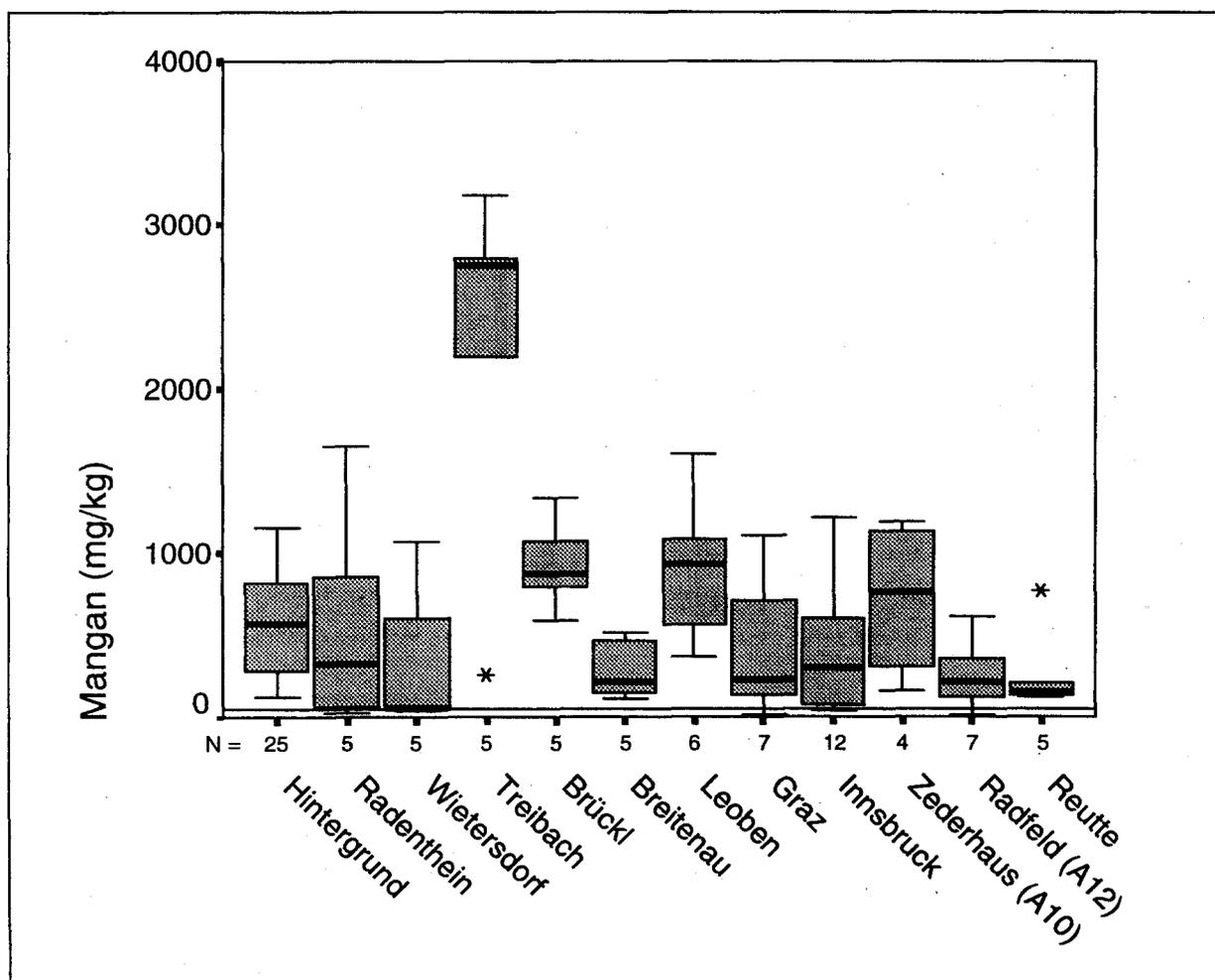


Abb. 86: Boxplots zu den Mangangehalten in einjährigen Fichtennadeln der Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Untergrenze (50 mg/kg) für ausreichende Versorgung nach BERGMANN (1993)).

4.3.2.9 Kupfer

Die Kupfergehalte der Gebiete Radenthein, Graz, Innsbruck, Radfeld und Reutte sind signifikant höher als jene der Hintergrundstandorte (Abb. 87). Bei den Ballungsräumen könnte der Unterschied zum Hintergrund mit den Kupferemissionen durch und/oder Kleinverbraucher in Zusammenhang stehen. Die erhöhten Gehalte Radfelds, die v.a. in Talnähe gefunden wurden (Kap. 4.1.10), könnten mit der Nähe der Kupferhütte Brixlegg in Verbindung stehen, in dessen Umkreis erhebliche Schwermetallbelastungen des Bodens und der Vegetation gefunden wurden (vgl. SPINDELBALKER ET AL., 1990). Die Untersuchungsgebiete Radfeld und Reutte weisen teilweise Kupfergehalte über 7 mg/kg auf, die nach GULDER & KÖLBEL (1993) auf erhöhte Immissionsbelastung hinweisen. Die bei einer Inventur in Bayern festgestellten Kupfergehalte im 1. Nadeljahrgang erreichten maximal etwa 4 mg/kg (GULDER & KÖLBEL, 1993). Untersuchungen von KRIVAN & SCHALDACH (1986) und KRIVAN ET AL. (1987) zeigten, daß ein Teil des Kupfer-Gesamtgehaltes den Nadeln nur als Staub aufgelagert ist. Aus diesem Grund ist zu vermuten, daß - wie bei anderen Elementen - die signifikant höheren Kupfergehalte einzelner Standorte auf aufgelagerten Staub zurückzuführen sind.

Leoben weist als einziger Untersuchungsraum einen signifikant geringeren Kupfergehalt als der Hintergrund auf. Die Mangelgrenze wird nach Recherche von GULDER & KÖLBEL (1993) bei 2 mg/kg angenommen, also tiefer als der in der Abbildung 87 dargestellte Richtwert für ausreichende Versorgung von BERGMANN (1993). Es ist damit zweifelhaft, daß auf den untersuchten Standorten mit geringeren Kupfergehalten bereits Mangelgehalte vorliegen (Abb. 87).

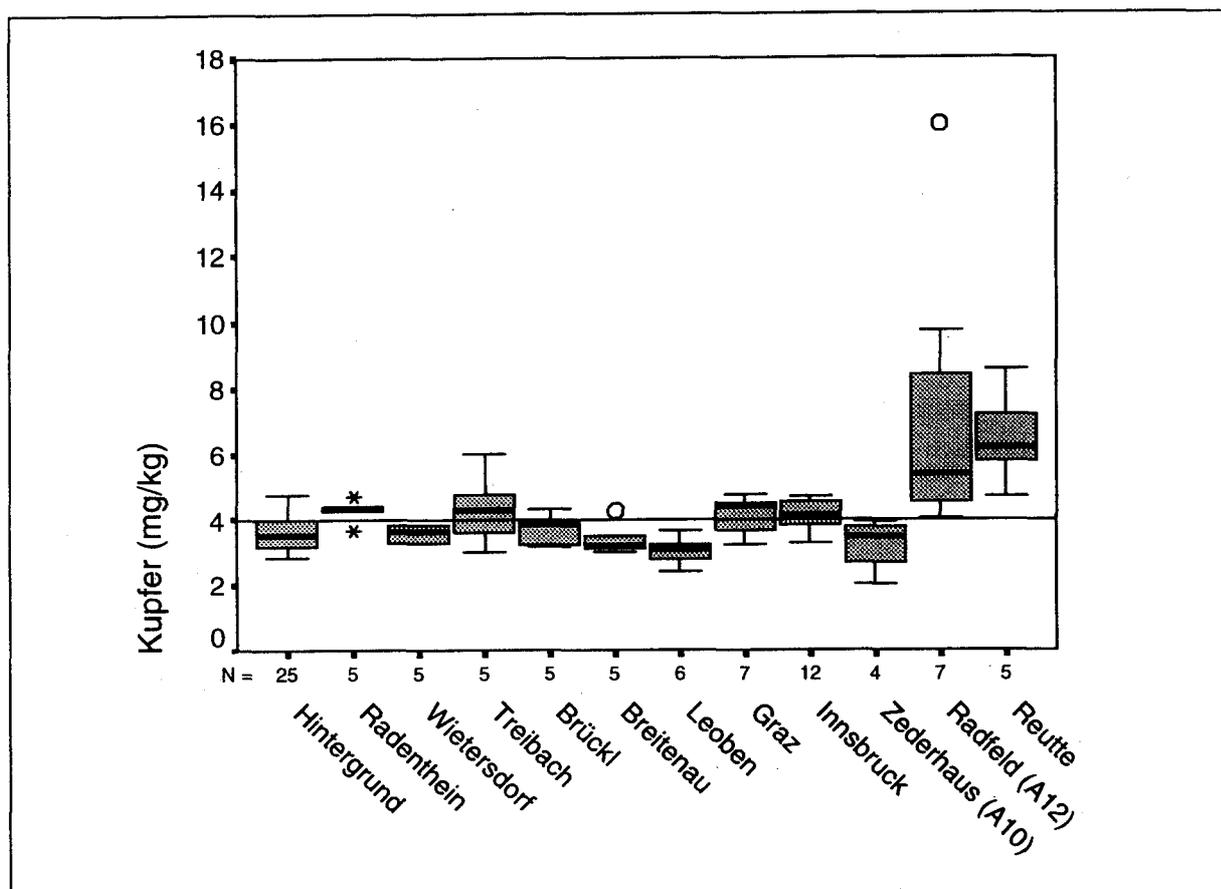


Abb. 87: Boxplots zu den Kupfergehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Untergrenze für ausreichende Versorgung nach BERGMANN (1993)).

4.3.2.10 Zink

Radenthein, Leoben, Radfeld und Reutte weisen signifikant höhere, Treibach signifikant geringere Zink-Gehalte in einjährigen Nadeln als die Gruppe der 25 Hintergrundstandorte auf (Abb. 88). Besonders auffällig sind die Gehalte in Leoben und Radfeld, wo Immissionseinfluß als Ursache für die erhöhten Gehalte angenommen werden muß. Der österreichweite Median des Bioindikatornetzes für das Jahr 1992 betrug 38,0 mg/kg, lag also vergleichbar wie jener der Hintergrundstandorte (FÜRST, 1994).

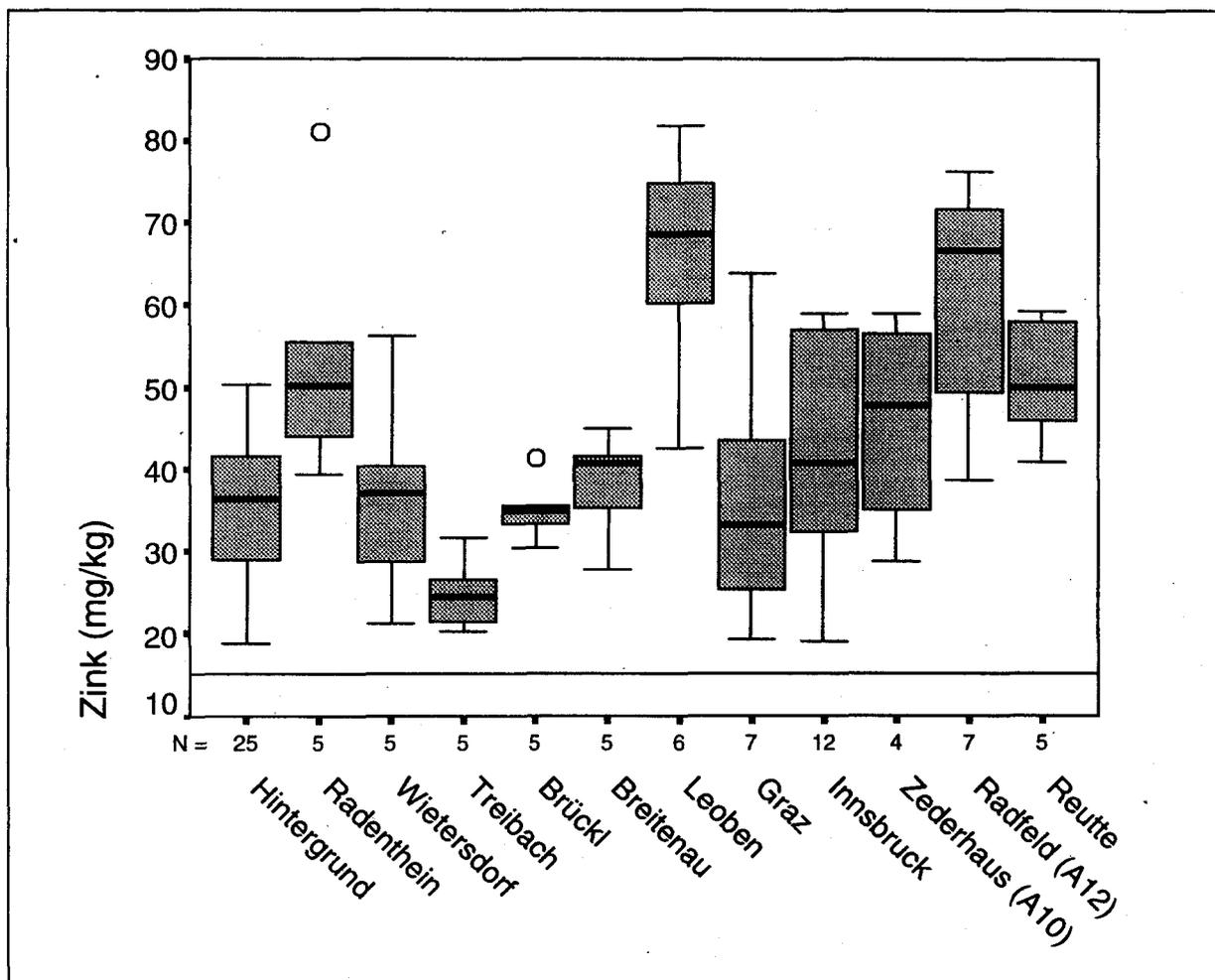


Abb. 88: Boxplots zu den Zinkgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund (Linie: Untergrenze für ausreichende Versorgung nach BERGMANN, 1993).

4.3.2.11 Aluminium

Wie bereits dargelegt, weist der Hintergrund signifikant höhere Aluminiumgehalte als emittennahe Standorte auf. Signifikant niedrigere Aluminiumgehalte als der Hintergrund weisen die Gebiete Brückl, Breitenau, Graz, Innsbruck und Radfeld auf. Nach KNABE (1984) sind Gehalte <60 mg/kg sehr niedrig, Gehalte >210 mg/kg sehr hoch. Gemäß Abb. 89 weisen die meisten Untersuchungsgebiete sehr niedrige Gehalte dieses Elementes auf. Allerdings muß berücksichtigt werden, daß nach Untersuchungen von KELLER ET AL. (1986) bis zu 43 % des Aluminium-Gesamtgehaltes auf den Nadeloberflächen deponiert und mittels Chloroform abwaschbar ist. Umso bemerkenswerter sind die signifikant höheren Gehalte der Hintergrundstandorte auf deren untersuchten Spaltöffnungen 1995 kein Staub detektiert werden konnte. Aluminium stellt jedoch eines der häufigsten Elemente der Erdkruste dar, und die gefundenen Aluminiumgehalte der Hintergrundstandorte sind nicht auffällig. In Bayern wurden beispielsweise im 1. Nadeljahrgang Gehalte zwischen rd. 10 und 190 mg/kg nachgewiesen (GULDER & KÖLBEL, 1993). Bei den Hintergrundstandorten, für die Bodenkenndaten vorliegen, konnte ein negativer Zusammenhang zwischen den pH-Werten und den Aluminiumgehalten der Nadeln des Jahres 1993 und in weniger straffer Form auch mit jenen des Jahres 1995 nachgewiesen werden (WEISS, 1997). Die Aluminiumgehalte der Nadeln scheinen somit von den Boden-pH-Werten abhängig zu sein.

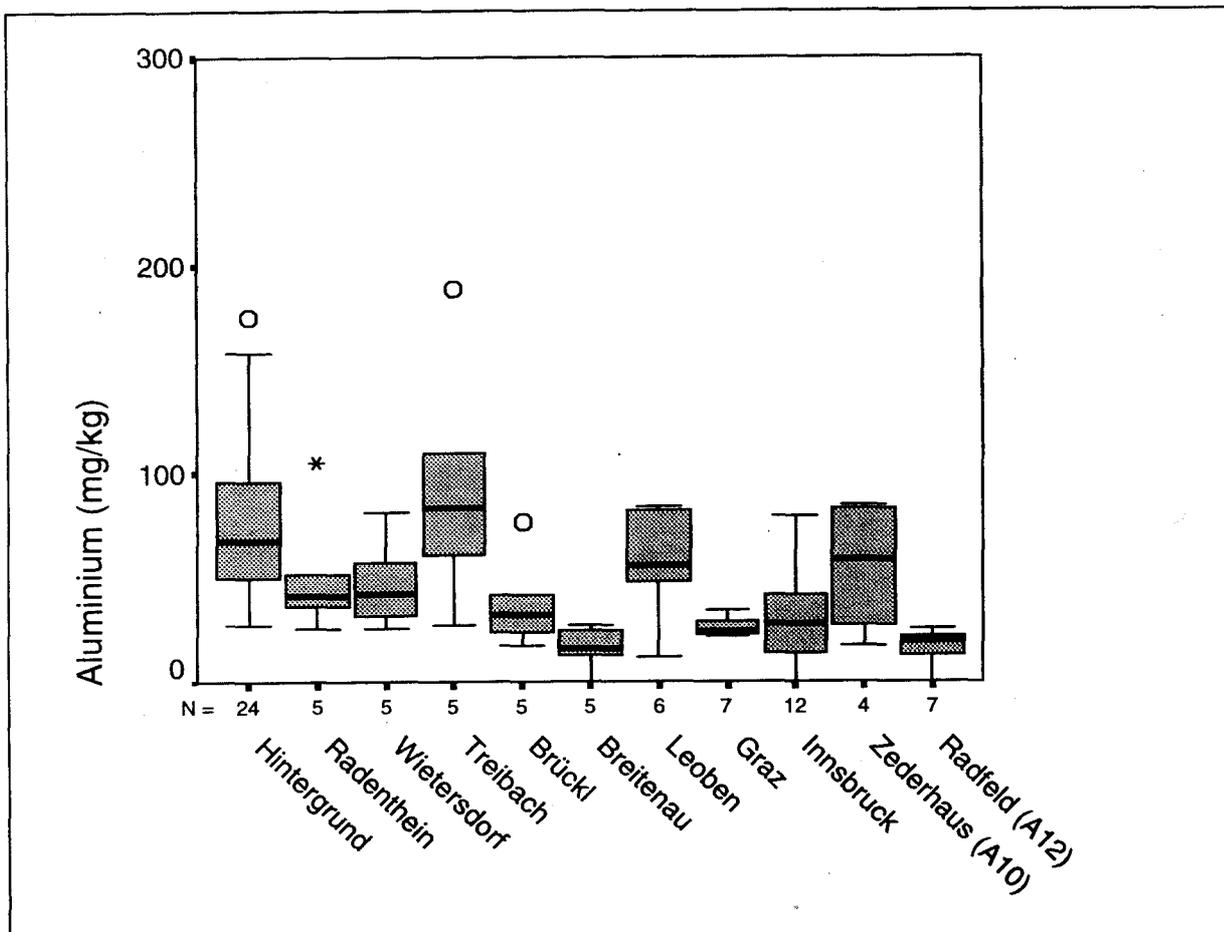


Abb. 89: Boxplots zu den Aluminiumgehalten in einjährigen Fichtennadeln der einzelnen Untersuchungsgebiete im Vergleich zum Hintergrund.

Nachfolgend sind Ergebnisse für einzelne Untersuchungsgebiete dargestellt, für die weiterführende Nadelanalysen durchgeführt wurden.

4.3.2.12 Chlor

Mit Ausnahme von Graz und Reutte, weisen alle Untersuchungsgebiete Chlorgehalte auf, die durchwegs über dem Grenzwert der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen liegen (Abb. 90). Deutlich erhöht sind die Chlorgehalte von einzelnen Standorten in Treibach, Brückl, Innsbruck und Zederhaus. In den beiden erstgenannten Gebieten liegen die Gehalte jeweils an werksnahen Punkten am höchsten. Die Überschreitung dieser Grenzwerte an den autobahnnahe Standorten in Zederhaus bzw. auch in Radfeld dürften mit der Salzaufnahme aus dem Boden aufgrund des Eintrages von Auftausalzen, die in den vorangegangenen Wintermonaten eingesetzt wurden, in Zusammenhang stehen.

4.3.2.13 Blei

Für einen Vergleich der Bleigehalte einzelner emittentennaher Untersuchungsgebiete liegen nur für das Jahr 1993 Werte der 25 Hintergrundstandorte vor (WEISS, 1997). Gegenüber dieser Gruppe sind jene in Radfeld signifikant höher, jene in Reutte signifikant niedriger. Die Maximalwerte einer landesweiten Inventur in Bayern lagen um 2 mg/kg, der Median bei 0,8 mg/kg, also ähnlich jenen der österreichischen Hintergrundstandorte (GULDER & KÖLBEL, 1993). Demgegenüber weisen einzelne Standorte in Radfeld und Zederhaus - vermutlich bedingt durch den Einfluß der Autobahnen - deutlich erhöhte Gehalte auf (Abb. 91). Die Bleigehalte in Fichtennadeln von fünf österreichischen Hintergrundgebieten, die seit mehreren Jahrzehnten untersucht werden, wiesen eine Tendenz der Abnahme in den letzten Jahren auf. Die Mittelwerte für diese Standorte der Perioden 1983-1987 bzw. 1988-1991 lagen zwischen 0,39 und 1,16 mg/kg (HERMAN, 1994). Die Maximalwerte, die während dieser Zeiträume gemessen wurden, lagen durchwegs unter jenen von Radfeld und Zederhaus für das Jahr 1995. Besonders in Radfeld liegen die höherbelasteten Standorte im unmittelbaren Nahbereich der Autobahn, trotz der Entbleiung des Benzins ist somit Blei immer noch ein verkehrsrelevanter Schadstoff. Dies ist auch deshalb von Bedeutung, da entlang der Tiroler Inntal-Autobahn deutlich erhöhte Bleigehalte im Boden festgestellt wurden (STÖHR ET AL., 1989).

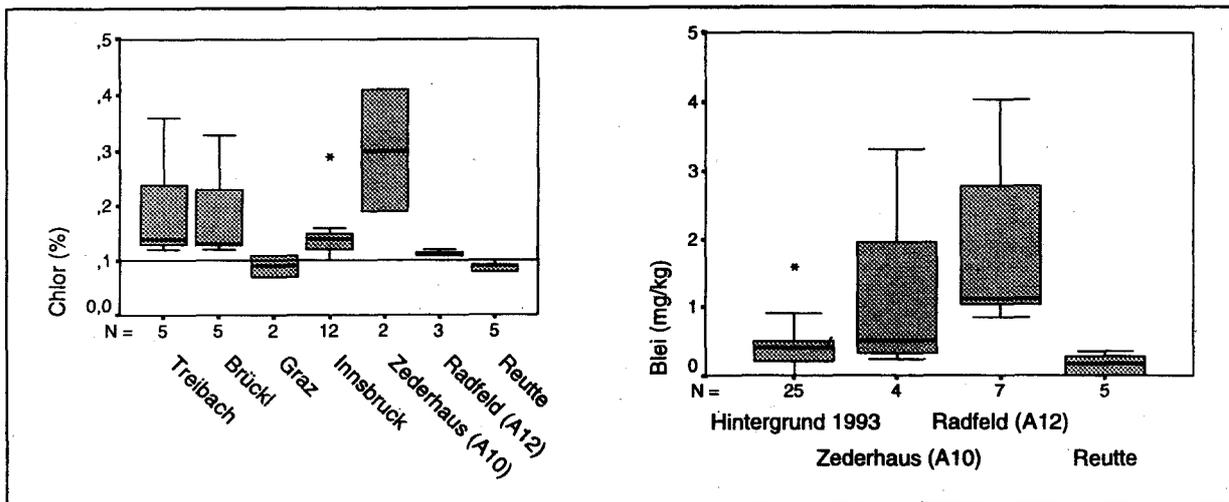


Abb. 90: links: Boxplots zu den Chlorgehalten in einjährigen Fichtennadeln einzelner Untersuchungsgebiete (Linie: Grenzwert der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (WOHANKA & STÜRZENBECHER, 1989)).

Abb. 91: rechts: Boxplots zu den Bleigehalten in einjährigen Fichtennadeln einzelner Untersuchungsgebiete im Vergleich zu Hintergrundwerten für das Jahr 1993.

4.3.2.14 Cadmium

Bei Cadmium weist lediglich der Untersuchungsraum Radfeld signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund auf (Abb. 92). Den Maximalwert in Radfeld weist jener Tal-Standort südlich des Inn auf, der auch den höchsten Kupferwert aufweist. Aufgrund des markanten Unterschieds zwischen dem Autobahnstandort Zederhaus und Radfeld, dürften andere Einflüsse als jene des Verkehrs mit erhöhten Gehalten in Zusammenhang stehen. Bereits bei den Ergebnissen zum Element Kupfer wurde auf den möglichen Einfluß der Kupferhütte Brixlegg hingewiesen. Vergleichsweise zu den hier dargestellten Gehalten ergab eine Inventur in Bayern einen Median von rd. 0,1 mg/kg (GULDER & KÖLBEL, 1993). Die Gehalte lagen also in einer vergleichbaren Größenordnung.

4.3.2.15 Nickel

Die Nickelgehalte in Treibach liegen signifikant höher als jene der Hintergrundstandorte 1993 (Abb. 92). Nickel zählt zu jenen Elementen, die im Zuge einer umfangreichen Untersuchung in erhöhten Konzentrationen in Umweltmedien im Umfeld der Treibacher Chemischen Werke nachgewiesen wurden (VOGEL ET AL., 1991). Dieser Betrieb dürfte daher die Ursache für die erhöhten Nadelgehalte darstellen. Allerdings lagen die Nadelgehalte, die im Rahmen der zitierten Untersuchung noch vor wenigen Jahren nachgewiesen konnten, deutlich höher. Emissionsreduzierende Maßnahmen der letzten Jahre zeigen somit Erfolg. ZVACEK (1988) fand an sieben Hintergrund-Waldstandorten Österreichs Gehalte zwischen 0,1 und 13,6 mg/kg. Die erhöhten Gehalte in Treibach sind im Vergleich dazu nicht weiter auffällig.

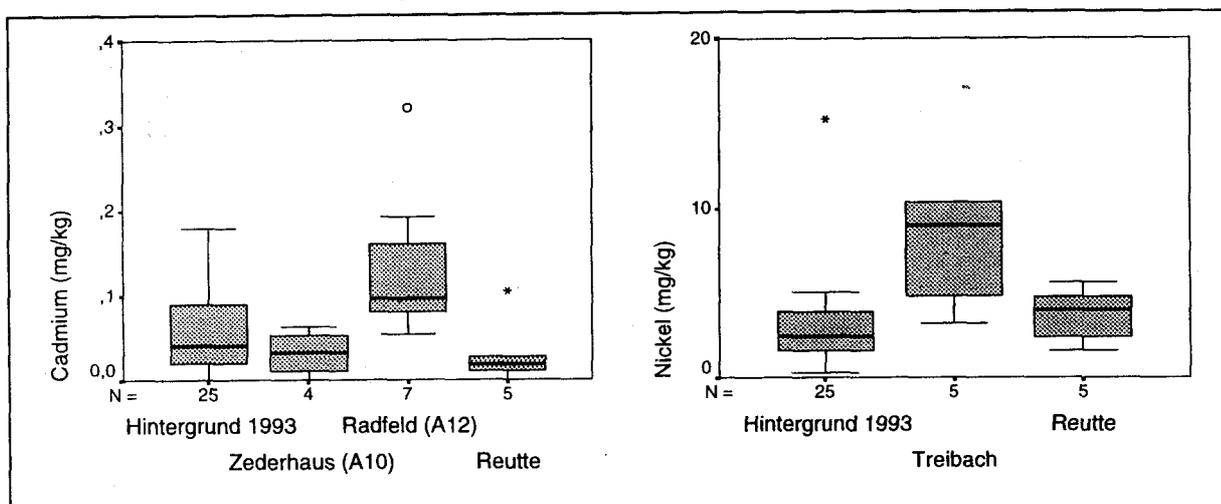


Abb. 92: Boxplots zu den Cadmium- und Nickelgehalten in einjährigen Fichtennadeln einzelner Untersuchungsgebiete im Vergleich zu Hintergrundwerten für das Jahr 1993.

4.3.2.16 Molybdän

Molybdän wurde nur in den beiden Untersuchungsgebieten Treibach und Reutte bestimmt. Die Obergrenze ausreichender Gehalte von Fichten nach BERGMANN (1993) wird in diesen beiden Regionen deutlich überschritten, in Treibach an zwei und in Reutte an vier der jeweils fünf Standorte (Abb. 93). ZVACEK (1988) fand in Fichtennadeln von sieben Hintergrund-Waldstandorten Österreichs Gehalte zwischen 0,02 und 0,38 mg/kg. Die 25 Hintergrundstandorte der vorliegenden Untersuchung wiesen 1993 einen Molybdängehalt im 1. Nadeljahrgang von durchwegs <0,20 mg/kg auf (WEISS, 1997). Immissionseinfluß in den beiden Gebieten in Treibach und Reutte muß daher als Ursache für die erhöhten Molybdängehalte angenommen werden. Für beide Untersuchungsräume ist die Problematik höherer Molybdänbelastungen bekannt. Eine Untersuchung in Treibach ergab noch vor wenigen Jahren Molybdängehalte in Fichtennadeln zwischen 0,1 und 11,6 mg/kg (Mittelwert 2,8 mg/kg, VOGEL ET AL., 1991). Demgegenüber sind die Gehalte für das Jahr 1995 aufgrund emissions-reduzierender Maßnahmen deutlich geringer. Die Molybdänbelastung in Reutte ist derzeit Gegenstand intensiver Untersuchungstätigkeit verschiedener Institutionen unter der Leitung des Amtes der Tiroler Landesregierung. Angesichts der markant erhöhten Gehalte sowie des Auftretens von Molybdänose bei Kühen sind Maßnahmen erforderlich, um die Belastung mit diesem, in normalen Dosen essentiellen Nährelement auf diesem Standort zu senken.

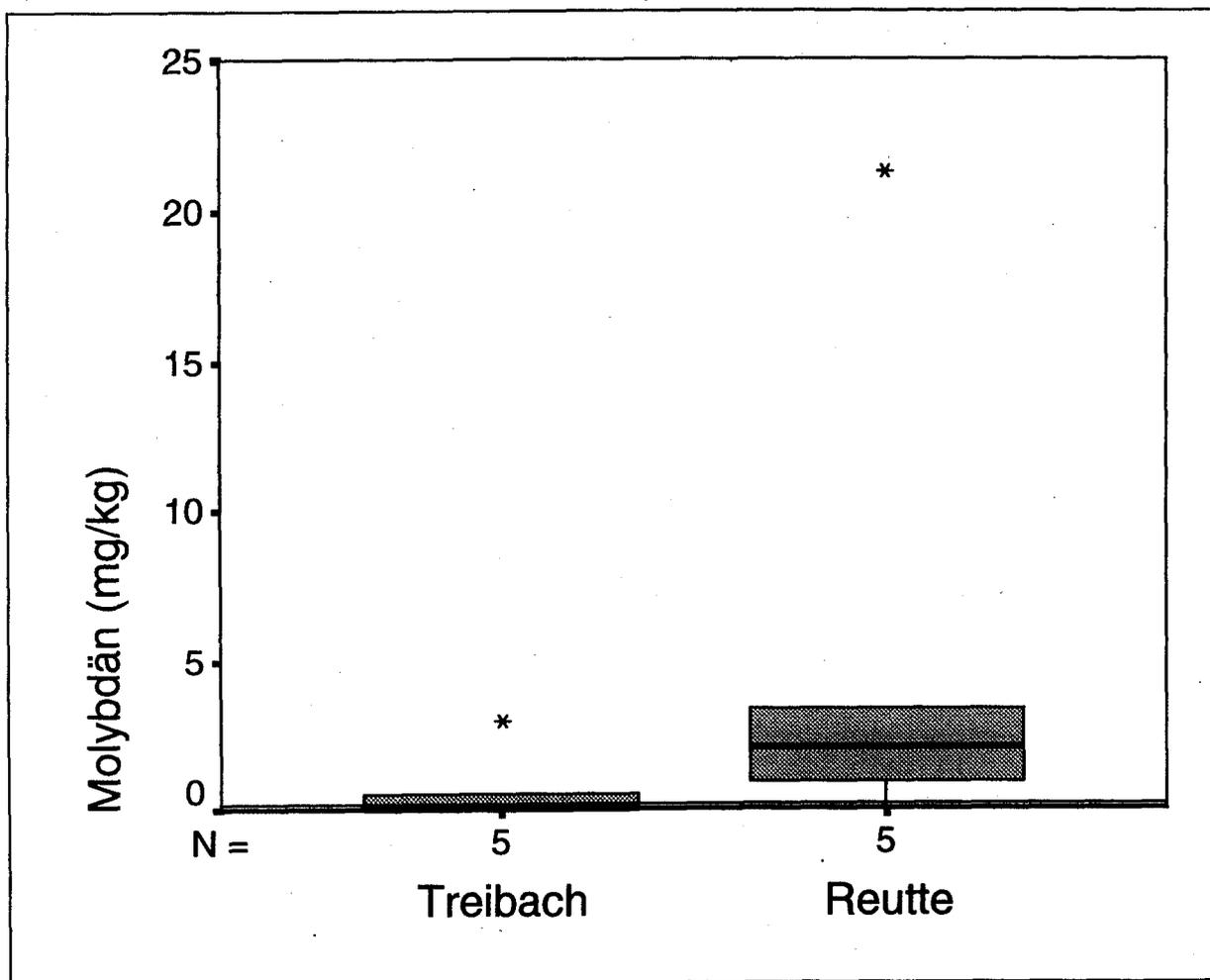


Abb. 93: Boxplots zu den Molybdängehalten in einjährigen Fichtennadeln einzelner Untersuchungsgebiete (Linie: Obergrenze (0,20 mg/kg) ausreichender Gehalte nach BERGMANN (1993)).

4.4 Zusammenhänge zwischen einzelnen parametern

4.4.1 Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Staub auf den Spaltöffnungen

Die Gruppe von Standorten, die Staub auf den Spaltöffnungen der Fichtennadeln aufweisen, weist signifikant mehr Spaltöffnungen auf, auf denen Epibionten nachgewiesen wurden (Abb. 94). Die Gruppe von Standorten, wo völlig mit Staub bedeckte Spaltöffnungen gefunden wurden (Sonderklasse 6), zeigt ebenso eine signifikant höhere Epibiontenbelegung (Abb. 94). Die Standortskategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ unterscheiden sich zwar hinsichtlich der Staubebelegung aber nicht hinsichtlich der Epibiontenbelegung. Die Gruppe „Hintergrund“ weist eine ähnliche Epibiontenbelegung auf wie die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ (Kap. 4.3.1). Ein Zusammenhang der Gemeinsamkeit zwischen Staub und mehr Epibionten aufgrund der Nähe zu Emittenten ist aus diesem Grund nicht gegeben. Trotz des vorliegenden statistisch signifikanten Ergebnisses ist insgesamt eher auszuschließen, daß ein kausaler Zusammenhang zwischen diesen Parametern besteht.

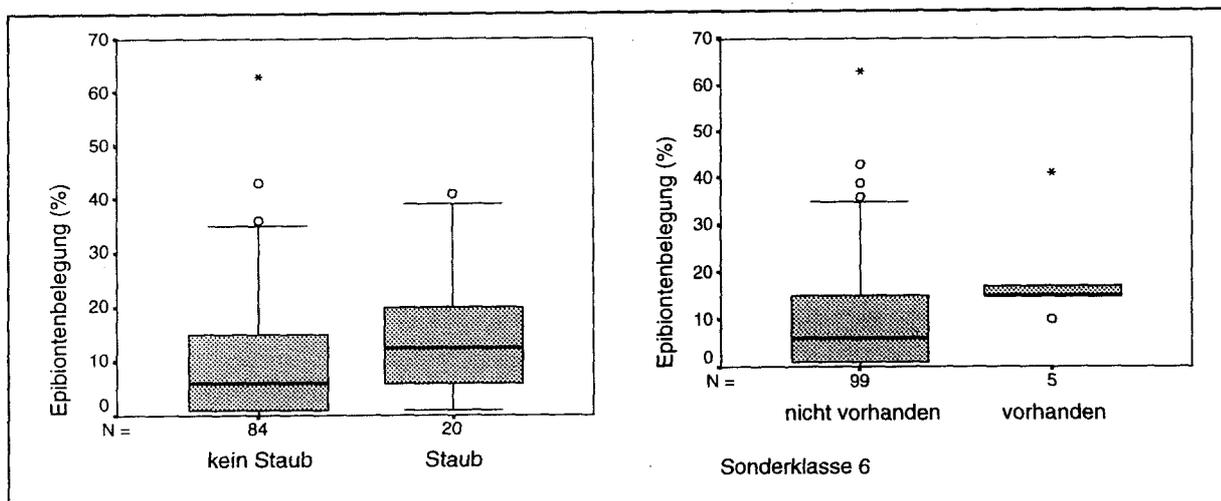


Abb. 94: Boxplots zu den Prozent der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibiontenbelegung getrennt nach Standorten mit und ohne Staubebelegung auf den Spaltöffnungen sowie mit und ohne Sonderklasse 6.

Die Phosphor-, Schwefel-, Calcium- und Eisengehalte in den Fichtennadeln der Gruppe mit Staub auf den Spaltöffnungen sind signifikant höher als von jener ohne Staub. Alle Parameter lagen jeweils in Emittentennähe in höheren Konzentrationen vor (Kap. 4.3.1). Es muß angenommen werden, daß die höheren Konzentrationen dieser Elemente auch auf anlagernden Staub bzw. bei Schwefel und Calcium auch auf Gipskristalle in den Spaltöffnungen zurückzuführen sind (siehe auch Kap. 4.4.2). Zahlreiche Untersuchungen belegen, daß ein Teil der analysierten Elementgehalte von Fichtennadeln nicht in, sondern deponiert auf den Nadeln vorliegen (KELLER ET AL., 1986; KRIVAN & SCHALDACH, 1986; KRIVAN ET AL., 1987; WYTENBACH ET AL., 1989). Mittels EDX-Analysen konnte eine Reihe von Elementen im anhaftenden Staub nachgewiesen werden (Kap. 4.1). Da emittentennahe Standorte durch höhere Staubaufgaben gekennzeichnet sind, ist eine Beurteilung der Ernährungssituation in diesen Lagen anhand von Nadeln Daten problematisch.

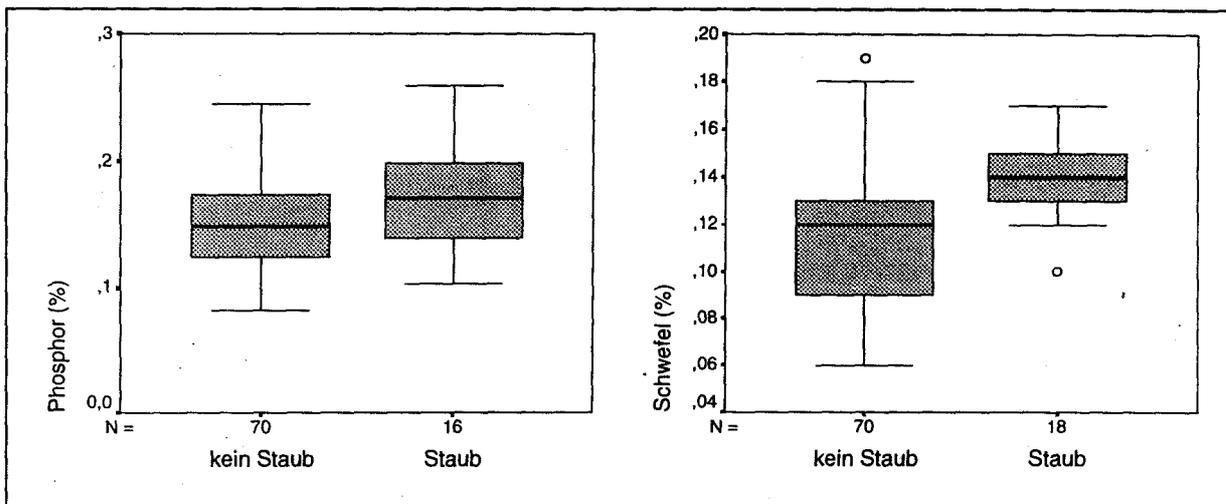


Abb. 95: Boxplots zu den Phosphor- und Schwefelgehalten einjähriger Fichtennadeln getrennt nach Standorten mit und ohne Staubebelegung auf den Spaltöffnungen.

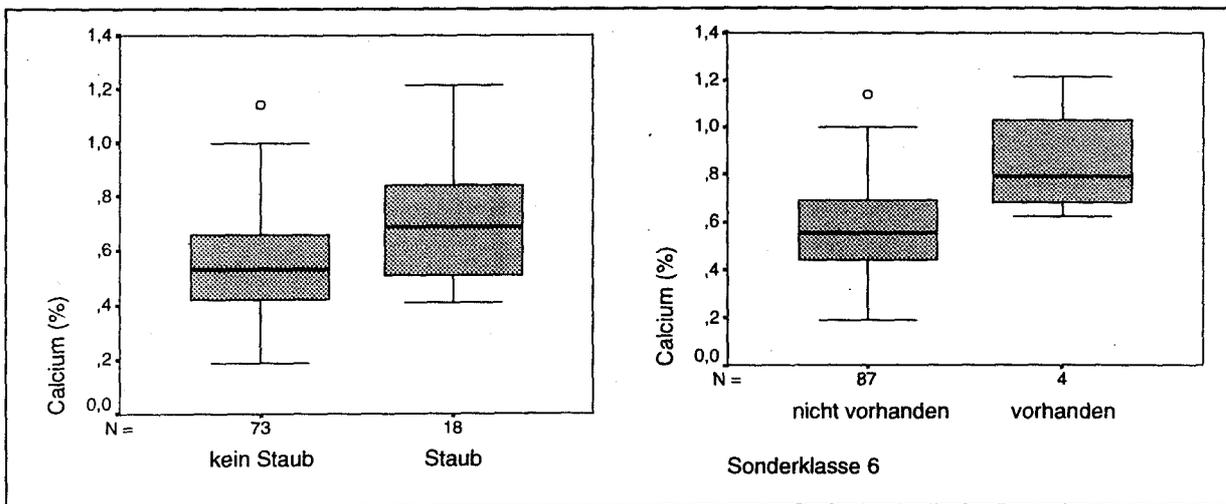


Abb. 96: Boxplots zu den Calciumgehalten einjähriger Fichtennadeln getrennt nach Standorten mit und ohne Staubebelegung auf den Spaltöffnungen sowie mit und ohne Sonderklasse 6.

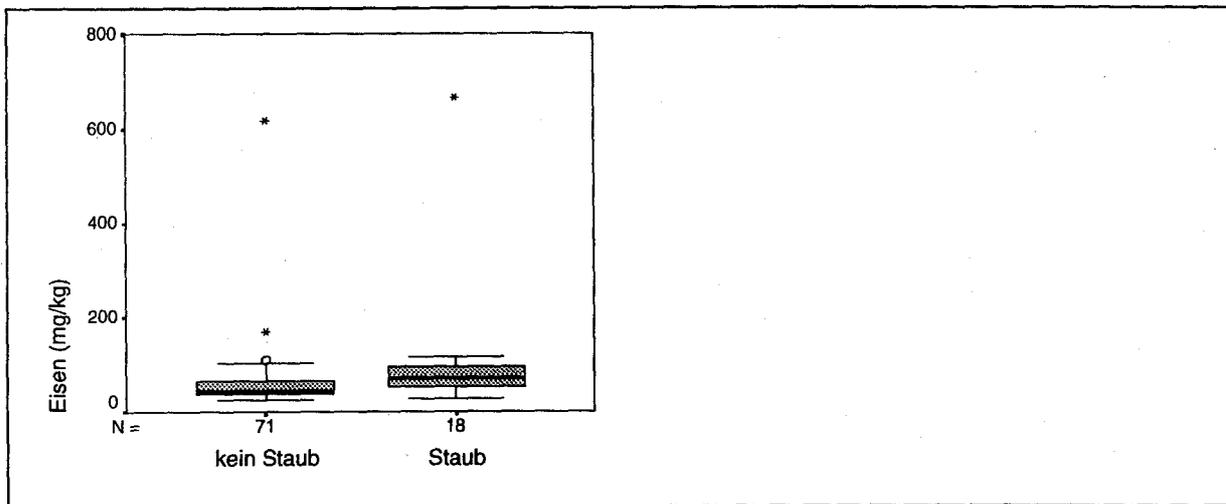


Abb. 97: Boxplots zu den Eisengehalten einjähriger Fichtennadeln getrennt nach Standorten mit und ohne Staubebelegung auf den Spaltöffnungen.

4.4.2 Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Gipskristallen in den Spaltöffnungen

Bei 40 % der Standorte, bei denen Staub auf den Spaltöffnungen gefunden wurden, konnten auch Gipskristalle nachgewiesen werden. Dagegen waren nur auf 4 % der Standorte, auf denen kein Staub auf den Spaltöffnungen nachgewiesen werden konnte, Gipskristalle vorhanden (Tab. 50). Sowohl das Auffinden von Gipskristallen als auch von Staub sind von der Nähe zu Emittenten nicht unabhängig (Kap. 4.3.1). Mittels χ^2 -Quadrat-Test zeigt sich auch, daß das Auffinden von Staub und Gips nicht voneinander unabhängig ist.

Tab. 50: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten innerhalb der Kategorien „kein Staub“ und „Staub“, wo Gipskristalle in den Spaltöffnungen gefunden wurden.

		GIPS		Total
		kein Gips	Gips gefunden	
kein Staub	n	81	3	84
	% innerhalb Staubkategorie	96,4%	3,6%	100,0%
Staub	n	12	8	20
	% innerhalb Staubkategorie	60,0%	40,0%	100,0%
Total	n	93	11	104
	% innerhalb Staubkategorie	89,4%	10,6%	100,0%

Die Gruppe von Standorten, auf deren Fichtennadeln Gipskristalle nachgewiesen wurden, zeigen signifikant höhere Schwefel-, Phosphor-, Eisen- und Zinkgehalte in den Nadeln (Abb. 98). Besonders der Unterschied hinsichtlich der Schwefelbelastung ist bemerkenswert. Höhere Nadelkonzentrationen dieses Elementes gehen mit der Nähe zu Emittenten einher und weisen auf höhere Immissionsbelastungen hin (Kap. 4.3.1). Die Auswaschung von Nährstoffen aus den Blättern und Nadeln durch Säurebelastung wurde vielfach nachgewiesen (KREUZER & BITTERSÖHL, 1986; MATZNER, 1986; MENGEL ET AL., 1986). Der Schwefel des Gipskristalls in der Spaltöffnung der Nadeln stammt von der Schwefelbelastung der Nadeln, das Calcium im Kristall wird zur Säureneutralisation aus der Nadel abgegeben (HEINZE & FIEDLER, 1992). Die festgestellten Gipskristalle in den Spaltöffnungen der Nadeln stellen somit einen guten Indikator für die Auswaschung von Nährstoffen durch erhöhte Schwefelbelastung dar. Diese Ergebnisse im Zusammenspiel mit jenen für Staub und die Wachsqualität (Kap. 4.3) vermitteln, daß Fichten bzw. Waldstandorte im Nahbereich von österreichischen Emittenten immernoch vielfältigen, beeinträchtigenden Einflüssen ausgesetzt sind. Trotz massiver, emissionsreduzierender Maßnahmen bei Schwefel treten in emittentennahen Gebieten offenbar nachwie vor Belastungen auf, die physiologisch relevant sind. Die gefundenen Gipskristalle stellen nur einen Indikator dar, daß weitere emissionsreduzierende Maßnahmen bei Schwefel auch in Österreich für die Gesundheit des Waldes vorsorglich erforderlich sind.

Der Nachweis signifikant höherer Kalium-, Phosphor- und Zinkgehalte in Nadeln mit Gips könnte damit zusammenhängen, daß jeweils Gips und die Gehalte dieser Elemente mit der Nähe zu Emittenten gekoppelt sind (Kap. 4.3). Eine darüber hinausgehende kausale Erklärung bietet sich nicht an.

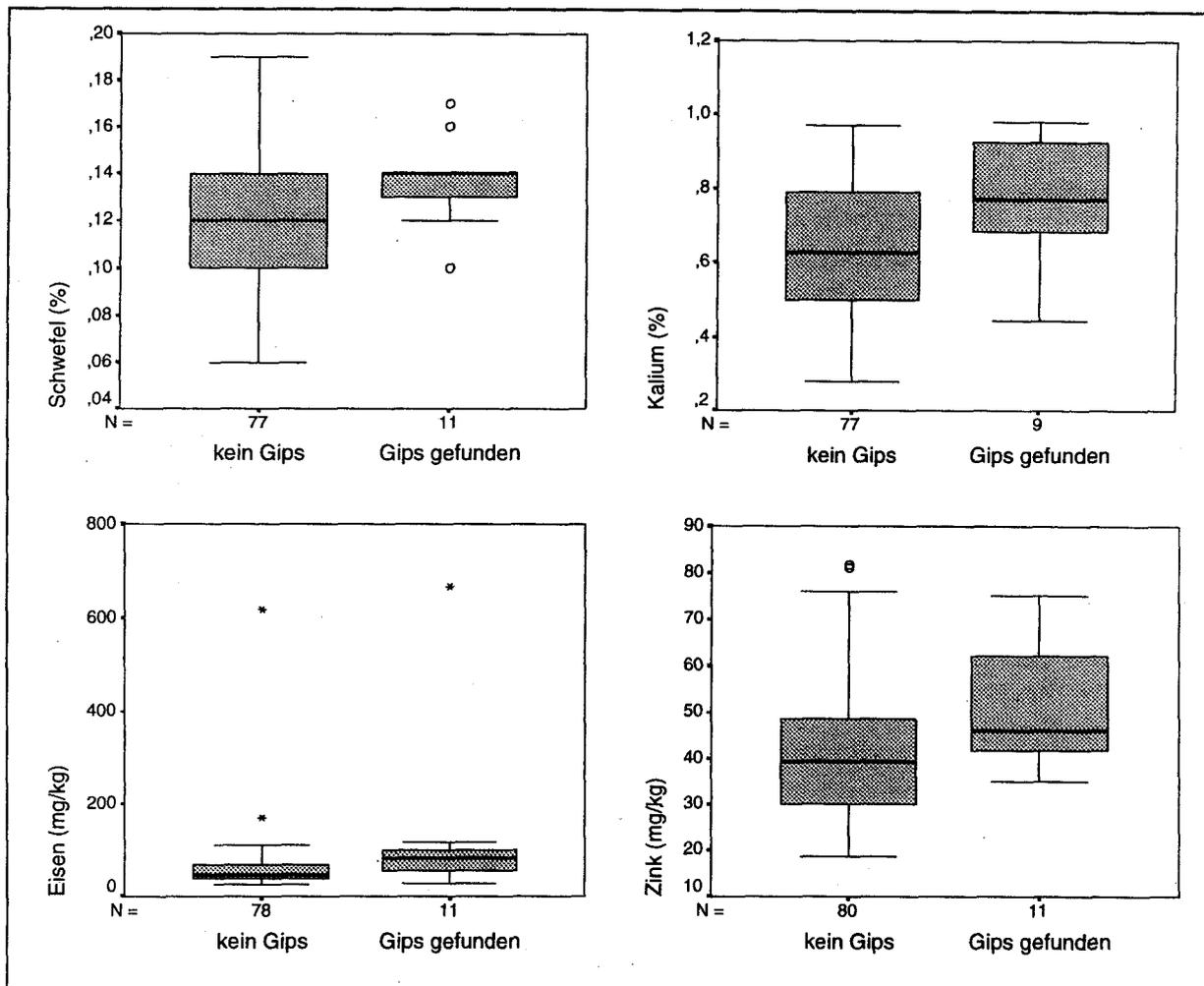


Abb. 98: Boxplots zu den Schwefel-, Kalium, Eisen und Zinkgehalten einjähriger Fichtennadeln getrennt nach Standorten mit und ohne Gipskristallen in den Spaltöffnungen.

4.4.3 Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern

Bei Heranziehung des Gesamtdatensatzes ($n > 80$) für das Jahr 1995 konnten signifikante Korrelationen zwischen einzelnen Parametern gefunden werden. Die Zusammenhänge sind allerdings fast durchwegs schwach ausgeprägt. Es wird angenommen, daß die gefundenen Zusammenhänge überwiegend durch die unterschiedliche Lage von Standorten zu Emittenten begründet werden können und nur in wenigen Fällen kausale Ursachen haben (vgl. Kap. 4.3).

Die Wachsqualität weist signifikant positive Korrelationen mit der Epibiontenbelegung, dem Schwefel-, Calcium-, Phosphor und Zinkgehalt auf. Dies bedeutet, daß Fichtennadeln mit schlechterer Wachsqualität eine höhere Epibiontenbelegung und höhere Gehalte der angeführten Elemente haben. Zur Demonstration des losen Zusammenhanges ist in Abbildung 99 der Scatterplot zwischen der Wachsqualität und dem Schwefelgehalt der Nadeln dargestellt, deren Korrelation noch die ausgeprägteste der oben angeführten war. Jene beiden Hintergrundstandorte, deren schlechte stomatäre Wachsqualität eindeutig auf mechanische Beeinträchtigungen zurückzuführen war, wurden für diese Darstellung aus dem Datensatz entfernt. Anhand des Scatterplots ist nachvollziehbar, daß eine schlechte Wachsqualität mit

der Schwefelbelastung in Zusammenhang stehen dürfte, aber nicht ausschließlich und auf allen Standorten. Dies steht in Übereinstimmung zu zahlreichen anderen Untersuchungen, die verschiedene Belastungen als Ursache für eine schlechtere Wachsqualität identifizieren konnten (GÜTH & FRENZEL, 1988; GÜNTHARDT-GOERG, 1991; Zusammenstellung in TRIMBACHER ET AL., 1995). Einen Zusammenhang zwischen Schwefelgehalt und Wachsverschmelzung von Fichtennadeln zeigte allerdings auch die Untersuchung derselben 25 Hintergrundstandorte, wie in dieser Untersuchung, im Jahr 1993 (TRIMBACHER ET AL., 1995). HUTTONEN & LAINE (1991) fanden ebenso eine Korrelation zwischen dem Ausmaß der Wachserosion und dem Schwefelgehalt der Nadeln bei *Pinus sylvestris*. BERMADIN-GER ET AL. (1987) fanden an Fichtennadeln aus Rauchschaadensgebieten starke Verschmelzungen der Wachsröhrchen im Spaltöffnungsvorhof, die sie auf eine erhöhte Schwefeldioxid-Belastung zurückführten. Somit verdichten sich insgesamt die Hinweise, daß eine erhöhte Schwefelbelastung ursächlich mit nachweisbar schlechteren Wachsqualitäten in Zusammenhang steht.

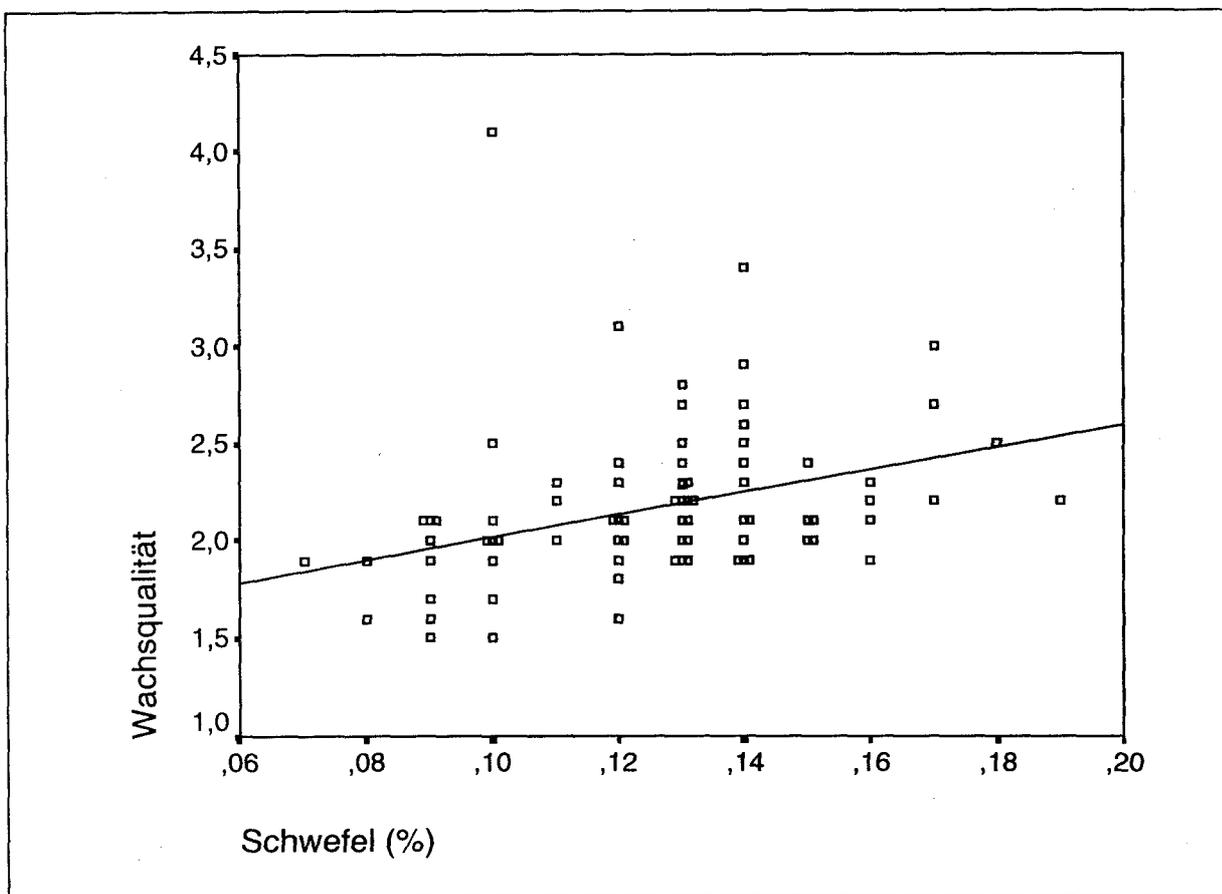


Abb. 99: Scatterplot und zugehörige Regressionsgerade zwischen der stomatären Wachsqualität und der Schwefelkonzentration der einjährigen Nadeln.

Die Epibiontenbelegung weist neben dem bereits erwähnten Zusammenhang mit der Wachsqualität, signifikant negative Korrelationen mit den Nadelkonzentrationen der Elemente Kalium und Zink auf. Alle drei Korrelationen sind zwar signifikant, aber äußerst schwach ausgeprägt. Es wird angenommen, daß sie zufällig zustandekommen.

Zwischen den Nadelgehalten einzelner Elemente wurden ebenso signifikante Korrelationen nachgewiesen. Diese Zusammenhänge dürften lagebedingt sein, da mit der Nähe zu Emittenten zahlreiche Elemente in höheren Nadelkonzentrationen vorlagen (vgl. Kap. 4.3).

Die vergleichsweise straffste positive Korrelation wurde zwischen den Schwefel- und Stickstoffgehalten nachgewiesen (Abb. 100). Besonders emittentennahe Standorte weisen höhere Nadelgehalte bei diesen beiden Elementen auf (Kap. 4.3). Höhere Belastungen mit diesen beiden Elementen sind gekoppelt, werden von den Pflanzen aufgenommen und finden sich offenbar gleichzeitig in höheren Nadelkonzentrationen wieder.

Beide Elemente haben nicht nur eine Bedeutung als Nährstoff für den Wald, sondern in erhöhten Konzentrationen und in verschiedenen oxidierten und teilweise reduzierten Verbindungen auch als Schadstoff. Bei Stickstoff spielt zusätzlich noch die eutrophierende Wirkung und die Gefahr von Nährstoffimbilanzen mit anderen Elementen eine bedeutende Rolle. Es gibt zahlreiche Hinweise, daß mit Stickstoffüberschuß Mangel an anderen Elementen verbunden sein kann, der sich negativ auf die Waldgesundheit auswirkt (MARSCHER, 1992, SCHWARZL & WEISS, 1997). Es stellt in diesem Zusammenhang keine Beruhigung dar, daß andere Nährelemente (z. B. K, Ca, Mg) ebenfalls in höheren Nadelkonzentrationen in emissionsnahen Lagen festgestellt wurden, da diese Elemente - im Gegensatz zu Stickstoff - im auf den Nadeln deponierten Staub detektierbar sind (Kap. 4.1). Die Nadelkonzentrationen dieser Elemente repräsentieren aus diesem Grund bei emittentennahen Standorten den Gehalt in plus auf den Nadeln und stellen damit in diesen Lagen einen ungeeigneten Indikator zur Beurteilung der Ernährungssituation der Bestände dar (vgl. auch Kap. 4.4.1).

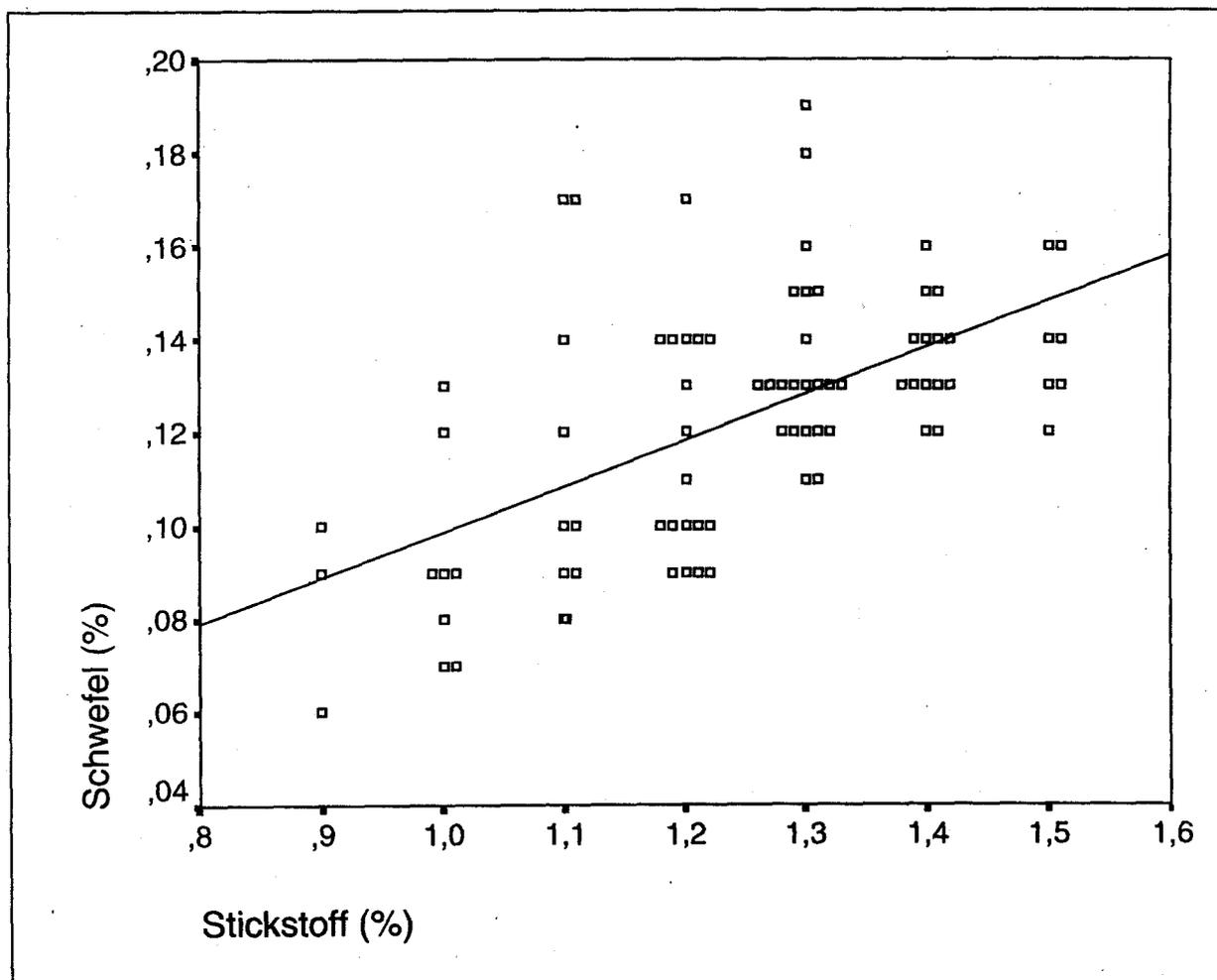


Abb. 100: Scatterplot und zugehörige Regressionsgerade zwischen der Stickstoff- und Schwefelkonzentration der einjährigen Nadeln.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Das Umweltbundesamt führt bereits seit mehreren Jahren rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von Fichtennadelwachsen in verschiedenen Regionen Österreichs durch. Die sog. Epicuticularwachse überziehen die gesamte Nadel und bilden somit die ersten Angriffsflächen der Blattorgane für Umwelteinflüsse. Besonders im Bereich der Spaltöffnungen, den Atmungsorganen der Nadel, ist ein dichtes Geflecht aus Wachsröhrchen ausgebildet, welches wie ein Filter wirkt und die Funktion der Spaltöffnungen, wie beispielsweise Regulation des Gasaustausches bei der Photosynthese und Atmung oder Schutz vor übermäßiger Verdunstung unterstützt. Umwelteinflüsse, vor allem Luftschadstoffe, können die Epicuticularwachse beeinträchtigen. Immissionseinflüsse können nach Art der Wachsveränderungen von witterungsbedingten Veränderungen der Wachsmikrostruktur unterschieden werden.

1995 wurde vom Umweltbundesamt in Zusammenarbeit mit dem Institut für Waldwachstumsforschung der Universität für Bodenkultur ein standardisiertes Beurteilungsverfahren zur quantitativen Erfassung von Nadelwachsveränderungen für einjährige Fichtennadeln an Nadelmaterial unbelasteter Hintergrundstandorte entwickelt. Durch die Bewertung der Wachstrukturen einer definierten Anzahl von Spaltöffnungen resultiert ein Zahlenwert zwischen 1,0 (unbeeinträchtigt) und 5,0 (stark beeinträchtigt), der als Wachsqualität bezeichnet wird. Dieser baumphysiologische Parameter charakterisiert den Erhaltungszustand der Nadelwachse.

Als weiteren Schritt galt es nun, die Eignung des Beurteilungsverfahrens zur Charakterisierung emittentennaher Standorte zu testen. Dafür wurden solche Standorte ausgewählt, an denen Emissionen zu erwarten sind, die nachweislich, wie durch zahlreiche Untersuchungen belegt, die Wachsqualität nachteilig beeinflussen.

Zu den insgesamt 14 emittentennahen Standorten, die im Rahmen dieser Projektstudie untersucht wurden, zählten die industriell beeinflussten Standorte *Arnoldstein*, *Breitenau*, *Brixlegg*, *Brückl*, *Leoben*, *Radenthein*, *Reutte*, *Treibach* und *Waltersdorf*. Die städtischen Ballungsräume *Graz*, *Innsbruck* und *Linz* sowie je ein Höhenprofil an der *A10-Tauernautobahn* bei Zederhaus und an der *A12-Inntalautobahn* bei Rattenberg (Profil Radfeld) waren ebenfalls Bestandteil des vorliegenden Untersuchungsprogramms. Um Vergleichsdaten zu diesen emittentennahen Standorten zu erhalten, wurde auch Nadelmaterial von durch lokale Schadstoffquellen unbeeinflussten Hintergrundstandorten analysiert. Dabei handelte es sich um dieselben Standorte, deren Fichtennadeln für die Methodenentwicklung verwendet wurden. Die im folgenden angeführten Ergebnisse der Studie beziehen sich auf einjährige Fichtennadeln des Jahres 1995.

Des weiteren wurden an den genannten Standorten auch die Nähr- und Schadstoffkonzentrationen der Fichtennadeln erhoben. Mit Hilfe einer umfangreichen statistischen Auswertung wurden die Zusammenhänge der verschiedenen Parameter überprüft. Zu diesem Zweck erfolgte eine Einteilung aller Standorte in die Kategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten.“ Standorte mit der Bezeichnung „Hintergrund“ sind durchwegs in sehr großer Distanz zu Ballungsräumen, öffentlichen Straßen und Betrieben. In der Gruppe „nahe Emittenten“ sind jene Standorte der untersuchten Ballungsräume, öffentlichen Straßen und/oder Betriebe zusammengefaßt, wo aufgrund der Lage bereits geringerer Einfluß dieser Quellen vermutet wird. Standorte in der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ liegen im unmittelbaren Nah- und daher Einflußbereich der untersuchten Quellen.

Die Ergebnisse verdeutlichen, daß das dargestellte Verfahren der rasterelektronenmikroskopischen Beurteilung der Wachsqualität von Fichtennadeln eine sehr sensible und geeignete Methode der Bioindikation darstellt.

Es wurde festgestellt, daß die Gruppe der Standorte „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ eine signifikant schlechtere Wachsqualität der Spaltöffnungen aufwiesen als die

Kategorie „Hintergrund“. Verantwortlich für dieses Ergebnis war insbesondere die schlechtere Wachsqualität der Fichtennadeln der Untersuchungsgebiete *Breitenau*, *Innsbruck*, *Leoben*, *Linz*, *Radenthein*, *Radfeld* und *Zederhaus*. Gipskristalle, deren Auftreten auf Nadeloberflächen als Indiz für erhöhte Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln aufgrund von Schwefelmissionen gewertet wird, wurden nur im Nahbereich von Emittenten, vor allem in den Untersuchungsgebieten *Breitenau*, *Brückl*, *Graz*, *Innsbruck*, *Leoben*, *Radfeld*, *Reutte* und *Waltersdorf* gefunden. Die Gruppe der Standorte, wo Gipskristalle detektiert wurden, wies auch signifikant höhere Schwefelgehalte der Nadeln auf. Dabei wurde an fast allen Standorten im Einflußbereich von Emittenten der Grenzwert für Schwefel im 1. Nadeljahrgang gemäß 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen überschritten. In einigen ausgewählten Untersuchungsgebieten wurde auch der Chloridgehalt der Nadeln bestimmt. Auch für dieses Element wurden an fast allen untersuchten Punkten Grenzwertüberschreitungen festgestellt. Die Staubbelegung auf den Spaltöffnungen war an Standorten „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ erhöht und zum Teil für die Emissionsquelle in ihrer Elementzusammensetzung spezifisch. Signifikant mehr Staub auf den Nadeln im Nahbereich von Emissionsquellen deutet auf einen höheren Stoffeintrag in diesen Lagen hin, wie dies auch anhand von zahlreichen Depositionsuntersuchungen gut dokumentiert ist. Abhängig von der Elementzusammensetzung des Eintrags entsteht dadurch die Gefahr von Nährstoffungleichgewichten bei der Ernährung der Waldbestände, Versauerung des Waldbodens oder von Anreicherungen des Waldbodens mit toxischen Schwermetallen.

Eine Überprüfung der Standortskategorien „Hintergrund“, „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ auf Unterschiede hinsichtlich der Gehalte einzelner Nähr- und Schadelemente erbrachte bemerkenswerte Ergebnisse. Die beiden Gruppen nahe und sehr nahe zu Emittenten wiesen signifikant höhere Gehalte einjähriger Nadeln an den Elementen Stickstoff, Phosphor, Calcium, Kalium, Magnesium, Schwefel, Kupfer und Zink auf als die Hintergrundstandorte. Für einzelne dieser Elemente war dieses Ergebnis zu erwarten. Bei Stickstoff und Schwefel kann angenommen werden, daß höhere Konzentrationen in der Luft bzw. Depositionen dieser Elemente im Nahbereich von Emissionsquellen sich in erhöhten Nadelgehalten äußern. Auch bei den anderen Elementen könnten diese Unterschiede zwischen Hintergrundstandorten und emittentennahen Standorten ebenfalls mit Depositionen in Zusammenhang stehen, die auch zu einer Staubbelegung der Nadeln führen. In den Elementspektren der anhaftenden Staubpartikel an emittentennahen Standorten sind Nährelemente detektierbar. Die höheren Nährstoffgehalte dürften daher durch Staubbelag auf den Nadeln mitbeeinflusst sein und somit nicht nur die Gehalte in den Nadeln repräsentieren. Eine Beurteilung der Ernährungssituation im Nahbereich von Emittenten anhand von Nadelgehalten ist damit problematisch. In künftigen Untersuchungen zur Beurteilung der Ernährungssituation von Waldbeständen an immissionsbeeinflussten Standorten sollte dieser Umstand Berücksichtigung finden.

Die Ergebnisse zeigen, daß im Nahbereich von Emissionsquellen in Österreich nach wie vor Einflüsse wirksam sind, die in Hinblick auf die Waldgesundheit als problematisch zu werten sind. Die stärkere Beeinträchtigung der Nadelwachse von Fichten stellt nur einen der festgestellten, indikativen Hinweise dar. Unabhängig davon, daß jeder der untersuchten emittentennahen Standorte individuell zu beurteilen ist und für alle Standorte gemeinsam gültige Aussagen nicht getroffen werden können, sind die Ergebnisse als genereller Hinweis zu deuten, daß weiterer Bedarf zur Emissionsreduktion in Österreich besteht.

6 DANKSAGUNG

Die Autoren danken den Mitarbeitern der Landesforstdirektionen für Kärnten und Tirol sowie der Landesforstinspektionen für Oberösterreich und Steiermark für die Organisation und Durchführung der Probenahmen und die freundliche Unterstützung. Das Nadelmaterial aus den drei Versuchsgärten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt bei Arnoldstein wurde uns dankenswerterweise von Herrn Dr. Neumann zur Verfügung gestellt.

Die immissionsklimatologische Kurzcharakteristik von Graz wurde uns von Herrn Mag. Schopper, Fachabteilung Ia des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung zur Verfügung gestellt. Die immissionsklimatologische Kurzdarstellung des Raums Innsbruck wurde von Herrn Univ.-Doz. Dr. Vergeiner des Institutes für Meteorologie der Universität Innsbruck verfaßt. Weiters möchten wir Frau Dr. Pack für die Beschreibung der Standorte im Raum Innsbruck recht herzlich danken.

Unser Dank gilt auch den Betrieben Donau Chemie/Werk Brückl, Veitsch Radex/Werk Breitenau und Werk Radenthein, Plansee Unternehmensgruppe /Werk Reutte, Treibacher Industrie AG und Wieterdorfer & Peggauer Zementwerke für die übermittelten Informationen bzw. Emissionsdaten.

7 QUELLENNACHWEIS

- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG-LANDESFORSTDIREKTION (1991): Auswirkungen des Straßenverkehrs auf die Umwelt. Teilbericht Luft/Vegetation/Boden. Bericht an den Tiroler Landtag, Oktober 1991. Amt der Tiroler Landesregierung-Landesforstdirektion, Innsbruck.
- BERGMANN, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.
- BERMADINGER, E.; GRILL, D.; GOLOB, P. (1987): Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse. *Phyton (Austria)* 27/1, 15-29.
- BERMADINGER-STABENTHEINER, E. (1994): Problems in interpreting effects of air pollutants on spruce epicuticular waxes. In: Percy, K. E. (Hrsg.): *Air Pollutants and the Leaf Cuticle*. NATO ASI Series, Vol. G 36. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 320-327.
- CROSSLEY, A. & FOWLER, D. (1986): The weathering of Scots pine epicuticular wax in polluted and clean air. *New Phytol.* 103, 207-218.
- FEENSTRA, O. (1994): Beschreibung der Industriestandorte und Unternehmungen. In: Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15-Umweltschutz (Hrsg.): *Kärntner Umweltbericht 1994*, 408-419.
- FIEDLER, H. J.; BARONIUS, G.; EHRIG, F. (1990): Rasterelektronenmikroskopische und chemische Untersuchungen grüner und chlorotischer Nadeln eines immissionsgeschädigten Kiefernbestandes. *Flora* 184, 91-101.
- FOERST, K.; SAUTER, U.; NEUERBURG, W. (1987): Bericht zur Ernährungssituation der Wälder in Bayern und über die Anlage von Walddüngungsversuchen. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, 79.
- FUCHS, W. (1994): Beurteilung ausgewählter biometrischer Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung als Vitalitätskriterien für den Wald. Universität für Bodenkultur Wien, Diplomarbeit.
- FÜRST, A. (1994): Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden-Beobachtungssystems - Ergebnisse der Probenahme 1992. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Bericht WBS-NP 3/1994.
- FÜRST, A. (1996a): Blatt- und nadelanalytische Untersuchung im Rahmen des Waldschaden-Beobachtungssystems - Ergebnisse 1989 bis 1993. In: Neumann, M. (Hrsg.): *Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem*. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Bericht 93, 101-110.
- FÜRST, A. (1996b): Eisen-, Mangan und Zinkversorgungsgrad der Fichte im Jahr 1993 in Österreich. In: Neumann, M. (Hrsg.): *Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem*. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Bericht 93, 111-120.
- GLATTES, T.; SMIDT, S.; DRESCHER, A.; MAYER, C.; MUTSCH, F. (1985): Höhenprofil Zillertal. Untersuchungen einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. FBVA-Berichte Nr. 9. Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien.
- GRILL, D.; EBERMANN, R.; GAILHOFER, M.; HALBWACHS, G. (1988): Reaktionen des Pflanzenstoffwechsels im Syndrom der „neuartigen“ Waldschäden. In: Führer, E., Neuhuber, F. (Hrsg.): *FIW-Symposium 1988 - Waldsterben in Österreich, Theorien, Tendenzen, Therapien*. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien, 166-186.
- GULDER, H.J. & KÖLBEL, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, 132.
- GÜNTHHARDT-GOERG, M.S. (1991): Die Einwirkung von Luftschadstoffen und Klimafaktoren auf die Wachsschicht von Fichtennadeln. In: Stark, M. (Hrsg.): *Luftschadstoffe im Wald 5*. Verlag der Fachvereine Zürich, 107-118.
- GUSSONE, H.A. (1964): *Faustzahlen für die Düngung im Walde*. BLV Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München, Basel, Wien.

- GÜTH, S. & FRENZEL, B. (1988): Epicuticularwachs der Tanne (*Abies alba Mill.*) und Walderkrankung. I. Die Wachsstruktur. *Angew. Botanik* 63, 241-258.
- HAFNER, L. (1986): Zur Feinstruktur der geschädigten Kiefernadel. *AFZ* 45, 1119-1121.
- HALBWACHS, G. (1982): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein. *Carinthia* II, Sonderheft 39.
- HEINZE, M. & FIEDLER, H.J. (1992): Ernährung der Gehölze. In: Lyr, H.; Fiedler, H.J. & Tranquillini, W. (Hrsg.): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 43-116.
- HERMAN, F. (1994): Veränderungen der Bleigehalte von Fichtennadeln im Beprobungszeitraum von 1963 bis 1991. In: Alef, K.; Fiedler H. & Hutzinger, O. (Hrsg.): *Eco-Inforna-94*, Band 5, Umweltmonitoring und Bioindikation. Umweltbundesamt Wien, 161-170.
- HUTTUNEN, S. & LAINE, K. (1981): The structure of pine needle surface (*Pinus sylvestris L.*) and the deposition of air-borne pollutants. *Arch. Ochr. Srodowiska* 2-4, 29-38.
- HUTTUNEN, S. & LAINE, K. (1983): Effects of air-borne pollutants on the surface wax structure of *Pinus sylvestris* needles. *Ann. Bot. Fennici* 20, 79-86.
- HUTTUNEN, S.; TURUNEN, M.; REINIKAINEN, J. (1990/1991): Scattered CaSO₄-crystallites on needle surfaces after simulated acin rain as an indicator of nutrient leaching. *Water, Air & Soil Pollut.* 54, 169-173.
- KARHU, M. & HUTTUNEN, S. (1986): Erosion effects of air pollution on needle surfaces. *Water, Air & Soil Pollut.* 31, 417-423.
- KASPEROWSKI, E. & FRANK, E. (1989): Boden- und Vegetationsuntersuchungen im Bereich der Scheitelstrecke der Tauernautobahn. Monographie Bd. 15, Umweltbundesamt, Wien.
- KASPEROWSKI, E. (1993): Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein. Monographie Bd. 33, Umweltbundesamt, Wien.
- KELLER, T.; BAJO, S.; WYTENBACH, A. (1986): Gehalte an einigen Elementen in den Ablagerungen auf Fichtennadeln als Nachweise der Luftverschmutzung. *Allg. Forst- u. Jagdz.* 157 (3/4), 69-78.
- KNABE, W. (1984): Merkblatt zur Entnahme von Blatt- und Nadelproben für chemische Analysen. *AFZ* 33/34, 847-848.
- KOFLER, W.; TEUTSCH, H.; VERGEINER, I.; KOHLMAYER, U.; HELBIG, K.; KOFLER, H.; WASSERMANN, G.; SCHÖNEGGER, J. (1984): Lufthygienische Schwerpunktstudie Radenthein. Amt der Kärntner Landesregierung.
- KOFLER, W.; TEUTSCH, H.; KOHLMAYER, U.; ASCHBAUER, J.; GRITZNER, K.H.; HELBIG, K.; KOFLER, H.; LERCHER, P.; WASSERMANN, G.; SCHÖNEGGER, J.; SCHORAT, W.U. (1986): Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf. Amt der Kärntner Landesregierung.
- KOFLER, W.; TEUTSCH, H.; VERGEINER, I.; KOFLER, H.; KOHLMAYER, U.; WASSERMANN, G.; SCHÖNEGGER, J.; HOFFMANN, G. (1992): Lufthygienische Schwerpunktstudie Treibach-Althofen. Amt der Kärntner Landesregierung.
- KÖNIG, G.; RADUNSKY, K.; RITTER, M. (1997): Österreichische Luftschadstoff-Inventur 1994. UBA-REPORT-139. Umweltbundesamt, Wien.
- KREUTZER, K. & BITTERSÖHL, J. (1986): Stoffauswaschung aus Fichtenkronen (*Picea abies [L.] Karstf.*) durch saure Beregnung. *Forstw. Cbl.* 105, 357-363.
- KRIVAN, V. & SCHALDACH, G. (1986): Untersuchungen zur Probenahme und -vorbehandlung von Baumadeln zur Elementanalyse. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 324, 158-167.
- KRIVAN, V.; SCHALDACH, G.; HAUSBECK, G. (1987): Interpretation of element analyses of spruce needles tissue falsified by atmospheric surface deposition. *Naturwissenschaften* 74, 242-245.
- LÜTZ, C.; HEINZMANN, U.; GÜLZ, P.-G. (1990): Surface structures and epicuticular wax composition of spruce needles after long-term treatment with ozone and acid mist. *Environ. Pollut.* 64, 313-322.

- NEBE, W.; SCHIERHORN, E.; ILGEN, G. (1988): Rasterelektronenmikroskopische und chemische Untersuchungen von immissionsgeschädigten Fichtennadeln (*Picea abies* (L.) Karst.). Flora 181, 409-414.
- NEUMANN, M. (1991): Entwicklung von Fichtenaufforstungen unter starkem Immissionseinfluß. Centralbl. f. d. ges. Forstwesen 108/4, 331-365.
- MARSCHNER, H. (1992): Bodenversauerung und Mangelernährung der Pflanzen. In: Glatzel, G.; Jandl, R.; Sieghardt, M. & Hager, H. (Hrsg.): Magnesiummangel in mitteleuropäischen Waldökosystemen. Universität für Bodenkultur Wien, Forstliche Schriftenreihe Bd. 5, 1-15.
- MATZNER, E., (1986): Deposition/canopy-interactions in two forest ecosystems in Northwest Germany. In: Georgii, H.W. (Hrsg.): Atmospheric Pollutants in Forest Areas. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo, 247-262.
- MENGEL, K.; LUTZ, H.J.; BREININGER, M. (1986): Mineralstoff- und Kohlenhydratauswaschung durch saure Nebel aus jungen Fichten. Ber. der KFA Jülich 369, 292-298.
- ÖNORM M 6279 (1991): Bestimmung von 33 Elementen mittels ICP-AES.
- SAUTER, J. J.; KAMMERBAUER, H.; PAMBOR, L.; HOCK, B. (1987): Evidence for the accelerated micromorphological degradation of epistomatal waxes in Norway spruce by motor vehicle emissions. Eur. J. For. Path. 17, 444-448.
- SAUTER, J. J. & PAMBOR, L. (1989): The dramatic corrosive effect of road side exposure and aromatic hydrocarbons on the epistomatal wax crystallites in spruce and fir - and its significance for the „Waldsterben“. Eur. J. For. Path. 19, 370-378.
- SCHÖN, B.; WIMMER, R.; WUGGENIG, W.; HALWACHS, G. (1988): Nadel- und triebbiometrische Untersuchungen an Fichten aus österreichischen Waldschadensgebieten. In: Führer, E. & Neuherber, F. (Hrsg.): FIW-Symposium 1988 - Waldsterben in Österreich, Theorien, Tendenzen, Therapien. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung, Wien, 297-298.
- SCHWARZL, B. & WEISS, P. (1997): Zusammenhänge zwischen Kenndaten zur Charakterisierung des Waldzustandes auf vier Dauerbeobachtungsflächen. UBA-REPORT-145, Umweltbundesamt, Wien.
- SOMMER, R.; GIEFING, C.; LACKNER, M.; FÖSSLEITNER, B.; SCHWARZ, C.; MINNIBERGER, G.; KERNECKER, T. (1993): Saurer Regen in Oberösterreich - Meßbericht 6 (10-Jahresmeßbericht). Amt der Oberösterreichischen Landesregierung, Abt. Umweltschutz, Linz.
- SPINDELBALKER, C.; RISS, A.; HACKL, J.; HOJESKY, H.; KASPEROVSKY, E.; MÜLLEBNER, M.; NOWAK, H. & PESCHECK, R. (1990): Montanwerke Brixlegg - Wirkungen auf die Umwelt. Monographie Bd. 25, Umweltbundesamt, Wien.
- SPRITZL, G. & KELLNER, K. (1991): Transmissions- und Immissionsmessungen im Inntal Winter 1990/91. Österr. Bundesinst. f. gesundheitsw. Studie im Auftrag der Tiroler Landesregierung.
- STEFAN, K. (1992): Das österreichische Bioindikatornetz - Ergebnisse der Schwefel- und Nährelementuntersuchungen. In: VDI (Hrsg.): Bioindikation: Ein wirksames Instrument der Umweltkontrolle. VDI-Berichte 901, Bd. 1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 259-273.
- STEFAN, K. (1996): Österreichisches Bioindikatornetz. Bericht BIN-S 110, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien.
- STÖHR, D.; PARTL, H.; LUXNER, M. (1989): Bericht über den Zustand der Tiroler Böden. Amt der Tiroler Landesregierung, Innsbruck.
- THANNER, G. & MOCHE, W. (1996): Dioxinimmissionen in Leoben/Donawitz. UBA-BE-066, Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C. & DITRICH, H. (1989): Epicuticuläre Wachsstrukturen von Fichtennadeln als Indikatoren für Langzeitimmissionsbelastungen. UBA-Report-89-039, Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C. (1991): REM-Untersuchungen an Fichtennadeln besonders exponierter Standorte. VDI Berichte_901, 285-289.

- TRIMBACHER, C. & WEISS, P. (1992): Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen und Schwermetallanalysen von Fichtennadeln aus dem Raum Linz. In: Weiss, P.; Riss, A. & Trimbacher, C.: Schadstoffe im Raum Linz. Monographie Bd. 20, Teil C. Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C.; ECKMÜLLNER, O.; WEISS, P. (1995): Die Wachsqualität von Fichtennadeln Österreichischer Hintergrundstandorte. Eine neue Klassifizierungsmethode zur standardisierten Beurteilung der Nadelwachse von Fichten mit dem Rasterelektronenmikroskop. Monographie Bd. 57, Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C. (1996a): Zur Beeinflussung von Fichtennadelwachsen im Raum Arnoldstein. UBA-BE-062, Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C. (1996b): Die Beeinflussung der Wachsstrukturen von Fichtennadeln durch Immissionen am Beispiel von Brixlegg und Linz. UBA-BE-055. Umweltbundesamt, Wien.
- TRIMBACHER, C. (1996c): Die Wachsqualität von Fichtennadeln am Schulterberg-Nordprofil. In: Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen (Hrsg.: Herman, F. & Smidt, S.). FBVA-Berichte 94, 185-191.
- TRIMBACHER, C. & ECKMÜLLNER, O. (1997): A method für quantifying changes in the epicuticular wax structure of Norway spruce needles. Eur. J. For. Path. 27, 83-93.
- TURUNEN, M.; HUTTUNEN, S.; BACK, J. (1994): Observations on the effects of acid rain treatment on needle surfaces of Scots pine and Norway spruce seedlings. In: Percy, K. E. (Hrsg.): Air Pollutants and the Leaf Cuticle. NATO ASI Series, Vol. G 36. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 316-319.
- UMWELTBUNDESAMT (1992): Bericht über die Umweltsituation an ausgewählten langjährigen Industriestandorten. Bericht gemäß Entschließung des Nationalrates vom 26. Juni 1992, Umweltbundesamt, Wien.
- VOGEL, W. R.; KIENZL, K. & RISS, A. (1991): Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. Monographie Bd. 26. Umweltbundesamt, Wien.
- WEISS, P.; RISS, A.; TRIMBACHER, C. (1992): Schadstoffe im Raum Linz. Monographie Bd. 20, Umweltbundesamt, Wien.
- WEISS, P.; LORBEER, G.; SCHARF, S. (1996): Persistente organische Schadstoffe in Fichtennadeln und im Auflagehumus des Schulterberg-Nordprofils. In: Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen (Hrsg.: Herman, F. & Smidt, S.). FBVA-Berichte 94, 83-100.
- WEISS, P. (1997): Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. Umweltbundesamt, Wien, Monographie in Fertigstellung.
- WOHANKA, E. & STÜRZENBECHER, K. (1989): Forstgesetz 1975 in der Fassung der Forstgesetznovelle 1987. Verlag der Österreichischen Staatsdruckerei, Wien.
- WYTTENBACH, A.; TOBLER, L.; BAJO, S. (1989): Nadelinhaltsstoffe und Ablagerungen auf Nadeloberflächen von Fichten. Forstw. Cbl. 108, 233-243.
- WYTTENBACH, A.; TOBLER, L.; BAJO, S. (1991): Elementgehalte von Fichtennadeln im Raum Winterthur und deren örtliche und zeitliche Variation. In: (Stark, M. Hrsg.) Programmleitung NFP (Nationales Forschungsprogramm) Bd. 14, Luftschadstoffe im Wald 5, 75-86. Verlag der Fachvereine Zürich, Schweiz.
- ZVACEK, L. (1988): Mikronährstoffe und toxische Metalle an Waldstandorten. Dissertation an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.