

Peter WEISS

Cristina TRIMBACHER

Reports

R-154

NADELOBERFLÄCHENPARAMETER UND ELEMENTGEHALTE VON FICHTENNADELN AUSGEWÄHLTER INDUSTRIESTANDORTE

Gesamtergebnisse 1996

Wien, 1998

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Autoren

Peter Weiss
Cristina Trimbacher

Analytik

Zentrallabor des Umweltbundesamtes

GIS

Edwin Baumgartner
Felix Lux

Übersetzung

Cristina Trimbacher
Ulrike Stärk

Photoausarbeitung

Bernhard Gröger

Layout

Cristina Trimbacher
Evelyn Neuhold

Wir danken den Landesforstdirektionen bzw. Landesforstinspektionen in den Bundesländern für die Organisation, Durchführung und Übermittlung der Nadelproben und die freundliche Unterstützung.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien

Druck: Riegelnik, 1080 Wien

© Umweltbundesamt, Wien, 1998
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-462-2

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	i
SUMMARY	vi
1. EINLEITUNG	1
1.1 Nadeloberflächenparameter	1
1.2 Standorte	2
2. PROBENAHEME	3
3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN	3
3.1 Rasterelektronenmikroskopie	3
3.1.1 Bestimmung der Wachsqualität	3
3.1.2 Bestimmung der Staub- und Epibiontenbelegung	4
3.2 Chemisch-analytische Methoden	5
3.2.1 Fluorid	5
3.2.2 Chlorid	5
3.2.3 Stickstoff	5
3.2.4 Weitere Nährelemente und Schwermetalle	5
3.3. Statistische Methoden	6
4. ERGEBNISSE	7
4.1 Frantschach	7
4.1.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	7
4.1.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	8
4.2 Kematen	15
4.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	15
4.2.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	16
4.3 Lenzing	20
4.3.1 Lage und Klima	20
4.3.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	20
4.3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	21
4.4 Leoben/Donawitz	25
4.4.1 Lage und Klima	25
4.4.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	25
4.4.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	27
4.4.3.1 Vergleiche nach Standortskategorien	32
4.4.3.2 Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern	35
4.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse für Leoben	41
4.5 Linz	42
4.5.1 Lage und Klima	42
4.5.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	43
4.5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	43
4.5.3.1 Kürnberger Wald	43
4.5.3.2 Stadtgebiet	44
4.5.3.3 Pfenningberg	45
4.5.3.4 Vergleiche nach Standortskategorien und Zusammenhänge zwischen den Nadeloberflächenparametern	49

4.6	Treibach	52
4.6.1	Lage und Klima	52
4.6.2	Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	52
4.6.3	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	54
4.6.3.1	Deponie St. Kosmas	60
4.6.3.2	Vergleiche nach Standortskategorien	60
4.6.3.3	Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern	63
4.6.4	Zusammenfassung der Ergebnisse für Treibach	70
4.7	Wels	71
4.7.1	Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet	71
4.7.2	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	72
4.8	Waltersdorf	77
4.8.1	Lage und Klima	77
4.8.2	Umweltrelevante Angaben zum Standort	77
4.8.3	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	78
4.9	Gesamtübersicht über die Ergebnisse für 1996	83
4.9.1	Gebietsweiser Vergleich	83
4.9.1.1	Nadeloberflächenparameter	83
4.9.1.2	Elementgehalte	85
4.9.2	Vergleiche nach Standortskategorien	92
4.9.3	Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern	94
4.9.4	Unterschiede zwischen Standorten mit und ohne Staub- bzw. Gips kristallbelegung	100
5.	TABELLEN- / ABBILDUNGSVERZEICHNIS	102
5.1	Index of tables and figures	106
6.	LITERATUR	110

Zusammenfassung

Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln - Monitoringtools in der Umweltkontrolle

Fichtennadeln sind an ihrer Oberfläche als Schutz vor Umwelteinflüssen und übermäßiger Verdunstung von einer Wachsschicht überzogen. Diese sog. Epicuticularwachse sind insbesondere im Spaltöffnungsbereich durch eine sehr feinmaschige und sensible Mikrostruktur gekennzeichnet. Luftschadstoffe und luftgetragene Stäube können die Wachsmikrostruktur beeinträchtigen und eine raschere Alterung der Wachstrukturen und in weiterer Folge einen frühzeitigen Nadelverlust herbeiführen. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Fichtennadeln hinsichtlich Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung nach dem am Umweltbundesamt entwickelten quantitativen Beurteilungsverfahren eignet sich besonders zur Früherkennung von Schadstoffeinflüssen und wird deshalb bereits seit längerem als Bioindikationsmethode angewendet. Die genannten mikromorphologischen Charakteristika von Fichtennadeln werden auch unter dem Begriff „Nadeloberflächenparameter“ zusammengefaßt.

In der vorliegenden Untersuchung wurde erstmals verstärkt Augenmerk auf das Vorkommen von Flugaschepartikeln auf den Nadeloberflächen gelegt und eine semi-quantitative Auswertung der am häufigsten vorkommenden Partikeltypen vorgenommen. Partikelemissionen sind vorwiegend anthropogen bedingt und entstehen in erster Linie bei verschiedenen Verbrennungsprozessen (Straßenverkehr, Kleinf Feuerungsanlagen, kalorische Kraftwerke, Abfallverbrennungsanlagen, Stahlindustrie, ...). Partikel finden sich in allen Umweltkompartimenten, werden auch in Waldökosysteme eingetragen und können daher auch auf Fichtennadeloberflächen detektiert werden. Sie lassen sich anhand ihrer Morphologie, ihrer Größe und ihrer chemischen Zusammensetzung mittels analytischer Elektronenmikroskopie identifizieren. Basierend auf diesen Kriterien ist in manchen Fällen auch eine quellenspezifische Zuordnung möglich.

Neben den Nadeloberflächenparametern (Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung) stellen die Elementgehalte von Fichtennadeln eine wesentliche Grundlage zur Charakterisierung des Ernährungszustandes der Bäume an Untersuchungsstandorten bzw. bei einzelnen Elementen zur Beurteilung der Immissionssituation dar. Für alle Standorte gilt, daß ausschließlich Nadeln des jeweils 1. Nadeljahrganges untersucht wurden.

Standortsauswahl

In den Untersuchungsgebieten *Treibach/Althofen* (Kärnten, Treibacher Industrie AG) und *Leoben/Donawitz* (Steiermark, Voest Alpine) wurden bereits in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes wachsschädigende Einflüsse festgestellt, sodaß 1996 eine Ausweitung der Anzahl der Probepunkte in diesen beiden Gebieten erfolgte. Aufgrund der interessanten Ergebnisse des Untersuchungsjahres 1995 wurden auch im Raum *Waltersdorf* (Kärnten, Waltersdorfer & Peggauer Zementwerke) neuerlich Fichtennadeln analysiert. Weiters wurden 1996 die bisher noch nicht mit dieser Methode untersuchten Gebiete *Frantschach* (Kärnten, Patria Papier und Zellstoff AG), *Kematen* (Niederösterreich, Neusiedler Papier AG), *Lenzing* (Oberösterreich, Papier- und Zellstoffwerk) und *Wels* (Oberösterreich, thermische Abfallverwertungsanlage) im Überblick anhand von fünf bis sechs Standorten erfaßt.

Neben den oben erwähnten Untersuchungsgebieten wurden auch im *Großraum Linz* Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 hinsichtlich Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung analysiert. Diese Untersuchungen der Nadeloberflächenparameter waren Bestandteil eines eigenen Projektes zur Erhebung der Schwermetallbelastung von Nadeln und Blättern im Ballungsraum Linz.

Da es sich um dasselbe Beprobungsjahr wie in den o.a. Regionen handelt, wurden die Ergebnisse der Nadeloberflächenparameter zu Vergleichszwecken in der vorliegenden Studie miteinbezogen. Dies gilt auch für die Gebiete *Zederhaus*, *Wien-Oberlaa*, *Frohnleiten*, *Kapfenberg*, *Ternitz*, *Kötschach-Mauthen* und *Schwaz-Wattens-Hall*, die im Rahmen eines Biomonitoringprogrammes des Umweltbundesamtes zur Erfassung flüchtiger Chlorkohlenwasserstoffe und Nitrophenole in Fichtennadeln analysiert wurden.

Zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse der Nadeluntersuchungen ausgewählter Industriestandorte Österreichs

Frantschach

In der Umgebung der in Frantschach in Kärnten im oberen Lavanttal ansässigen Patria Papier & Zellstoff AG wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,8 (leicht beeinträchtigt). Vor allem im Nahbereich der Anlage wurden auf den Nadeln regelmäßig Gipskristalle, sphärische Aluminiumsilikatteilchen (Glasphasen) sowie vereinzelt Rußpartikel beobachtet. Vor allem die sphärischen Glasphasen deuten auf eine Beeinflussung durch Immissionen industrieller Verbrennungsprozesse hin. Die Untersuchungen der Schadstoff- und Nährelementgehalte der Nadeln ergaben für die Standorte im Raum Frantschach signifikant höhere Stickstoff-, Schwefel-, Kalium-, Phosphor- und Mangangehalte. Besonders auffällig waren die Schwefelgehalte, die fast durchwegs über dem Grenzwert von 0,11% im 1. Nadeljahrgang der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigung“ lagen.

Kematen

In Kematen an der Ybbs (Niederösterreich) wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten aus der Umgebung der dort ansässigen Zellstoff- und Papierfabrik der Neusiedler AG untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 2,0 bis 2,9 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelastung war gering. Vereinzelt wurden auf den Nadeloberflächen Gipskristalle und sphärische Aluminiumsilikatpartikel detektiert. Die Untersuchungen der Elementgehalte der Nadeln zeigten keine Auffälligkeiten. Die Schwefelgehalte waren vergleichsweise gering und erreichten nur an einem Probepunkt den Grenzwert.

Lenzing

Im Gebiet um die Lenzing AG (Zellstoff-, Viskose- und Papierherstellung) in Oberösterreich wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) und 2,6 (leicht beeinträchtigt). Es wurden keine staubförmigen Partikel auf den untersuchten Spaltöffnungen detektiert. Gegenüber 25 österreichischen Hintergrundstandorten signifikant erhöhte Gehalte zeigten die Elemente Stickstoff, Eisen und Mangan. Besonders auffällig war der Stickstoffgehalt des dem Werk nächsten Standortes. Es ist daher anzunehmen, daß Werkseinflüsse für die signifikant höheren Stickstoffgehalte verantwortlich sind. Überschreitungen des Grenzwertes für Schwefel gemäß „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ wurden an drei der sechs untersuchten Standorte festgestellt. Insgesamt lagen die Schwefelgehalte des Raumes Lenzing jedoch nicht signifikant über jenen der 25 Hintergrundstandorte. Angesichts der langjährigen, erhöhten Schwefelbelastung in diesem Raum ist dieses Ergebnis positiv hervorzuheben und nicht zuletzt auf emissionsmindernde Maßnahmen im Zellstoffwerk Lenzing während der vergangenen Jahre zurückzuführen.

Leoben/Donawitz

Im Raum Leoben/Donawitz wurden Fichtennadeln von insgesamt 19 Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) und 2,2 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war vergleichsweise gering. Es wurden jedoch im Staub regelmäßig sphärische, eisenhaltige Flugaschepartikel mit Spuren von Mangan als weitere metallische Komponente detektiert, insbesondere auf den Nadeloberflächen der im Nahbereich des Stahlwerkes befindlichen Probepunkte. Derartige Partikel entstehen bei Hochtemperaturprozessen in der Edelstahlproduktion. Es wurden auch vereinzelt Gipskristalle beobachtet.

Die Ergebnisse der Nadelanalysen zeigten bedenklich erhöhte Gehalte für mehrere Schadstoffe und bestätigen, daß der Raum Leoben/Donawitz nach wie vor zu den stärkst belasteten Regionen Österreichs zählt. Besonders hervorzuheben in diesem Zusammenhang sind die erhöhten Schwefel-, Fluor-, Blei- und Quecksilbergehalte der Nadeln. Ein im Nahbereich der Hütte Donawitz gelegener Standort wies einen derart hohen Quecksilbergehalt auf, daß *Anlaß zu weiterem Handlungsbedarf besteht. Nach Ansicht des Umweltbundesamtes sollten daher im Umkreis der Hütte Donawitz Futtermittel und pflanzliche Nahrungsmittel landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Flächen auf deren Quecksilbergehalte untersucht werden.* Aufgrund der Nähe höher belasteter Standorte zur Stahlhütte, statistisch absicherbarer Zusammenhänge mit den Gehalten von stahlwerkstypischen Leitelementen wie beispielsweise Eisen, sowie den Erfahrungen aus anderen Untersuchungsprogrammen steht fest, daß die Hütte Donawitz – bei Quecksilber im speziellen die Sinteranlage - die Ursache für die erhöhten Gehalte zahlreicher Elemente in den Nadeln darstellt. Weitere emissionsmindernde Maßnahmen werden empfohlen.

Neben den Elementen mit Schadstoffcharakter wurden auch vergleichsweise höhere Nährelementgehalte festgestellt. Anhand elementspezifischer Auswertungen von Partikeln des den Nadeln anlagernden Staubes wurde festgestellt, daß diese vergleichsweise höheren Gehalte teilweise auf Staubauflagerungen zurückzuführen sind und nicht auf die Gehalte in den Nadeln.

Linz

Im Großraum Linz wurden Nadeloberflächenparameter von insgesamt 23 Probepunkten erhoben. Die Untersuchungen erfolgten im Rahmen eines umfangreichen Biomonitoringprogrammes zur Erhebung der Schwermetallbelastung von Nadeln und Blättern im Ballungsraum Linz in Zusammenarbeit mit der Oberösterreichischen Umweltschutzbehörde sowie dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung/Landesforstinspektion. Die hier dargestellten Ergebnisse umfassen die bisherigen Auswertungen zu den Nadeloberflächenparametern. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,6 (unbeeinträchtigt) bis 3,2 (mittelstark beeinträchtigt). Schlechtere Wachsqualitäten wurden in erster Linie an Waldstandorten in Randlagen zum Stadtgebiet Linz beobachtet. Dies gilt vor allem für Standorte des westlich von Linz gelegenen Kürnberger Waldes, an denen mechanische Beeinflussungen der Nadelwachse zu erkennen waren, die jedoch eher auf verschiedene Witterungsphänomene als auf Immissionseinflüsse zurückzuführen sind.

Auf den Nadeloberflächen fast aller Standorte im Stadtgebiet Linz waren Flugaschepartikel aus anthropogenen Quellen detektierbar. Vereinzelt fanden sich auch Flugaschepartikel auf den Nadeln an außerhalb des Stadtgebietes befindlichen Standorten, wie am Pfenningberg (Prallhang östl. des Industriegebiets), am Hagerberg sowie am bei Steyregg befindlichen Lufenberg. Es wurden neben Gipskristallen regelmäßig sphärische Aluminiumsilikateilchen (Glasphasen), Rußpartikel und sphärische Eisenpartikel beobachtet. Letzterer Partikeltypus, der stets Spuren anderer metallischer Komponenten wie Mangan, Chrom oder Zink enthielt, entsteht vermutlich bei Hochtemperaturprozessen in der Edelstahlproduktion.

Hinweise auf mögliche Ursachen über die Immissionsbeeinflussung sind aus den Auswertungen der Nadeloberflächenparameter in Zusammenhang mit den Elementgehalten der Nadeln zu erwarten, die in einem eigenen Bericht folgen werden.

Treibbach/Althofen

Im Gebiet Treibbach/Althofen (Treibacher Industrie AG) wurden Fichtennadeln von insgesamt 18 Probepunkten analysiert, wobei erstmals auch Nadelproben nahe einer in St. Kosmas befindlichen Deponie der Treibacher Industrie AG untersucht wurden. Die Wachsqualität der Fichtennadeln lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt), wobei der höchste Wert, d.h. die schlechteste Wachsqualität für Nadeln eines unmittelbar an die Deponiefläche angrenzenden Probepunktes ermittelt wurde. Darüberhinaus wiesen die Nadeln dieses Standortes massivste Staubbelegung (40% !) auf. In der Staubaufgabe wurden auch stets die metallischen Elemente Vanadium, Chrom und Mangan detektiert. Auch die weiteren, im Nahbereich der Deponie gelegenen Standorte waren, wenn auch in geringerem Maß, durch Fremdstaub kontaminiert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weisen bei einzelnen Elementen auf Einflüsse von emissionsbedingten Einträgen auf den Stoffhaushalt emittentennaher Waldstandorte im Gebiet Treibach hin. Die nach wie vor deutlich erhöhten Vanadium-, Molybdän- und Chromgehalte der Nadeln aus dem Raum Treibach sollten Anlaß für weitere emissionsmindernde Maßnahmen geben. Dies gilt vor allem für die im Nahbereich einer Deponie der Treibacher Industrie AG in St. Kosmas befindlichen Waldstandorte, bei denen anhand von Untersuchungen der Staubaufgaben festgestellt werden konnte, daß die Höhe der Gehalte teilweise auf den den Nadeln anlagernden Staub zurückzuführen ist. Es sollten daher Maßnahmen ergriffen werden, um Verwehungen von der Deponiefläche in den benachbarten Wald zu vermeiden.

Wels

In der Umgebung der Welser Abfallverwertungsanlage (AVA) in Oberösterreich wurden Fichtennadeln von fünf Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 2,1 (leicht beeinträchtigt) und 3,0 (mittelstark beeinträchtigt). Die Wachsdegradationen waren zu einem Großteil witterungsbedingt. Die Staubbelegung war bis auf einen im Nahbereich der AVA gelegenen Probepunkt relativ gering. Im Staub wurden Gipsnadeln und siliziumhaltige Flugaschepartikel detektiert. Bei der Auswertung der Elementgehalte zeigten die Welser Standorte signifikant höhere Stickstoff-, Schwefel-, Calcium-, Eisen- und Bleiwerte im Vergleich zu Hintergrundstandorten. Die Bleiwerte waren erhöht, lagen jedoch im Vergleich zu anderen Untersuchungen im Toleranzbereich und waren nicht weiter auffällig.

Wietersdorf

In der Umgebung der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke am Standort Klein St. Paul/Wietersdorf in Kärnten wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,5 (leicht beeinträchtigt). Besonders die Nadeln eines nahe der werkseigenen Bruchanlage befindlichen Probepunktes waren durch dichte Staubbelegung charakterisiert. Im Staub wurden regelmäßig Gipskristalle detektiert. Bei der Betrachtung der Nadelgehalte der Wietersdorfer Probepunkte wurden im Vergleich zu Hintergrundstandorten signifikant höhere Schwefel-, Calcium-, und Kaliumgehalte festgestellt. Die höchsten, aber noch im Toleranzbereich befindlichen Schwefel- und Bleiwerte wiesen die Nadeln des nahe der Bruchanlage befindlichen Punktes auf.

Ergebnisse zum gesamten Datenkollektiv für 1996

Frühere Ergebnisse konnten bestätigt werden, wonach an emittentennahen Standorten vergleichsweise höhere Gehalte von Schad- und Nährelementen in Fichtennadeln festgestellt wurden. Dies umfaßt v.a. die Elemente Stickstoff, Schwefel, Phosphor, Magnesium, Calcium, Kalium, Eisen, Mangan und Blei. Auch ein bevorzugter Eintrag von einzelnen Nährelementen kann sich langfristig unvorteilhaft auf die Waldgesundheit auswirken, da die Möglichkeit von Nährstoffimbilanzen besteht bzw. Verbindungen der Nährelemente Stickstoff und Schwefel auch Schadstoffcharakter aufweisen. Besonders bei Schwefel konnte in Übereinstimmung mit den Ergebnissen für 1995 ein signifikanter, sukzessiver Anstieg der Gehalte in der Reihenfolge „Hintergrundstandorte“ < „Standorte nahe Emittenten“ < „Standorte sehr nahe Emittenten“ festgestellt werden. Diese Ergebnisse bestätigen somit auch Auswertungen im Rahmen des österreichweiten Bioindikatornetzes, wonach internationale *und* – trotz deutlicher Emissionsreduktionen bei Schwefel in Österreich – auch weitere österreichische Maßnahmen angebracht sind, um den Schwefeleintrag in den österreichischen Wald zu senken.

Es ist anzunehmen, daß Einträge die Ursache für die festgestellten erhöhten Gehalte von Schad- bzw. Nährstoffen in Fichtennadeln emittentennaher Standorte darstellen. Durch die Auswertung der Staubpartikel konnte nämlich gezeigt werden, daß erhöhte Elementgehalte von Fichtennadeln im Nahbereich von Emittenten zu einem nicht unbeträchtlichen Teil auf angelagerten Staub auf den Nadeloberflächen zurückzuführen sind. Durch Einzelpartikelanalysen war sogar in manchen Fällen eine quellenspezifische Zuordnung, wie beispielsweise in Leoben und Linz möglich. Weiters zeigte sich, daß die Gruppe von Standorten mit Staubbelegung auf den Nadeln signifikant höhere Magnesiumgehalte aufweist als die Gruppe ohne Staub. Diese Ergebnisse weisen daraufhin, daß die Analysen der Gehalte ungewaschener Nadeln emittentennaher Bestände unter Umständen die tatsächliche Ernährungssituation nicht exakt wiedergeben. Bei der Beurteilung der Ernährungssituation emittentennaher Standorte anhand von Nadelanalysen wäre dieses Faktum zu berücksichtigen.

Zwischen zahlreichen Elementen konnten signifikante, positive Zusammenhänge identifiziert werden. In den meisten Fällen waren diese Korrelationen jedoch nicht sehr ausgeprägt. Eine vergleichsweise straffe positive Korrelation konnte zwischen den Elementen Eisen und Blei nachgewiesen werden. Eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente dürfte daher bei allen drei Untersuchungsgebieten, in denen Blei analysiert wurde, vorliegen, obwohl es sich um unterschiedliche Hauptemittenten (Stahlwerk, Müllverbrennungsanlage und Zementwerk) handelt.

Weiters wurde nachgewiesen, daß die Gruppe von Standorten mit Gipskristallen auf den Nadeln eine schlechtere Wachsqualität sowie geringere Stickstoff-, Magnesium- und Phosphorgehalte in den Nadeln aufweist. Es ist bekannt, daß bei erhöhter Schwefelbelastung eine Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln (z. B.: Kalzium, Magnesium, Kalium, Mangan) erfolgt, und auch das Auftreten von Gipskristallen auf den Nadeloberflächen einen Indikator für diese Effekte darstellt. Der gehaltsmäßige Unterschied bei Magnesium zwischen Standorten mit und ohne Gips könnte damit in Zusammenhang stehen.

Schließlich zeigte sich auch für die Daten aus dem Jahr 1996 - gleich den Ergebnissen für 1995 - daß das Auftreten von Staub und der Nachweis von Gipskristallen auf den Spaltöffnungen nicht voneinander unabhängig sind. 40 % der Standorte, die eine Staubbelegung aufwiesen, hatten auch Gipskristalle auf den Spaltöffnungen. Während nur bei 17 % der Standorte ohne Staub Gipskristalle nachgewiesen werden konnten.

Analog zu den Untersuchungsergebnissen für das Jahr 1995 zeigt auch die vorliegende Untersuchung, daß teilweise im Nahbereich österreichischer Emittenten – nach wie vor - Einflüsse wirksam sind, die im Hinblick auf die Waldgesundheit als problematisch zu werten sind.

Summary

„NEEDLE SURFACE CHARACTERISTICS AND ELEMENT CONTENTS OF NORWAY SPRUCE NEEDLES FROM SELECTED INDUSTRIAL SITES“

Needle surface characteristics and element contents of Norway spruce needles – monitoring tools for environmental control

Spruce needles are covered by a wax layer, which is a protective barrier against any kind of environmental influences and excessive evaporative water loss. Especially in the epistomatal area these epicuticular waxes show very fine-reticulated and sensitive microstructures. Air pollutants and airborne particles may alter wax microstructure and lead to an increased ageing of the wax structures, subsequently causing premature senescence and shedding of the needles. The scanning electron microscopical investigation of spruce needles with regard to wax quality, covering with dust and/or microorganisms, according to the quantitative evaluation method developed at the Federal Environment Agency, is a suitable means for detecting incipient air pollution effects and has therefore been already used as a bioindication method for several years. The above mentioned micromorphological characteristics of Norway spruce needles are also called needle surface characteristics.

For the first time the present study increasingly focused on the occurrence of fly ash particles on needle surfaces. For that purpose a semi-quantitative assessment of the most frequent particle types has been performed. Emissions of particulate matter are mainly of anthropogenic origin and result predominantly from various combustion processes (e. g., road transport, residential furnaces, oil- or coal fired power plants, waste incineration units, steel works). They are present in all environmental compartments and are also imported into forest ecosystems. Besides they can be detected on Norway spruce needle surfaces. By means of analytical electron microscopy (SEM/EDX) airborne pollutant particles can be identified by morphological features, their size and chemical composition. Based on these criteria in some cases the specific source can be determined.

In addition to the needle surface characteristics also the element contents of Norway spruce needles are essential data characterizing the nutritional status of study sites. In some cases these data may help assess the ambient pollution level for single elements. At all sites only current-year spruce needles were used for analysis.

Sites selected for the present programme

Previous investigations in two areas, in Treibach/Althofen (Carinthia, chemical plant) and in Leoben /Donawitz (Styria, steel works) revealed wax altering effects and therefore the number of sampling sites was increased in both areas for the sampling year 1996. Due to interesting results of the sampling year 1995 also in Wietersdorf (Carinthia, cement industry) the investigations were continued there as well. Furthermore, some new areas were included in the present programme, such as Frantschach (Carinthia, paper and pulp industry), Kematen (Lower Austria, paper industry), Lenzing (Upper Austria, paper and pulp industry) and Wels (Upper Austria, thermal waste incinerator).

In addition to the sites mentioned above also spruce needles from the conurbation and industrial area of Linz were analyzed. These investigations were part of a separate project that was launched on purpose to assess the heavy metal impact on needles and leaves in the urban area of Linz. As the needle material is from the same sampling year, the results of the needle surface characteristics are included in the present study for reasons of comparison. This is also valid for the regions Zederhaus, Wien-Oberlaa, Frohnleiten, Kapfenberg, Ternitz, Kötschach-Mauthen und Schwaz-Wattens-Hall, where analyses of

volatile chlorinated hydrocarbons and nitrophenols in Norway spruce needles were carried out in the course of a biomonitoring programme of the Federal Environment Agency.

Summarized results of the needle investigations from selected Austrian industrial sites

Frantschach

Norway spruce needles of six sampling sites in the vicinity of a paper and pulp industry, situated in Frantschach (Carinthia, upper Lavant-valley), were investigated. The wax quality ranged from 1.8 (unaffected) to 2.8 (slightly affected). Especially at those sites close to the plant gypsum crystallites, spherical aluminium-silicon rich particles („glass phases“) as well as scattered soot particles („cenospheres“) were regularly observed on needle surfaces. Primarily the spherical glass phases indicate influences of airborne particles emitted from industrial combustion processes. The analyses of the element contents from the sampling sites in the area of Frantschach showed significantly higher contents of nitrogen, sulphur, potassium, phosphorus and manganese. Almost all sulphur contents exceeded the limit value of 0.11% sulphur for current-year needles according to the 2nd Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination.

Kematen

In Kematen upon Ybbs, Lower Austria, spruce needles of six sampling sites surrounding the pulp and paper industry of the Neusiedler AG were investigated. The wax quality ranged from 2.0 to 2.9 (slightly affected). The covering with adhering dust particles was low. Scattered gypsum crystallites and spherical aluminium-silicon-rich particles were detected on the needle surfaces. The results of analyses of the element contents of the needles did not show any significances. The sulphur contents were relatively low and reached the limit value of 0.11% for the current needle year only at one sampling site.

Lenzing

In the area around the Lenzing AG (pulp, viscose and paper production) in Upper Austria Norway spruce needles from six sampling sites were investigated. The wax quality ranged from 1.9 (unaffected) to 2.6 (slightly affected). No adhering dust particles were found on the investigated stomata. Compared with data of 25 Austrian background sites the study sites in Lenzing revealed significantly higher needle contents of the elements nitrogen, iron and manganese. The elevated nitrogen content at the site closest to the plant was of particular interest. Therefore it can be assumed that influences from the plant are responsible for the higher nitrogen contents of the needles. At three of six sampling sites in Lenzing exceedances of the limit value for sulphur according to the 2nd Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination were recorded. Overall, the sulphur contents in the Lenzing region were not significantly higher than those of the 25 background sites. Considering the elevated ambient air concentrations of sulphur in this region during the last years this result should not give rise to concern. It shows that emission control measures of the pulp plant Lenzing have been effective.

Leoben/Donawitz

In the area Leoben/Donawitz Norway spruce needles of 19 sampling sites were analyzed. The wax quality ranged from 1.7 (unaffected) to 2.2 (slightly affected). The covering of the investigated stomata with dust was comparatively low. But in the dust layer spherical iron-rich particles with traces of manganese as a further metallic component were regularly detected, especially on the needle surfaces of those sites directly influenced by the steel works. Such particles form during high temperature combustion processes in stainless steel production. Also scattered gypsum crystallites were observed on needle surfaces.

The results of needle analysis revealed critically elevated contents for several pollutants and confirm that the area Leoben/Donawitz still is one of the most polluted Austrian regions. In this respect the remarkably high needle contents of sulphur, fluorine, lead and mercury have

to be mentioned. Due to the proximity of the more impacted sites to the steel works, the statistically provable correlations with the contents of steel works-specific elements such as iron, and the experiences from other investigations, it can be assumed, that the steel works in Donawitz – for mercury the sintering plant – is the cause for the higher needle contents for several elements.

Apart from these pollutant elements also comparatively higher nutrient element contents of the needles were stated. By carrying out an element specific evaluation of particles found in the dust layer on the needle surface it could be ascertained that the higher needle contents were partly due to adhering dust and not to higher element contents in the needles.

Linz

In the area of Linz, the capital city of Upper Austria, needle surface characteristics of a total of 23 sampling sites were analyzed. The investigations were part of a comprehensive biomonitoring programme in co-operation with regional authorities („Oberösterreichische Umweltanwaltschaft, „Amt der Oberösterreichischen Landesregierung/Landesforstinspektion) for the assessment of heavy metal concentrations in needles and leaves. The results given in the present study include the previous evaluation of the needle surface characteristics. The wax quality ranged from 1.6 (unaffected) to 3.2 (moderately affected). Poorer wax qualities were predominantly observed at forest sites close to the conurbation. Especially the sites of the Kürnberger Wald, west of Linz, showed needle wax structures mechanically abraded due to various weathering effects. Fly-ash particles could be detected on the needle surfaces of almost all sites in the urban area. Scattered airborne particles were also found on spruce needles of forest sites adjacent to the urban and industrial zone of Linz in the north-east and east, such as Hagerberg, Pfenningberg and Luftenberg situated near the city of Steyregg. Besides gypsum crystallites, spherical aluminium-silicon-rich particles (glass phases), soot particles and spherical iron-rich particles were regularly observed. In the element spectra of the latter particle type traces of other metals (manganese, chromium, zinc) indicate that these particles are generated during high temperature combustion processes in stainless steel production. Further indications of a possible contribution to specific sources may be given by interpreting the needle surface characteristics in correlation with the element contents of the needles. These results will be published in a separate report.

Treibach/Althofen

In the region Treibach/Althofen (chemical and metallurgical plant) Norway spruce needles from 18 sampling sites were analyzed, including sites in the proximity of a landfill for industrial waste from the plant. The wax quality ranged from 1.7 (unaffected) to 2.3 (slightly affected). The highest value, i. e. the poorest wax quality, was assessed for needles of the site situated closest to the landfill. Furthermore, the needles of this site were covered by a dense dust layer. In the dust the metallic components vanadium, chromium and manganese were regularly detected. The other forest sites near the landfill were contaminated to a lesser extent with adhering dust particles. Needle analyses indicate influences of emission-derived inputs of single elements on the nutritional status of near emission forest sites in the Treibach area. The still elevated concentrations of vanadium, chromium and molybdenum in needles should give rise to further emission control measures.

Wels

Norway spruce needles from five sampling sites in the vicinity of a thermal waste incinerator in Wels, Upper Austria, were analyzed. The wax quality ranged from 2.1 (slightly affected) to 3.0 (moderately affected). The wax degradations were predominantly caused by weathering effects. The covering with dust was – except at one site near the plant – comparatively low. Gypsum crystallites as well as silicon-rich flyash particles could be detected in the dust. Compared to background forest sites, the element contents for nitrogen, sulphur, calcium, iron and lead were significantly higher.

Wietersdorf

Norway spruce needles from six sampling sites around a cement plant in Klein St. Paul/Wietersdorf, Carinthia, were investigated. The wax quality ranged from 1.8 (unaffected) to 2.5 (slightly affected). Particularly needles from one site situated close to the plant quarry were covered by a dense dust layer. Considering the element contents of the needles from this region, significantly higher sulphur, calcium and potassium contents were stated in comparison to background forest sites. The highest sulphur and lead concentrations were measured in needles from a site close to the quarry, which may point to an increased air pollution level.

Overall results for the 1996 samples

Higher needle contents of pollutants and nutrient elements were found at sites close to emission sources, which confirms results of previous investigations. This holds particularly true for the elements nitrogen, sulphur, phosphorus, magnesium, calcium, potassium, manganese and lead. An increased input of single nutrient elements can have a negative effect on forest health in the long run. Nutrient imbalances may result and chemical compounds of the nutrient elements nitrogen and sulphur may have a polluting effect. According to the results of 1995, especially sulphur showed a significant successive increase in the needle contents rising from „background sites“ over „sites close to emission sources“ to „sites very close to emission sources“. These findings confirm results of the Austrian Bio-Indicator Grid, which underline the necessity of European and Austrian sulphur emission control measures, and this despite the significant reduction of sulphur which has been achieved so far in Austria.

It can be assumed that inputs from ambient air pollution may be responsible for higher needle contents at near emission sites. Analyses of dust showed that elevated element contents of spruce needles in the proximity of emission sources result to a considerable extent from dust particles adhering to the needle surfaces. In some cases analyses of single particles allowed to determine their specific source, for example at the study sites Leoben and Linz. The group of sites with dust on the needles revealed significantly higher magnesium contents than the group without dust. Using unwashed needle material for analysis of the nutritional status of near emission forest stands may lead to a wrong interpretation of the nutritional state. This fact should therefore be considered for the assessment of the nutritional status of near emission sites based on needle analyses.

Between numerous elements significant, positive correlations were identified. In most cases these correlations were not very pronounced. A comparatively strong positive correlation could be identified between the elements iron and lead. The statistical analyses showed a relation between these two elements with increasing air pollution levels at all three study sites, where lead was measured, although the emission sources were different (steel works, waste incinerator, cement plant).

Furthermore it could be demonstrated that the group of sites with gypsum crystallites on the needles showed a poorer wax quality and lower nitrogen, magnesium and phosphorous contents. It is known, that nutrient leaching from the needles (e.g., calcium, magnesium, potassium, manganese) is related to an elevated air pollution level from sulphur compounds. Also the role of gypsum crystallites as an indicator for nutrient leaching effects from the needles has already been ascertained. The different magnesium contents of needles from sites with and without gypsum crystallites could be related to that.

Finally, also the data from 1996, similar to the results from 1995, showed that the occurrence of dust and gypsum crystallites on stomata is correlated. At 40% of sites with dust also gypsum crystallites could be detected. Only 17% of sites without dust showed gypsum crystallites on the needles.

The present study, similar to the results of 1995, showed that partly in the proximity of Austrian emission sources there are still influences which are considered as problematic with regard to forest health.

1 EINLEITUNG

1.1 Nadeloberflächenparameter

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 (BERMADINGER-STABENTHEINER, 1994), wodurch sie von Immissionsschäden unterschieden werden können.

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).

Erst in den letzten Jahren wurde der ökotoxikologischen Relevanz von Partikelemissionen vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Unter dem Begriff Partikelemissionen versteht man atmosphärische Staubpartikel und Aerosole mit einem aerodynamischen Durchmesser im Größenbereich von einigen wenigen Nanometern bis zu rd. 100 oder mehr Mikrometern. Vor allem die Feinpartikelfraktion bis zu 10 µm, die als Schwebstaub bezeichnet wird, ist wegen des inhalationstoxikologischen Potentials von besonderem Interesse. Neben geogenen Emissionsquellen sind anthropogene Eingriffe Hauptverursacher für die Belastung der Außenluft mit diesen Schadstoffen. Partikelemissionen entstehen in erster Linie bei verschiedenen Verbrennungsprozessen (Straßenverkehr, Kleinf Feuerungsanlagen, kalorische Kraftwerke, Abfallverbrennungsanlagen, Stahlindustrie, ...). Partikel finden sich in allen Umweltkompartimenten. In zahlreichen Untersuchungen wurde eine quellspezifische Zuordnung der unterschiedlichen Mineralphasen versucht (z.B.: LASKUS ET AL., 1981, DEL MONTE & SABBIONI, 1984). Atmosphärische Feststoffpartikel werden auch in Waldökosysteme eingetragen und können u. a. auf Fichtennadeloberflächen detektiert werden. Sie lassen sich anhand ihrer Morphologie, ihrer Größe und ihrer chemischen Zusammensetzung mittel analytischer Elektronenmikroskopie, einer Gerätekombination von Rasterelektronenmikroskop und energie-dispersiver Röntgenmikroanalyse identifizieren und basierend auf diesen Kriterien zum Teil ihrer Herkunft zuordnen.

Zur quantitativen Erfassung struktureller Veränderungen von Fichtennadelwachsen wurde 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 Gesamt-

stomatafläche) in fünf Qualitätsklassen. Die Methode wurde ausschließlich für die Beurteilung der Epicuticularwachse des 1. Nadeljahrganges entwickelt. Die Standardisierung der Methode ermöglicht vergleichbare Ansprachen der Wachsqualität von Fichtennadeln. Neben dem baumphysiologischen Parameter der Wachsqualität wird auch die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Staub und Epibionten (pflanzliche und tierische Mikroorganismen) semi-quantitativ bestimmt. Zusammengefaßt werden diese drei Parameter, die Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges auch als Nadeloberflächenparameter bezeichnet. Somit erhält man eine sensible und effiziente Bioindikationsmethode, mit deren Hilfe eine Klassifizierung bzw. Abschätzung der Streßgefährdung von Waldbeständen ermöglicht wird. Das dargestellte Verfahren ist sowohl als Monitoringinstrument der Früherkennung von Schadstoffeinflüssen anwendbar als auch zur Charakterisierung von veränderten Belastungssituationen vor allem in Untersuchungsgebieten im Einflußbereich von Emittenten geeignet.

Bereits 1995 wurden mit dieser Methode im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogrammes Fichtennadeln von industriell beeinflussten Standorten, von städtischen Ballungsräumen, von Autobahnprofilen und auch von vergleichsweise unbeeinflussten Hintergrundstandorten analysiert (TRIMBACHER & WEISS, 1997).

Es konnte gezeigt werden, daß das Verfahren der rasterelektronenmikroskopischen Beurteilung der Wachsqualität von Fichtennadeln eine sehr sensible und geeignete Methode der Bioindikation darstellt. Daher wurden die Untersuchungen von Fichtennadeln hinsichtlich Wachsqualität, Nähr- und Schadstoffkonzentrationen fortgesetzt.

Die vorliegende Studie beinhaltet die Untersuchungsergebnisse zu den Nadeloberflächenparametern und zu den Nadelgehalten einer Reihe von Elementen des 1. Nadeljahrganges 1996 sowie die Ergebnisse der statistischen Auswertungen zu diesen Parametern und Daten.

1.2 Standorte

In den Untersuchungsgebieten *Treibbach/Althofen* (Kärnten, Treibacher Industrie AG) und *Leoben/Donawitz* (Steiermark, Voest Alpine) wurden bereits in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamts (TRIMBACHER & WEISS 1997) wachsschädigende Einflüsse festgestellt, sodaß eine Ausweitung der Anzahl der Probepunkte in diesen beiden Gebieten erfolgte. Aufgrund der interessanten Ergebnisse des Untersuchungsjahres 1995 wurden auch im Raum *Waltersdorf* (Kärnten, Waltersdorfer & Peggauer Zementwerke) neuerlich Fichtennadeln analysiert. Weiters wurden die bisher noch nicht mit dieser Methode untersuchten Gebiete *Frantschach* (Kärnten, Patria Papier und Zellstoff AG), *Kematen* (Niederösterreich, Neusiedler Papier AG), *Lenzing* (Oberösterreich, Papier- und Zellstoffwerk) und *Wels* (Oberösterreich, thermische Abfallverwertungsanlage) im Überblick anhand von fünf bis sechs Standorten im jeweiligen Untersuchungsgebiet erfaßt.

Neben den oben erwähnten Standorten wurden auch im *Großraum Linz* Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 hinsichtlich Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung analysiert. Diese Untersuchungen waren Bestandteil eines eigenen Projektes zur Erhebung der Schwermetallbelastung von Nadeln und Blättern im Ballungsraum Linz. Da es sich um dasselbe Beprobungsjahr wie in den o. a. Regionen handelt, wurden die Ergebnisse der Nadeloberflächenparameter zu Vergleichszwecken in der vorliegenden Studie miteinbezogen.

Dies gilt auch für die Gebiete *Zederhaus*, *Wien-Oberlaa*, *Frohnleiten*, *Kapfenberg*, *Ternitz*, *Kötschach-Mauthen* und *Schwarz-Wattens-Hall*, die im Rahmen eines Biomonitoringprogrammes des Umweltbundesamtes zur Erfassung flüchtiger Chlorkohlenwasserstoffe und Nitrophenole in Fichtennadeln analysiert wurden.

2 PROBENAHEME

Die Probenahme von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 an den Untersuchungsstandorten erfolgte gemäß den Bestimmungen der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen durch Mitarbeiter der jeweils zuständigen Landesforstdienste in den Monaten Oktober und November 1996. Das Nadelmaterial wurde dem Umweltbundesamt auf dem Postweg übermittelt.

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 insgesamt 24 Nadeln der jeweiligen Ausgangsprobe auf sechs Aluminium-Trägartischchen montiert und mit einer leitenden Goldschicht versehen (5 Min., 1.8×10^{-2} bar, 16-20 mA). Die Entnahme des Nadelmaterials erfolgte rein zufällig. Bei der Untersuchung der Stomatawachse im REM wurde stets eine Beschleunigungsspannung von 15 keV und eine Standardvergrößerung von 2000fach gewählt. Mittels röntgenenergie-dispersiver Mikroanalyse (EDX) wurde die elementare Zusammensetzung anhaftender Fremdpartikel (Staub, Kristalle) bestimmt.

3.1.1 Bestimmung der Wachsqualität

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. Zur Beurteilung der Wachsqualität und Einteilung in die einzelnen Qualitätsklassen wurden zwei Kriterien, der Verschmelzungsgrad in % der Gesamtstomatafläche und die Art der Wachsverschmelzung gewählt.

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

Zur Quantifizierung der epistomatären Nadelwachsveränderungen mit dem REM wurden fünf Qualitätsklassen definiert:

Qualitätsklasse 1: Diese bezeichnet intakt ausgebildetes Stomatawachs mit deutlich sichtbaren Einzelfilamenten. Maximal an 10% der Gesamtstomatafläche sind beginnende apikale Fusionen einzelner Wachsfäden zu erkennen.

Qualitätsklasse 2: Mehrere solcher an ihren Enden miteinander verschmolzenen Wachstubuli können in weiterer Folge an verschiedenen Stellen im Spaltöffnungsbereich zu kleinflä-

chigen Aggregationen, sog. „Wachstufen“ fusionieren, die mehr als 10% bis max. 25% der Gesamtstomatafläche einnehmen.

Qualitätsklasse 3: Neben den Wachstufen treten auch großflächigere Wachsverplattungen 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 Wachsmorphologie ebenfalls der Qualitätsstufe 3 zuzuordnen.

Qualitätsklasse 4: Diese bezeichnet einen fortgeschrittenen Verschmelzungsgrad des Stomatawachses. Mehr als 50% bis max. 75% der Gesamtstomatafläche sind durch kleinflächige Wachsaggregationen und/oder 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 oder deren Bewertung durch das Auftreten eines dichten Staubüberzuges oder durch massiven Befall von Pilzen, Algen und ähnlichen pflanzlichen oder tierischen Mikroorganismen 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 Standortsmittels nicht berücksichtigt. Es handelt sich dabei jedoch um eine wichtige Zusatzinformation, die zur Beurteilung eines Standortes herangezogen wird.

Basierend auf einer umfangreichen statistischen Auswertung wurde folgendes Erhebungsdesign erstellt: Es werden 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 erfolgt stets unter Zuhilfenahme einer aus neun quadratischen, gleich großen Einzelfeldern bestehenden Rasterfolie, die über den Bildschirm des REMs und damit über das Bild der Spaltöffnung gelegt wird. Dabei wird 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. Das Standortsmittel (= mittlere Wachsqualität) und die Standardabweichung werden aus diesen 72 Mittelwerten gebildet. 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.

Eine detaillierte Beschreibung des Beurteilungsverfahrens der rasterelektronenmikroskopischen Bestimmung der Wachsqualität von Fichtennadeln incl. der entsprechenden Abbildungstabellen findet sich in TRIMBACHER ET AL., 1995 sowie TRIMBACHER & ECKMÜLLNER, 1997.

3.1.2 Bestimmung der Staub- und Epibiontenbelegung

Es wurde nicht nur die Wachsqualität bestimmt, sondern auch die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit staubförmigen Fremdpartikeln oder 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 Pilze, verschiedene Sporen, Algen, tierische Parasiten zusammenfaßt. Die Angabe erfolgt wie beim Staub in „Epibionten %“ und bezieht sich ausschließlich auf die 72 untersuchten Spaltöffnungen.

3.2 Chemisch-analytische Methoden

3.2.1 Fluorid

Die bei 105° C getrocknete und gemahlene Fichtennadelprobe wurde unter Sauerstoffatmosphäre im Schönigerkolben verbrannt. Die Verbrennungsgase wurden in einer Absorptionslösung (0,05 N Natronlauge, die einen Fluoridgehalt von 0,1 mg/l aufweist), absorbiert. Danach wurde zu der Absorptionslösung das gleiche Volumen einer Pufferlösung (bestehend aus Eisessig, Natriumchlorid, Tiron und Wasser) zugegeben und anschließend die Fluoridkonzentration mit Hilfe einer fluoridselektiven Elektrode bestimmt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg% F und bezieht sich auf das 105° C Trockengewicht.

3.2.2 Chlorid

Für die Bestimmung des Chloridgehaltes wurden ca. 600 mg der bei 105°C getrockneten und gemahlene 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 das 105° C Trockengewicht.

3.2.3 Stickstoff

Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes erfolgte aus der bei 105°C getrockneten Probe nach Kjeldahl in Anlehnung an ÖNORM L 1082. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in % N bezogen auf das 105° C Trockengewicht.

3.2.4 Weitere Nährelemente und Schwermetalle

Für die Bestimmung der anderen Hauptnährelemente (incl. Schwefel) und der Schwermetalle wurden die Nadelproben bei 30° C getrocknet, vermahlen und anschließend mit einem Salpetersäure-Perchlorsäure-Gemisch (5:2) aufgeschlossen. Die Analysen aller Elementgehalte mit Ausnahme von Cadmium, Blei und Quecksilber erfolgten mittels ICP-AES Gerät Optima 3000 XL (Fa. Perkin-Elmer) in Anlehnung an ÖNORM M 6279.

Die Cadmium- und Bleibestimmung erfolgte durch elektrothermische Atomisierung mittels AAS-Gerät SIMAA 6000 (Fa. Perkin-Elmer) anlehnend an DIN 38 406, Tl. 19 (Cd) und DIN 38 406, Tl. 6 (Pb).

Der Quecksilbergehalt wurde mittels Kaltdampf-Hydridtechnik mit Fließinjektionsspektrometer FIMS 400 (Fa. Perkin Elmer) laut DIN 38 406, Tl. 12 bestimmt.

Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg/kg und bezieht sich auf das 105° C Trockengewicht.

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 Verfahren SPEARMAN-RANK bestimmt (Rangkorrelation). Für die Darstellung der Korrelationen nicht normalverteilter Variablen in Scatterplots wurden diese log. transformiert und der zugehörige Korrelationskoeffizient nach PEARSON angegeben. Die Log-Transformierung ist an den Skalierungen in den Scatterplots erkennbar.

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.

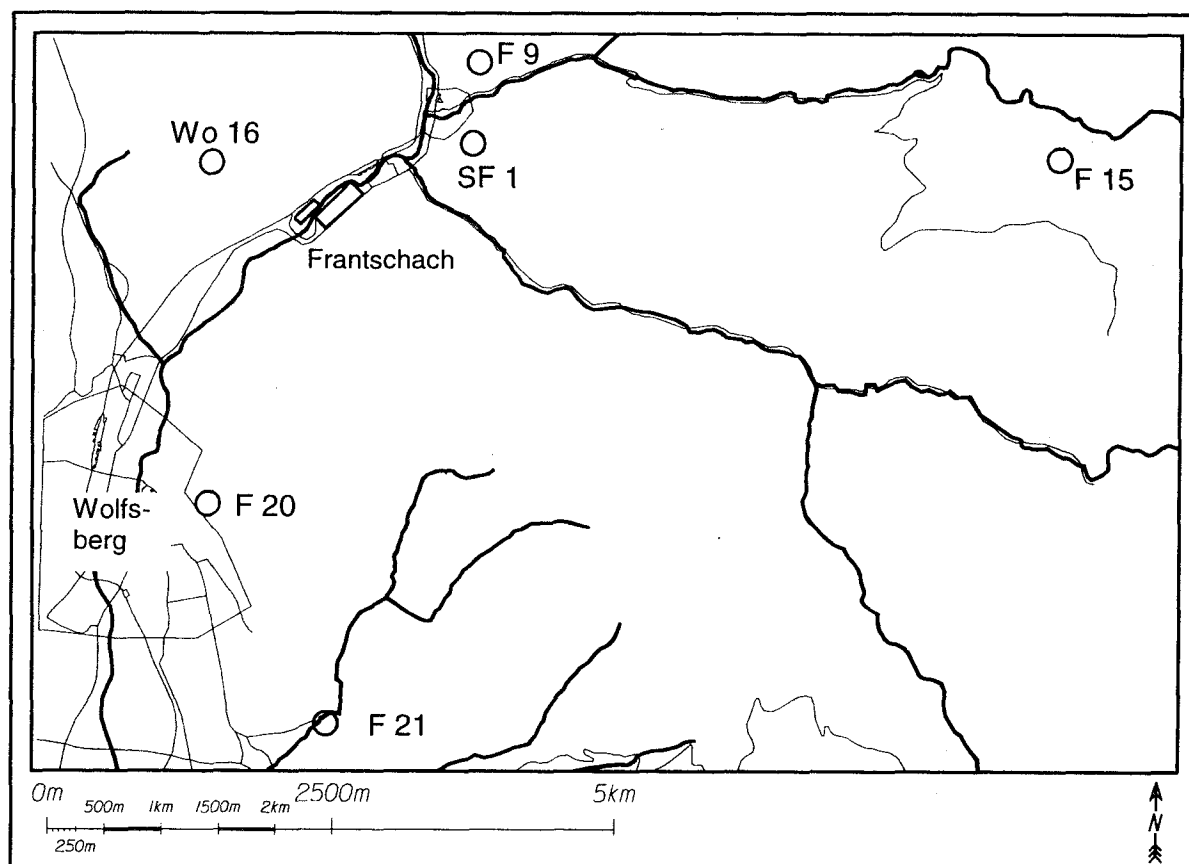
Die graphische Darstellung der Ergebnisse der statistischen Auswertungen erfolgte zumeist in Form von Boxplots. Zur Erläuterung dieses Graphiktyps: Die dicke Linie in der Mitte des Boxplots stellt den Median (Durchschnittswert) dar, der Kasten umfaßt den Bereich vom 25er- bis zum 75er Perzentil der Werte. Die oberen und unteren Markierungen stellen die kleinsten bzw. größten beobachteten Werte dar, die noch keine Ausreißer sind. Die Kreise stellen Ausreißer dar, die mehr als 1,5 Kastenlängen vom 25er- bzw. 75er Perzentil entfernt liegen. Die Sterne stellen Ausreißer dar, die mehr als 3 Kastenlängen vom 25er- bzw. 75er Perzentil entfernt liegen.

4 ERGEBNISSE

4.1 Frantschach

4.1.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In Frantschach, im oberen Lavanttal befindet sich die PATRIA Papier & Zellstoff AG. Aus Sägereestholz und Industrieholz werden jährlich rund 210.000 Tonnen ungebleichter Langfaser-Sulfat-Zellstoff produziert. Daraus werden hauptsächlich braune, ungebleichte Säcke für Futtermittel, Baustoffe, Lebensmittel, Tragtaschen, etc. hergestellt. Noch vor wenigen Jahren war das Unternehmen einer der größten Umweltbelastungsfaktoren in Kärnten. Besonders relevant waren die Emissionen über das Abwasser und in die Luft (Schwefeldioxid, Staub) sowie eine massive Geruchsbelästigung. Durch umfangreiche Umweltschutzmaßnahmen, wie die Umstellung der Produktionsprozesse auf fast vollständig geschlossene Kreisläufe oder die Energiegewinnung aus Biomasse, konnten die werksseitigen Emissionen deutlich gesenkt werden (AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, 1994). Demgegenüber weisen Fichten einiger im Nahbereich des Papier- und Zellstoffherstellers befindlicher Bioindikatorpunkte nach wie vor hohe Schwefelwerte in den Nadeln auf.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Frantschach/Kärnten.

4.1.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Untersuchungsgebiet Frantschach wurden Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 von insgesamt sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,8 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war mit Ausnahme des Probepunktes F 9 gering. Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag zwischen 4% und 21% (siehe Tab. 1).

Für Nadeln des Probepunktes SF 1 nord-östlich des Zellstoffwerkes wurde eine mittlere Wachsqualität von 1,9 ermittelt. Dieser Wert entspricht unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit staubförmigen Fremdpartikeln war gering und lag bei 7%. Es wurden im Staub vereinzelt Gipskristalle, cenosphärische Rußpartikel (ca. 10 µm Durchmesser) sowie sphärische Partikel mit einer glatten Oberflächenbeschaffenheit gefunden. Abbildung 1 zeigt einen Spaltöffnungsbereich mit intakten Wachsstrukturen sowie einem sphärischen Partikel (ca. 5 µm Durchmesser) am linken Spaltöffnungsrand. Die Belegung der Nadeln mit biologischem Material wie Algenlager, Pilzsporen bzw. -hyphen lag bei 4%.

Gipskristalle, die auf Nadeloberflächen entstehen, können als Indikatoren für erhöhte Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln aufgrund von Schwefelimmisionen gewertet werden. Bereits in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes konnte gezeigt werden, daß Standorte im Nahbereich von Emittenten, an denen Gipskristalle auf den Nadeloberflächen detektiert wurden, auch signifikant höhere Schwefelgehalte der Nadeln aufwiesen (TRIMBACHER & WEISS, 1997). Generell entstehen Partikelemissionen bei verschiedenen Verbrennungsprozessen. Diese Flugaschepartikel können anhand ihrer Morphologie, ihrer Größe und ihrer chemischen Zusammensetzung identifiziert werden. Dadurch wird es auch zum Teil möglich, Rückschlüsse auf die Art des Verbrennungsprozesses bzw. sogar auf die bei der Verbrennung verwendeten Ausgangsstoffe zu ziehen. Dies gilt im übrigen nicht nur für das Untersuchungsgebiet Frantschach, sondern auch für alle anderen emittentennahen Standorte der vorliegenden Studie, an denen Partikel auf den Nadeln detektiert wurden.

Tab. 1: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Frantschach.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
SF 1	1,9 ± 0,57	7	4
F 9	2,4 ± 0,87	31	13
F 15	1,9 ± 0,76	14	16
F 20	2,8 ± 1,24	4	7
F 21	1,8 ± 0,54	1	21
WO 16	2,0 ± 0,68	6	14

Die stärkste Belegung der Nadeloberflächen mit Fremdstaub (31%) wurde an den Nadeln des nord-östlich gelegenen Probepunktes F 9 beobachtet. Es wurden im Staub regelmäßig Gipskristalle (Abb. 2 und 3) sowie Rußpartikel und Aluminiumsilikateilchen (Abb. 4 und 5) detektiert. Letztere wiesen in ihren Elementspektren metallische Komponenten wie Eisen oder Titan auf und waren auf den Fichtennadeln in erster Linie als Partikelaggregate detektierbar.

Diese Informationen deuten darauf hin, daß diese sphärischen Flugascheteilchen aus industriellen Verbrennungsprozessen stammen. 13% der untersuchten Stomata waren mit pflanzlichen bzw. tierischen Mikroorganismen besiedelt. Die Wachsqualität der Fichtennadeln lag bei einem Wert von 2,4, welcher einer leichten Beeinträchtigung der Nadelwachse entspricht.

Fichtennadeln des östlich von Frantschach befindlichen Probepunktes F 15 waren durch weitgehend intakte Wachsstrukturen gekennzeichnet (MW 1,9). 1% der untersuchten Spaltöffnungen konnte jedoch wegen massivster Staubbelegung nicht bewertet werden und fiel deshalb in Sonderklasse 6. Auf den Nadeln konnten wiederum - wie bei Probepunkt SF 1 und F 9 - glatte, sphärische Flugaschepartikel mit einem durchschnittlichen Durchmesser von 5 µm gefunden werden.

Die schlechteste Wachsqualität aller rasterelektronenmikroskopisch analysierten Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet wies der Probepunkt F 20 nahe Wolfsberg auf (MW 2,8). Die Wachsdegradationen waren zum überwiegenden Teil mechanisch bedingt, erkennbar an rekristallisierten Wachstubuli. Die Belegung der Nadeloberflächen mit Staubpartikeln lag bei 4%, die Belegung mit biologischem Material bei 7%.

Tab. 2: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen, sphärischen Silikatpartikeln und Rußpartikeln. 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig

Probepunkt	Gips	Si-Partikel	Ruß
SF 1	x	x	x
F 9	x	xx	x
F 15	0	xx	0
F 20	0	0	0
F 21	0	0	x
WO 16	x	x	0

Mit einem Wert von 1,8 wiesen die Nadelwachse des südlich gelegenen Probepunktes F 21 die beste Wachsqualität auf. Anhaftender Fremdstaub wurde kaum beobachtet. Es fanden sich lediglich vereinzelt Rußpartikel auf den Nadeln, Staubaggregate konnten nicht gefunden werden. Die Belegung der Nadeloberflächen mit Epibionten lag bei 21%.

Für die Nadelwachse des Probepunktes WO 16 wurde eine mittlere Wachsqualität von 2,0 ermittelt. Dieser Wert entspricht einer beginnenden Beeinträchtigung der Wachsstrukturen. Wie bereits an anderen Standorten des Untersuchungsgebietes Frantschach, fanden sich auch auf den Nadeln dieses Punktes vereinzelt Gipskristalle (Abb. 6) und glatte, sphärische Partikel.

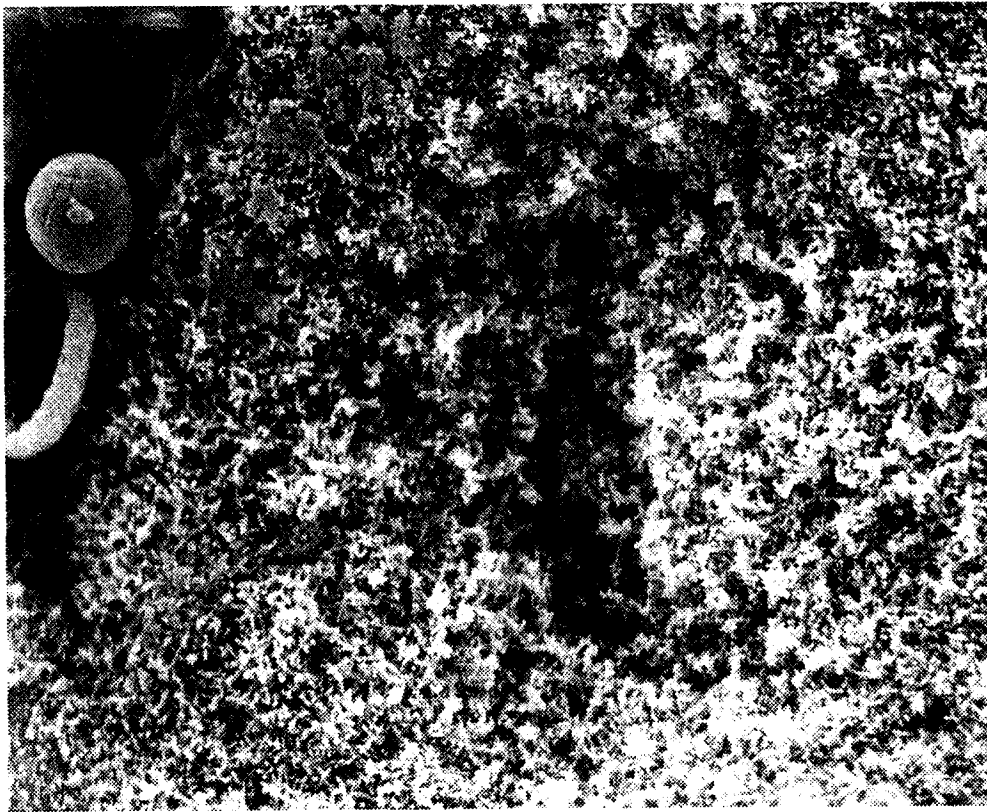


Abb. 1: PP. SF 1/Frantschach, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen und einem sphärischen Flugaschepartikel in der linken, oberen Bildhälfte. Vergr.: 3000fach.

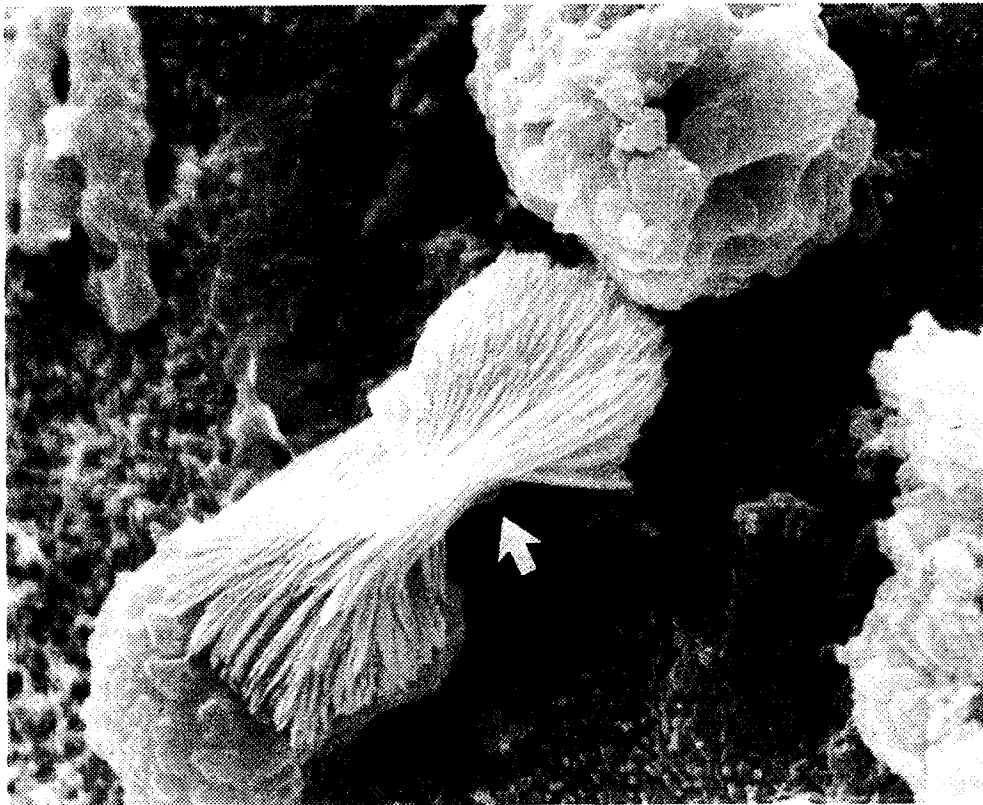


Abb. 2: PP. F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit organischem Material und Gipsnadeln (Pfeil). Vergrößerung: 4400fach.

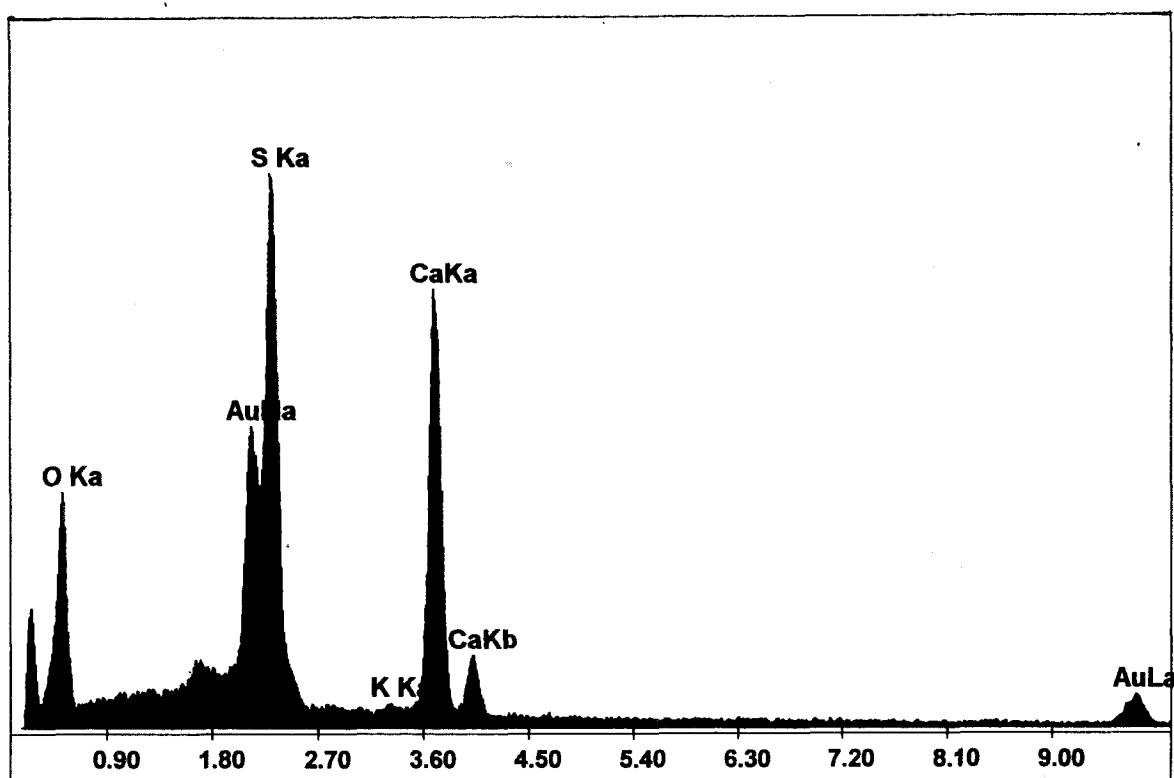


Abb. 3: PP. F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Gips, erkennbar an den charakteristischen Peaks von Schwefel (S) und Kalzium (Ca).

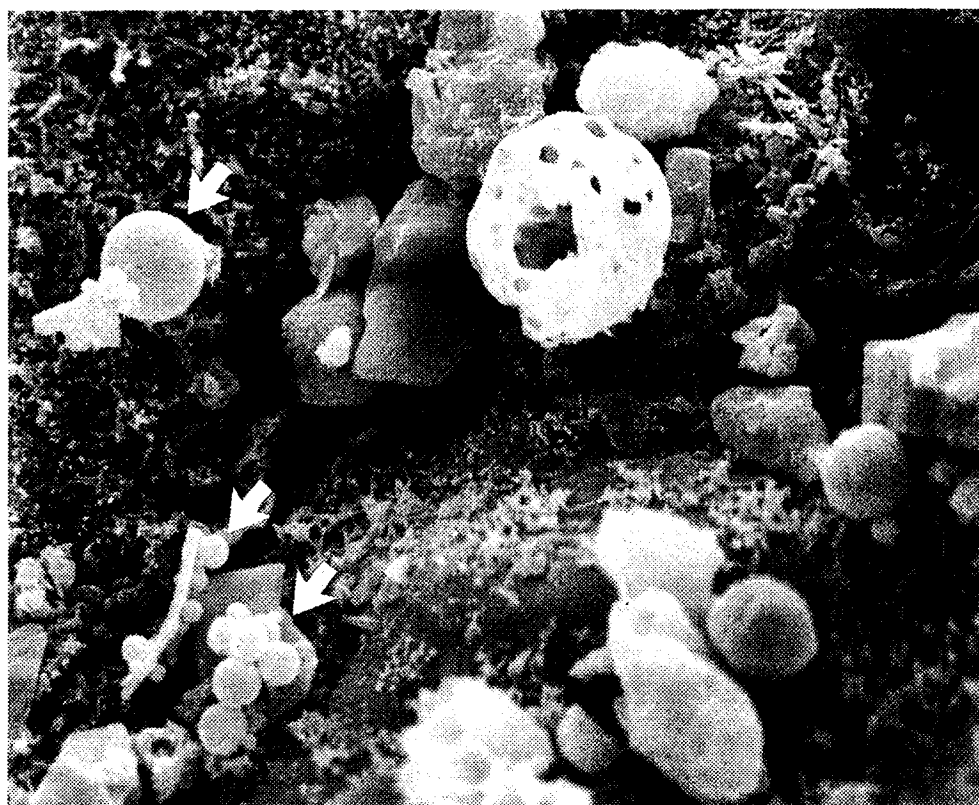


Abb. 4: PP. F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Aluminiumsilikatteilchen (Pfeile) und einem Rußpartikel. Vergrößerung: 3000fach.

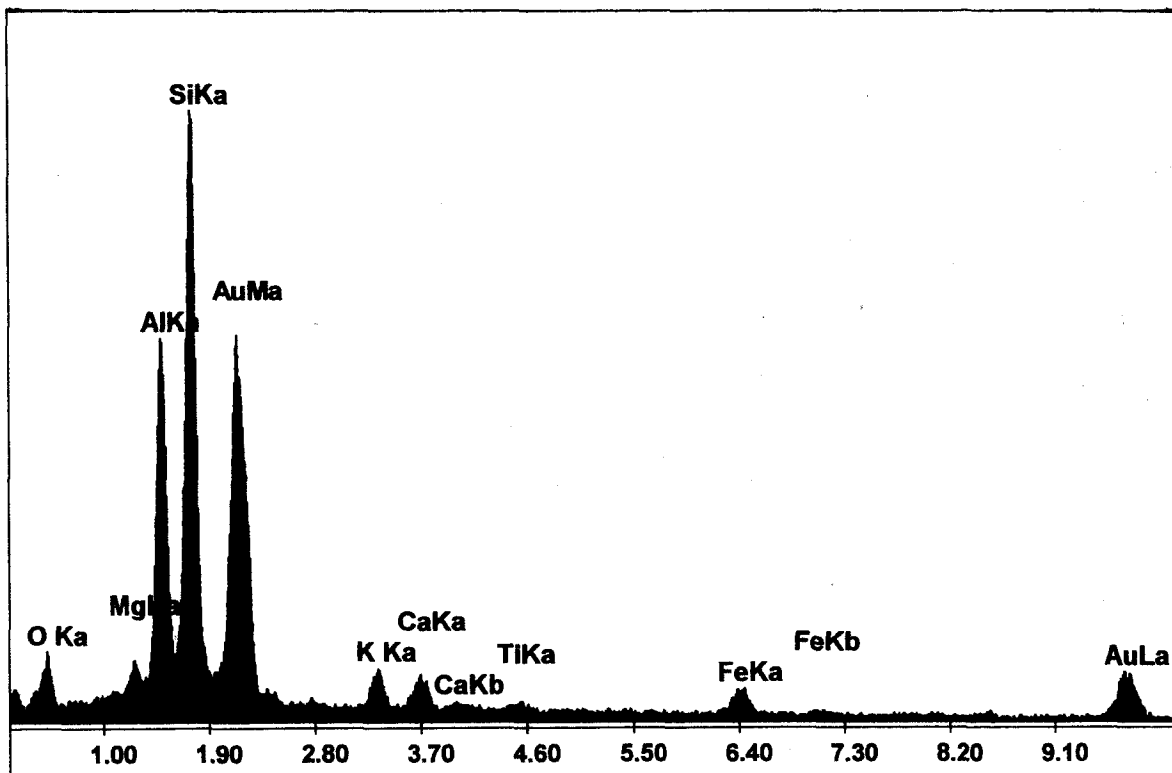


Abb. 5: PP. F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Aluminium (Al)- und Silizium (Si)-haltigen Flugaschepartikeln.

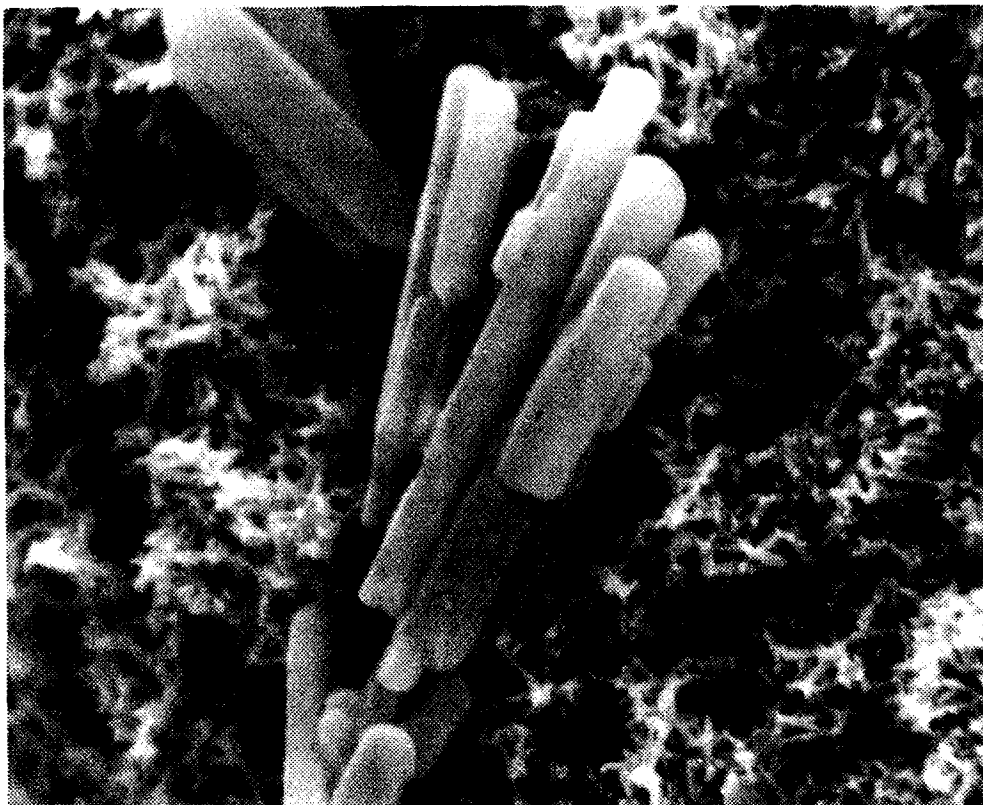


Abb. 6: PP. WO 16/Frantschach, REM-Aufnahme von Gipskristallen auf einer Spaltöffnung. Vergrößerung: 7500fach.

Tab. 3: Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	S	N _{Kjeldahl}	Ca	K	Mg	P
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SF 1	0,14	1,3	4240	7075	1192	1656
F 9	0,13	1,4	4345	7165	1315	1810
F 21	0,15	1,8	5367	9716	1282	2057
F 15	0,11	1,6	3520	8603	1056	2395
F 20	0,14	1,4	6299	7693	1393	2439
WO 16	0,15	1,3	4882	7221	1265	1427

Tab. 4: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
SF 1	2,9	27	1209	43
F 9	3,1	32	1133	49
F 21	4,1	27	1545	45
F 15	3,9	32	161	31
F 20	3,3	43	750	44
WO 16	2,8	26	1330	46

Im Vergleich zu den Ergebnissen von 25 österreichischen Hintergrundstandorten aus den Jahren 1993 und 1995 (TRIMBACHER et al. 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) wiesen die Fichtennadeln der Standorte aus dem Raum Frantschach signifikant höhere Stickstoff-, Schwefel-, Kalium-, Phosphor- und Mangangehalte auf (Abb. 7). Besonders auffällig sind die Schwefelgehalte in Frantschach, die fast durchwegs über dem Grenzwert der „Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigung“ (WOHANKA & STÜRZENBECHER, 1989) liegen. Aber auch die Phosphor- und Kaliumgehalte liegen teilweise über der Grenze für den Optimalbereich von 0,20% (Phosphor) und 0,8% (Kalium) nach FOERST ET AL. (1987) bzw. GULDER & KÖLBEL (1993).

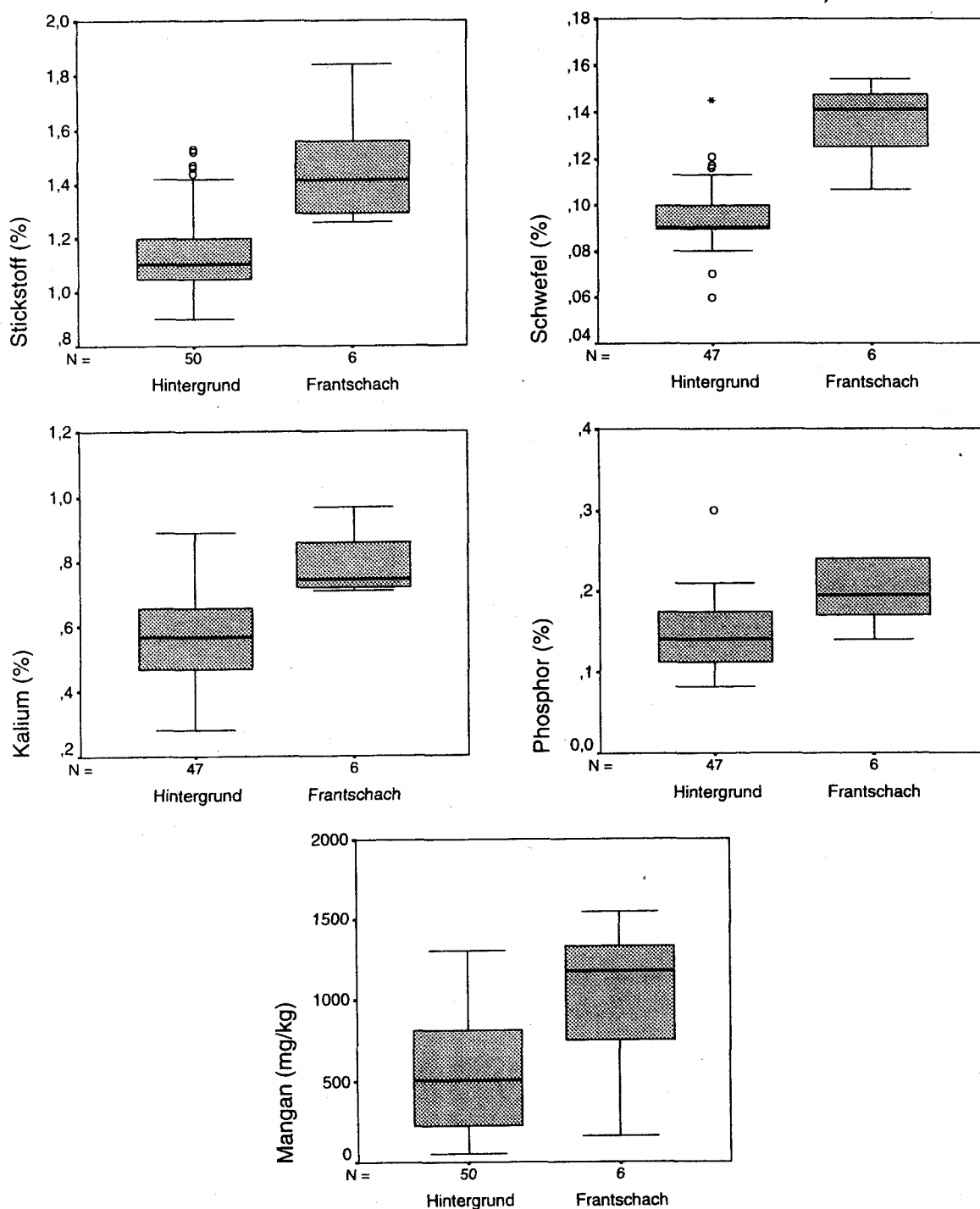


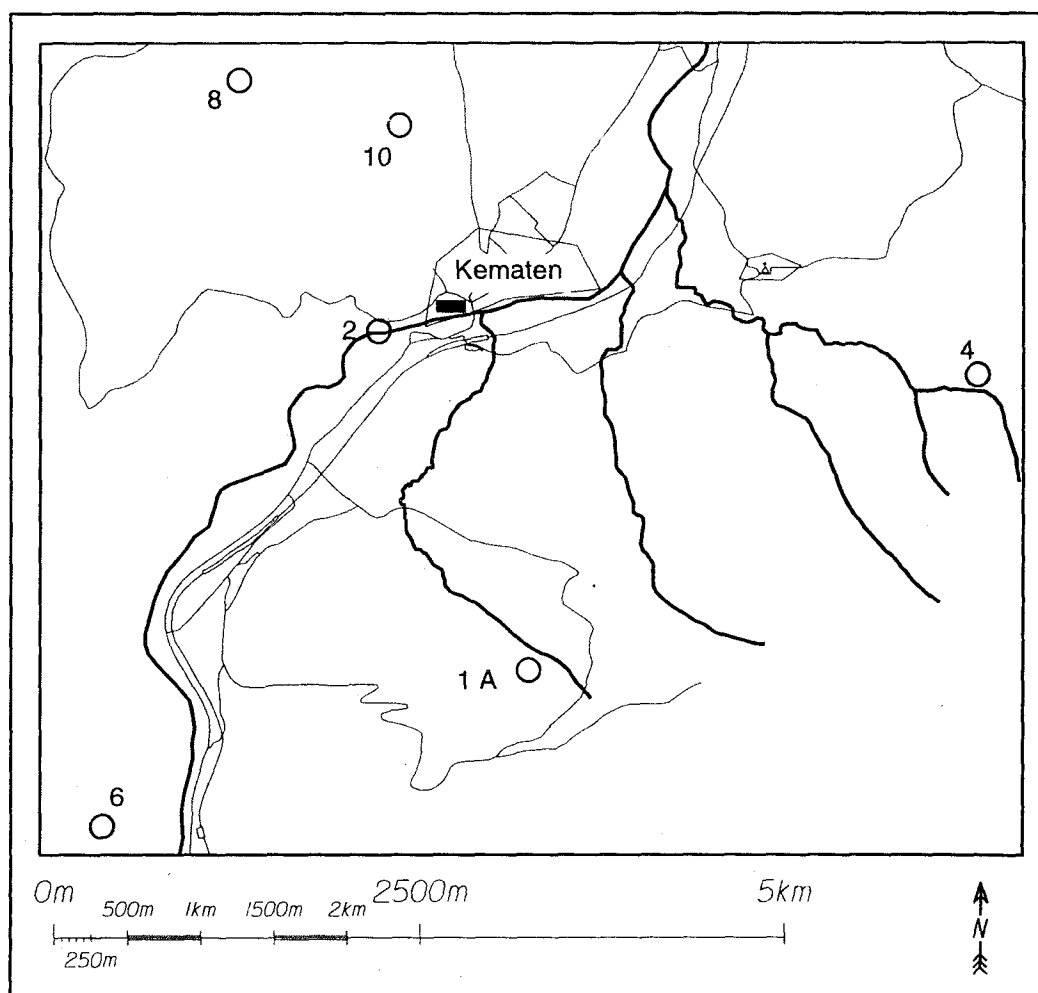
Abb. 7: Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Frantschach und von Hintergrundstandorten.

Zur Erläuterung dieses Graphiktyps: Die dicke Linie in der Mitte des Boxplots stellt den Median (Durchschnittswert) dar, der Kasten umfaßt den Bereich vom 25er- bis zum 75er Perzentil der Werte. Die oberen und unteren Markierungen stellen die kleinsten bzw. größten beobachteten Werte dar, die noch keine Ausreißer sind. Die Kreise stellen Ausreißer dar, die mehr als 1,5 Kastenlängen vom 25er- bzw. 75er Perzentil entfernt liegen. Die Sterne stellen Ausreißer dar, die mehr als 3 Kastenlängen vom 25er- bzw. 75er Perzentil entfernt liegen.

4.2 Kematen

4.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Neusiedler Aktiengesellschaft betreibt am Standort Kematen an der Ybbs eine Magnesium-Bisulfid-Zellstofffabrik mit Laugenwirtschaft und eine Papierfabrik. Im Werk Kematen werden jährlich rd. 42.000 t Zellstoff sowie rd. 73.000 t Papier hergestellt. Für die Zellstoffherzeugung wird ausschließlich Abfallholz (Sägerestholz) verwendet. Die Bleichung der Zellstofffasern erfolgt mit Sauerstoff und Wasserstoffperoxid. Der Ausstieg aus der Chlorbleiche erfolgte 1989. Die Reduktion der Schwefeldioxid- und Staubemissionen erfolgte bereits vor mehr als 15 Jahren durch den Einsatz von Erdgas statt Heizöl schwer. Weiters brachte die Umstellung der Zellstoffkochung und Chemikalienrückgewinnung durch prozeß- und verfahrenstechnische Maßnahmen eine Verringerung der Emissionen in die Luft (Quelle: NEUSIEDLER AKTIENGESELLSCHAFT, 1996).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Kematen/Niederösterreich.

4.2.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

In der Umgebung der Neusiedler Papier AG in Kematen an der Ybbs wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 2,0 und 2,9 (leicht beeinträchtigt). Die leicht beeinträchtigte Wachsqualität der Fichtennadeln der Probepunkte 4, 8 und 10 war zum Teil mechanisch bedingt (Witterungseinflüsse). Doch wurden auch immer wieder Spaltöffnungen mit apikal verschmolzenen Wachsstrukturen beobachtet, die auch auf anthropogene Umwelteinflüsse hindeuten. Abbildung 8 zeigt eine derartige Spaltöffnung von Fichtennadeln des Probepunktes 8. Die Staubbelegung war gering und lag zwischen 0% und 4%. Mit Ausnahme des Probepunktes 2 wurden auf den Nadeloberflächen der Fichtennadeln vor allem im interstomatären Bereich Gipskristalle und sphärische Flugaschepartikel mit glatter Oberflächenbeschaffenheit detektiert (Abb. 9 und 10). Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag im Bereich von 4% und 14%.

Tab. 5: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Kematen.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
1 A	2,0 ± 0,79	4	8
2	2,5 ± 1,15	3	14
4	2,6 ± 0,95	0	4
6	2,2 ± 0,83	1	8
8	2,9 ± 1,33	0	13
10	2,6 ± 1,05	0	6

*Tab. 6: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln.
0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig*

Probepunkt	Gips	Si-Partikel
1 A	xx	xx
2	0	0
4	x	x
6	x	0
8	x	x
10	0	xx

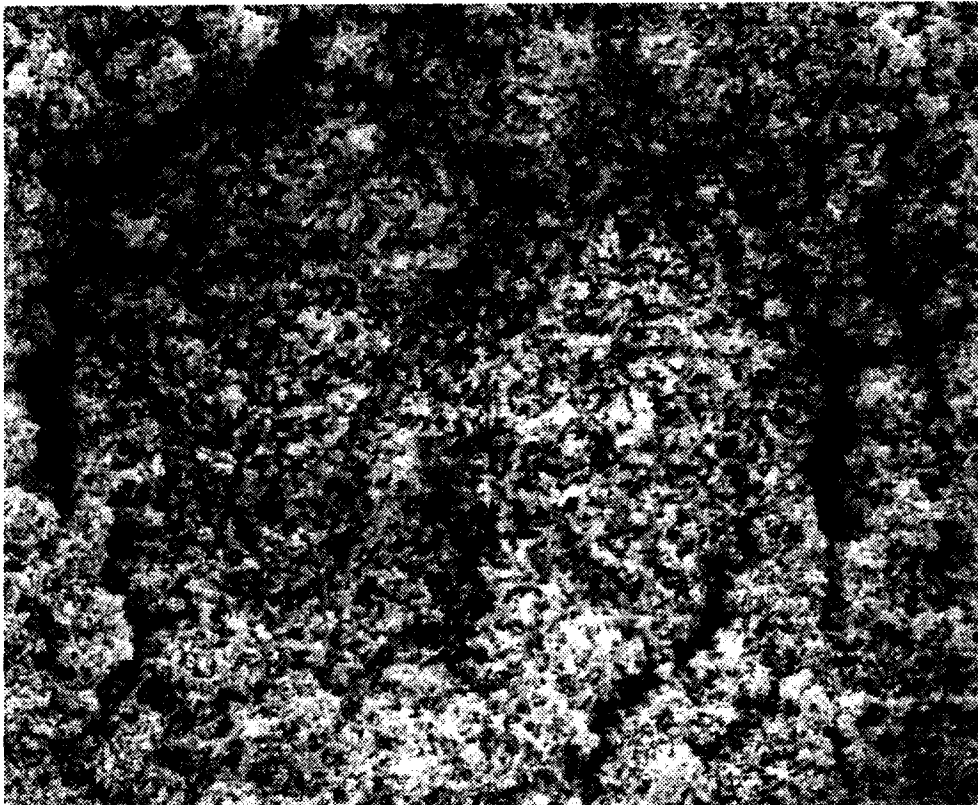


Abb. 8: PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 9: PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme eines Spaltöffnungsbereiches mit Wachsdegradationen und einem anhaftenden Gipskristall (Pfeil). Vergrößerung: 3000fach.

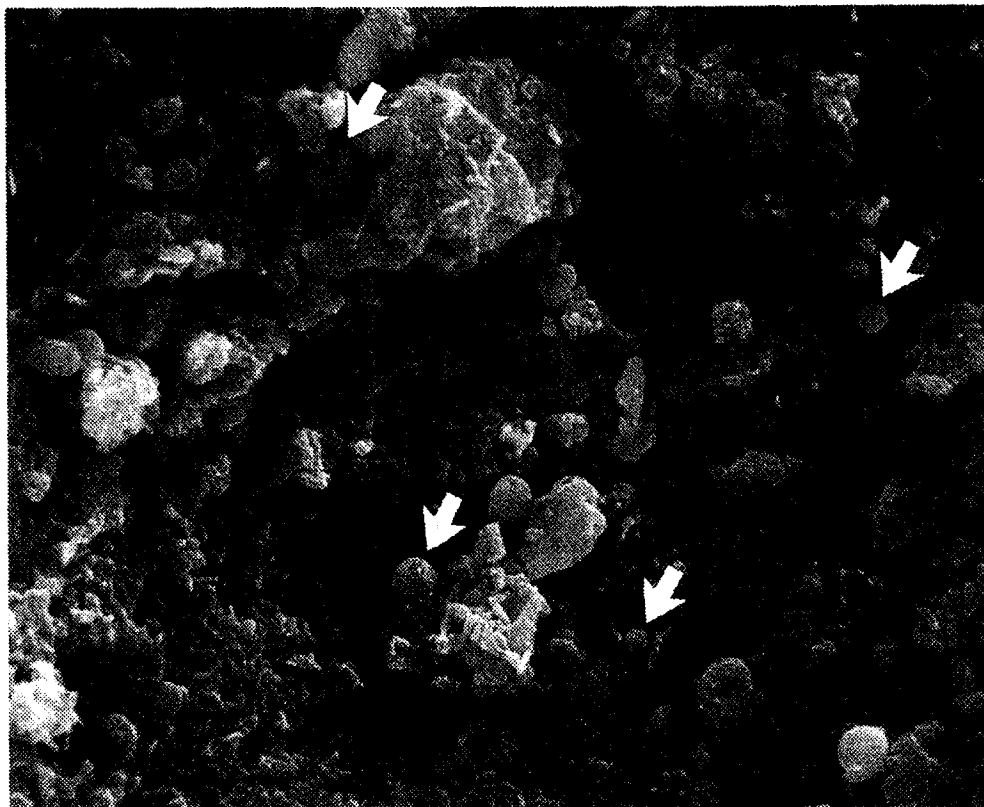


Abb. 10: PP. 10/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit schlechterer Wachsqualität und Fremdstaub, der sphärische Flugaschepartikel enthält (Pfeile). Vergrößerung: 3000fach.

Die Schwefelgehalte der Fichtennadeln waren vergleichsweise gering und erreichten nur am Probepunkt 10 den Grenzwert von 0,11% im 1. Nadeljahrgang.

Tab. 7: Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	S	N _{Kjeldahl}	Ca	K	Mg	P
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1A	0,10	1,5	2654	9197	783	2020
2	0,08	1,3	4986	5857	1426	1307
4	0,10	1,3	5635	5052	1124	1153
6	0,10	1,4	5560	6944	838	1140
8	0,09	1,4	3503	5648	823	1307
10	0,11	1,3	5576	7832	1126	1703

Tab. 8: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
1A	4,3	12	170	54
2	3,6	15	17	64
4	3,6	18	835	56
6	4,7	27	674	76
8	4,0	22	1216	82
10	4,3	31	458	94

Die Stickstoff- und Eisengehalte in Kematen liegen über, die Zinkgehalte unter jenen von 25 österreichischen Hintergrundstandorten aus TRIMBACHER ET AL. (1995) und TRIMBACHER & WEISS (1997) (Abb. 11). Im Vergleich zu landesweiten Daten des österreichischen Bioindikatornetzes (FÜRST, 1994) und der bayerischen Inventur (GULDER & KÖLBEL, 1993) sowie üblichen Richtwerten sind sie jedoch nicht weiter auffällig.

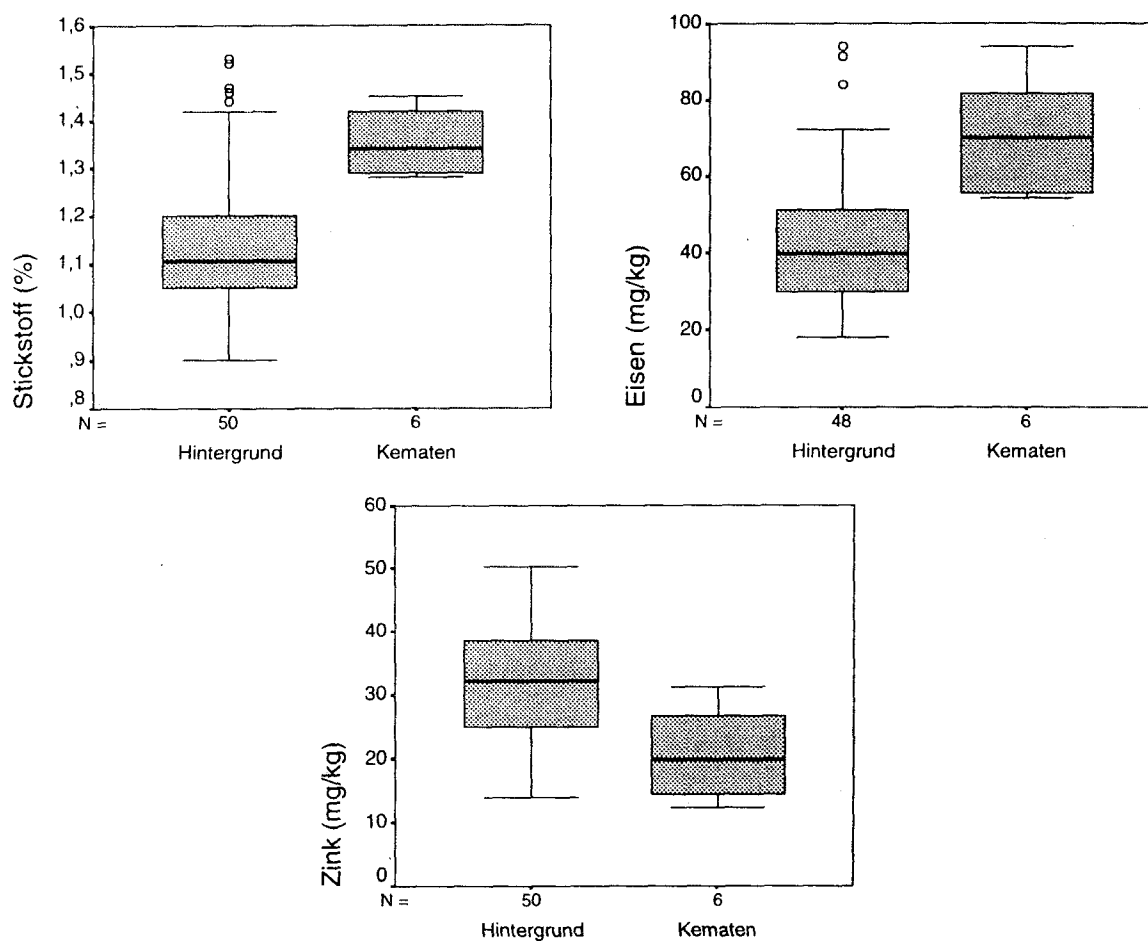


Abb. 11: Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Kematen und von Hintergrundstandorten.

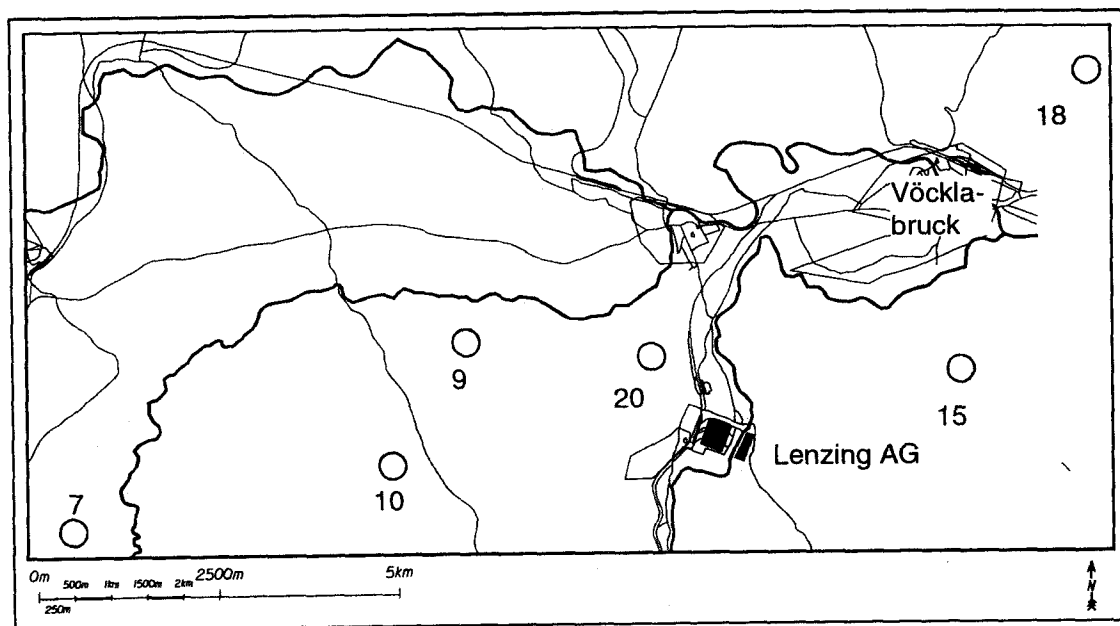
4.3 Lenzing

4.3.1 Lage und Klima

Der Standort der Lenzing AG liegt an der Ager (OÖ). Das Tal der Ager hat bei Lenzing einen Südwest-Nordost Verlauf. Dementsprechend zeigt die Windrichtungsverteilung im wesentlichen einen talparallelen Verlauf mit einer Überlagerung der im nördlichen Alpenvorland sehr häufigen Windrichtungen aus West bis Nordwest. Die häufigsten Windrichtungen sind Nordost bis Ost sowie Südwest bis Westnordwest. Das Gebiet um Lenzing zeichnet sich auch durch windstille Perioden aus. Zusammen mit winterlichen Inversionslagen ist der Standort Lenzing, verglichen mit anderen Gebieten in Österreich, als sehr austauscharm zu bezeichnen. Während windschwacher Wetterlagen kann es daher infolge der mangelnden Durchmischung und Schadstoffverdünnung zu hohen Immissionskonzentrationen im Raum Lenzing kommen (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

4.3.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Lenzing AG wurde im Mai 1938 gegründet. Zu den derzeitigen Produktionsbereichen zählen die Zellstoffherstellung sowie die Herstellung von Viskose und Papier. Bei der Erzeugung von Viskosefasern aus Buchenkunstfaserzellstoff werden Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff freigesetzt, welche in früheren Jahren zu erheblichen Immissionsbelastungen führten. Durch die Inbetriebnahme einer Luftreinigungsanlage im Jahre 1986 konnten die Emissionen von Schwefelkohlenstoff und Schwefelwasserstoff deutlich gesenkt werden. In den vergangenen Jahren war der Raum Lenzing auch durch teilweise hohe Immissionskonzentrationen von Schwefeldioxid gekennzeichnet. Durch emissionsmindernde Maßnahmen (SO₂-Sanierungskonzept) konnte eine Verringerung des Schwefeldioxidausstoßes erzielt werden (UMWELTBUNDESAMT, 1992).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Lenzing.

4.3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Untersuchungsgebiet Lenzing wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt, Abb. 12) bis 2,6 (leicht beeinträchtigt). Staubbörmige Fremdpartikel wurden auf den untersuchten Spaltöffnungen nicht detektiert. Auf Nadeln des Probepunktes L 7 fanden sich im interstomatären Bereich vereinzelt glatte, sphärische Flugaschepartikel mit einem Durchmesser von rd. 10 µm. Auf Nadeln des Probepunktes L 18 wurden vereinzelt Gipskristalle detektiert, die sich ebenfalls im interstomatären Bereich befanden (Abb. 13). Die Belegung mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen (Epibionten) lag zwischen 6% und 28%.

Tab. 9: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Lenzing.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
Lenzing 7	2,6 ± 0,97	0	14
Lenzing 9	2,2 ± 0,90	0	19
Lenzing 10	2,2 ± 0,98	0	25
Lenzing 15	1,9 ± 0,56	0	14
Lenzing 18	1,9 ± 0,51	0	6
Lenzing 20	2,4 ± 1,04	0	28

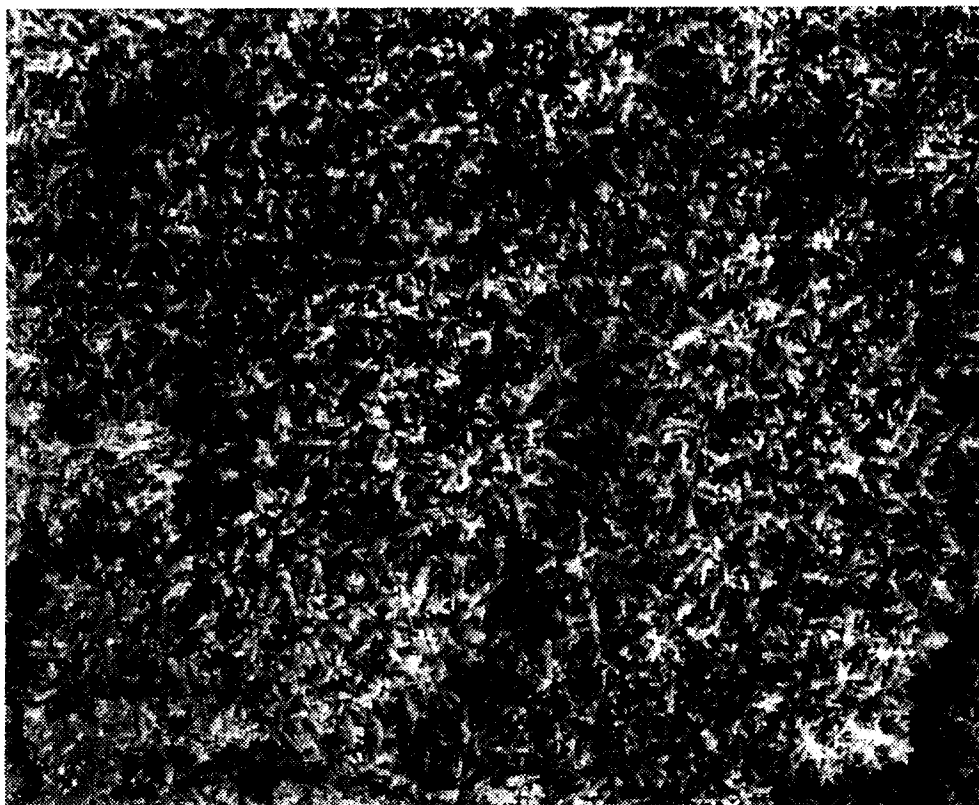


Abb. 12: PP. 8/Lenzing, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit weitgehend unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.

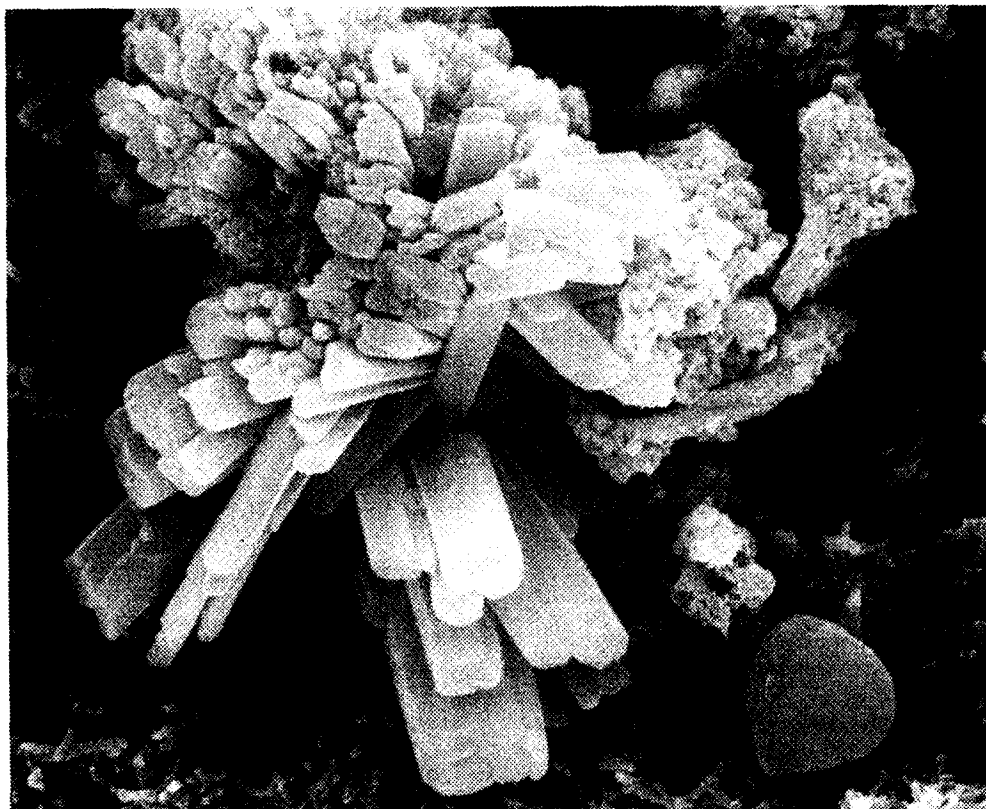


Abb. 13: PP. 18/Lenzing, REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche. Vergrößerung: 6500fach.

Tab. 10: Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	S	N _{Kjeldahl}	Ca	K	Mg	P
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Lenzing 7	0,09	1,2	4057	4416	1216	1482
Lenzing 9	0,12	1,6	4209	6842	1073	1874
Lenzing 10	0,10	1,4	5602	5823	997	1489
Lenzing 15	0,13	1,6	2790	6948	837	1724
Lenzing 18	0,10	1,5	3696	4633	993	1601
Lenzing 20	0,12	1,7	4113	5080	1209	1851

Gegenüber 25 österreichischen Hintergrundstandorten (TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) signifikant erhöhte Gehalte zeigten in Lenzing die Elemente Stickstoff, Eisen und Mangan (Abb. 14). Besonders auffällig ist der Stickstoffgehalt des dem Werk nächsten Standortes „Lenzing 20“ (Tab. 10, Abb. 14). Es ist daher anzunehmen, daß Werkseinflüsse für die signifikant höheren Stickstoffgehalte verantwortlich sind. Überschreitungen des Grenzwertes für Schwefel gemäß 2. Forstverordnung wurden an drei der sechs untersuchten Standorte in Lenzing festgestellt. Insgesamt liegen die Schwefelgehalte des Raumes Lenzing jedoch nicht signifikant über jenen der 25 Hintergrundstandorte. Angesichts der langjährigen, erhöhten Schwefelbelastung in diesem Raum ist dieses Ergebnis positiv hervorzuheben. Die Ergebnisse des verdichteten Bioindikatornetzes für den Raum

Lenzing/Vöcklabruck von der FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT und DEM AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG/LANDESFORSTDIREKTION dokumentieren einen deutlichen Rückgang der Schwefel-Nadelgehalte während vergangener Jahre, die auf emissionsmindernde Maßnahmen im Zellstoffwerk Lenzing zurückzuführen sind.

Tab. 11: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg
Lenzing 7	3,2	28	332	63
Lenzing 9	3,8	39	1595	61
Lenzing 10	4,1	36	1653	53
Lenzing 15	4,2	30	1719	58
Lenzing 18	4,1	24	1429	43
Lenzing 20	3,8	32	1997	92

Die markant höheren Mangangehalte im Vergleich zu den 25 Hintergrundstandorten sind auffällig, allerdings schwanken die Mangangehalte in Fichtennadeln auch natürlicherweise in einem weiten Bereich (BERGMANN, 1993). Die Aufnahme von Mangan und damit die Nadelgehalte werden wesentlich durch die Bodenacidität und die pflanzenverfügbaren Mangangehalte des Bodens geprägt (NEBE, 1967; KAZDA & ZVACEK 1989; WYTTEBACH ET AL. 1991; KATZENSTEINER, 1992). Es ist somit nicht auszuschließen, daß der bodenchemische Status, verbunden mit den erhöhten Säureeinträgen vergangener Jahre im Raum Lenzing als Ursache für die vergleichsweise höheren Mangangehalte in Betracht zu ziehen ist. In dieses Bild würden auch die vergleichsweise geringeren Mangangehalte des Standorts „Lenzing 7“, der vergleichsweise am weitesten dem Werk entfernt liegt, und die höchsten Werte des werksnahen Standortes „Lenzing 20“ passen (Abb. 14, Tab. 11).

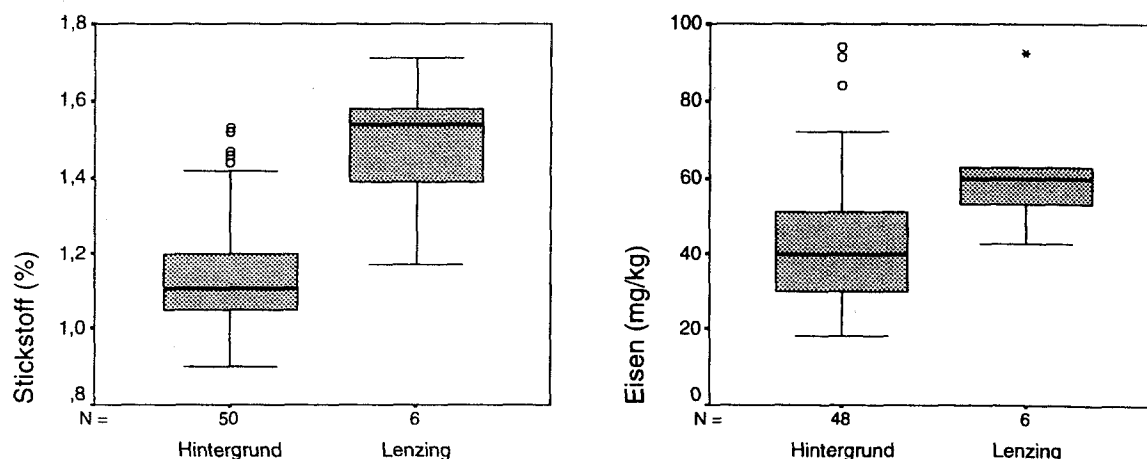


Abb. 14: Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Lenzing und von Hintergrundstandorten.

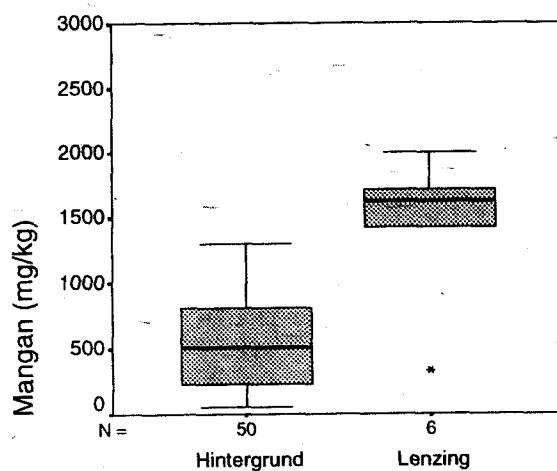


Abb. 14: (Fortsetzung) Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Lenzing und von Hintergrundstandorten.

4.4 Leoben / Donawitz

4.4.1 Lage und Klima

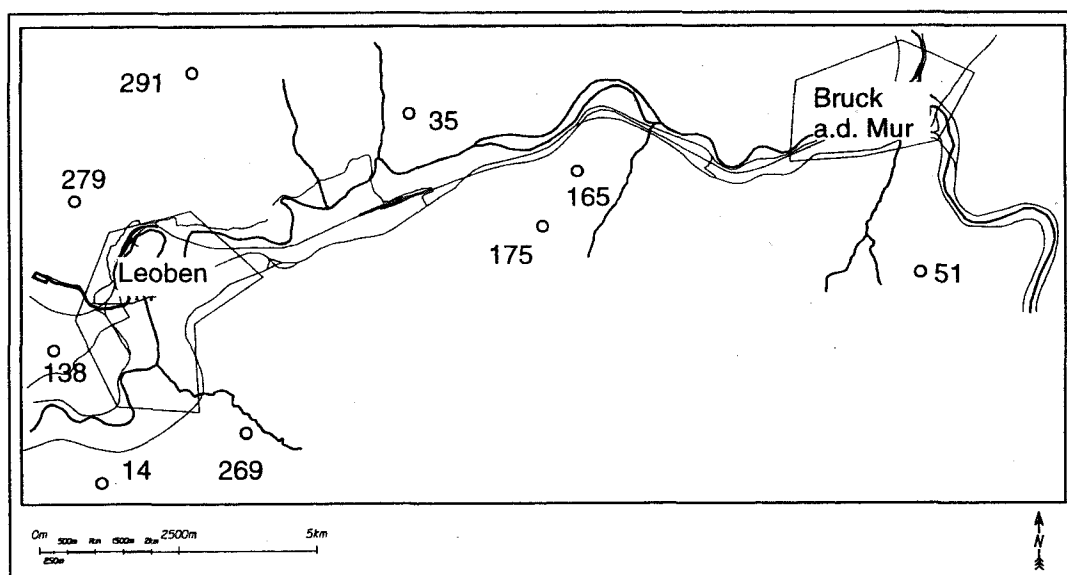
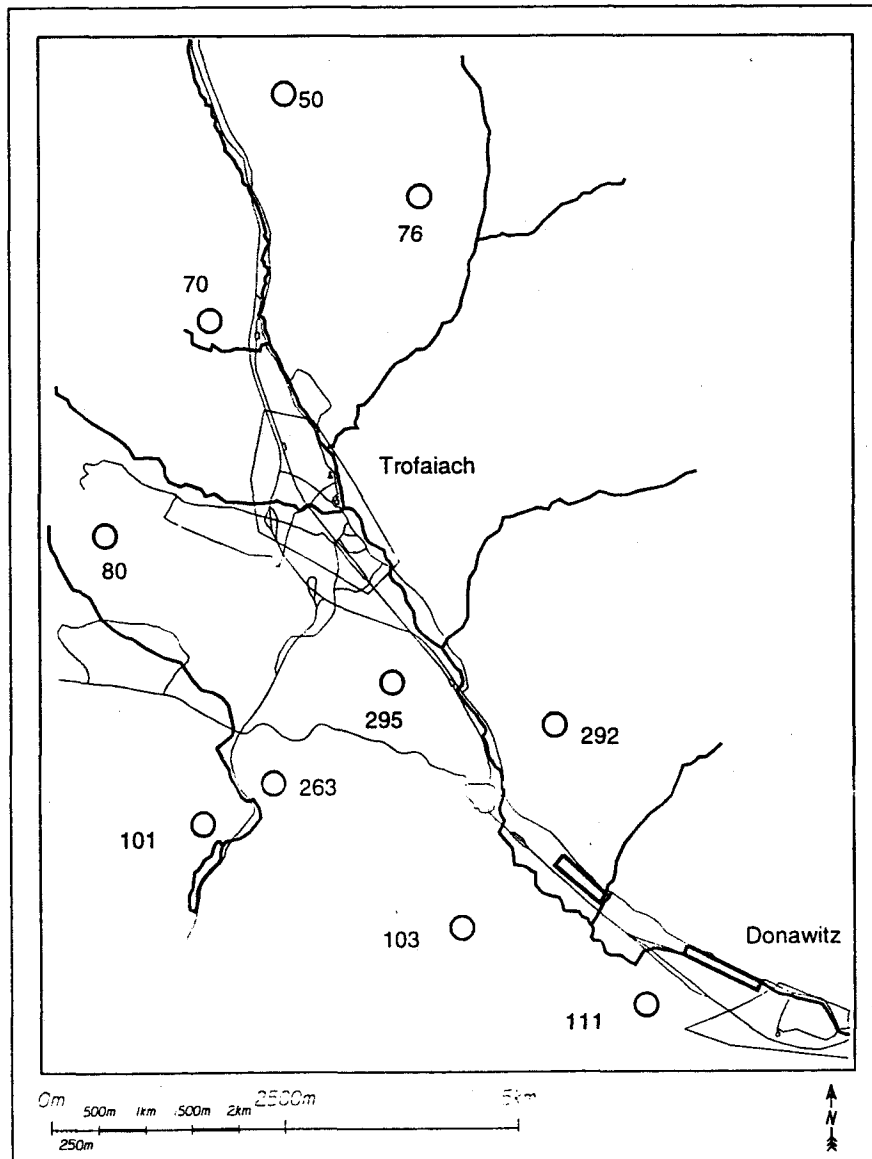
Leoben/Donawitz liegt an der Einmündung des Vordernbergbaches in die Mur. Auf einer schmal ausgebildeten Talterrasse des Vordernbergbaches befinden sich die Werksanlagen der Hütte Voest-Alpine Donawitz. Nach Westen hin wird der Raum von der Schillerhöhe (924 m) abgeschildert. Das Nordwest-Südost orientierte 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).

4.4.2 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 Schwefeldioxid, Staub, Stickoxide und Kohlenwasserstoffe. Weiters sind auch Belastungen durch Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Fluoride und Chloride, Schwermetalle sowie Dioxine und Furane zu erwarten. Vor allem im Forstbereich sind Beeinträchtigungen 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 20-fache 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.



Lageskizzen der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

4.4.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Einjährige Fichtennadeln von sechs Probepunkten aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz wurden bereits 1995 hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Wachststrukturen als auch der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen untersucht (TRIMBACHER, 1997; TRIMBACHER & WEISS, 1997). Die Ergebnisse waren Anlaß dafür, auch Fichtennadeln der folgenden Vegetationsperiode (1. Nadeljahrgang 1996) an den bereits vorhandenen Probepunkten zu analysieren sowie die Anzahl der Probepunkte zu verdichten.

Tab. 12: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung, Belegung der Nadeln mit Epibionten, Gipskristallen und eisenhaltigen Partikeln im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %	Gips	Fe-Partikel
VP 14	2,0 ± 0,62	1	11	0	0
VP 35	1,7 ± 0,65	1	10	0	0
VP 50	2,2 ± 0,57	1	10	0	0
VP 51	2,1 ± 0,81	0	8	0	0
VP 70	2,0 ± 0,36	0	10	0	0
VP 76	2,2 ± 0,75	0	6	x	0
VP 80	2,0 ± 1,04	0	25	x	0
VP 101	2,2 ± 1,08	1	11	0	0
VP 103	1,9 ± 0,45	4	19	xx	xxx
VP 111	1,9 ± 0,67	3	11	0	xxx
VP 138	2,0 ± 0,85	3	17	0	xx
VP 165	1,9 ± 0,51	7	19	0	x
VP 175	1,9 ± 0,42	0	10	0	0
VP 263	1,9 ± 0,48	0	13	0	x
VP 269	2,0 ± 0,70	0	17	0	x
VP 279	1,8 ± 0,50	1	8	0	0
VP 291	1,8 ± 0,48	0	15	0	0
VP 292	2,1 ± 0,87	0	10	0	0
VP 295	1,9 ± 0,32	1	17	0	0
<i>MW</i>	1,97	-	13	-	-
<i>Median</i>	2,00	1	11	-	-
<i>Minimum</i>	1,70	0	6	-	-
<i>Maximum</i>	2,20	7	25	-	-

Die Wachsqualität der insgesamt 19 Probepunkte im Raum Leoben/Donawitz lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,2 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war gering und lag im Bereich von 0% und 7%. Es wurden jedoch im Staub regelmäßig sphärische, eisenhaltige Flugaschepartikel mit Spuren von Mangan als weitere metallische Komponente detektiert, insbesondere auf den Nadeloberflächen der im Nahbereich des Stahlwerkes befindlichen Probepunkte VP 103, VP 111 und VP 138 (siehe Abb. 15 bis 17). Derartige Partikel entstehen bei Hochtemperaturprozessen in der Edelstahlproduktion und konnten in früheren Untersuchungen an LD-Stäuben detektiert werden (NEINAVAIE, 1998, pers. Mitteilung). Es wurden auch vereinzelt Gipskristalle beobachtet. An 8% bis 25% der untersuchten Spaltöffnungen wurden Epibionten beobachtet.

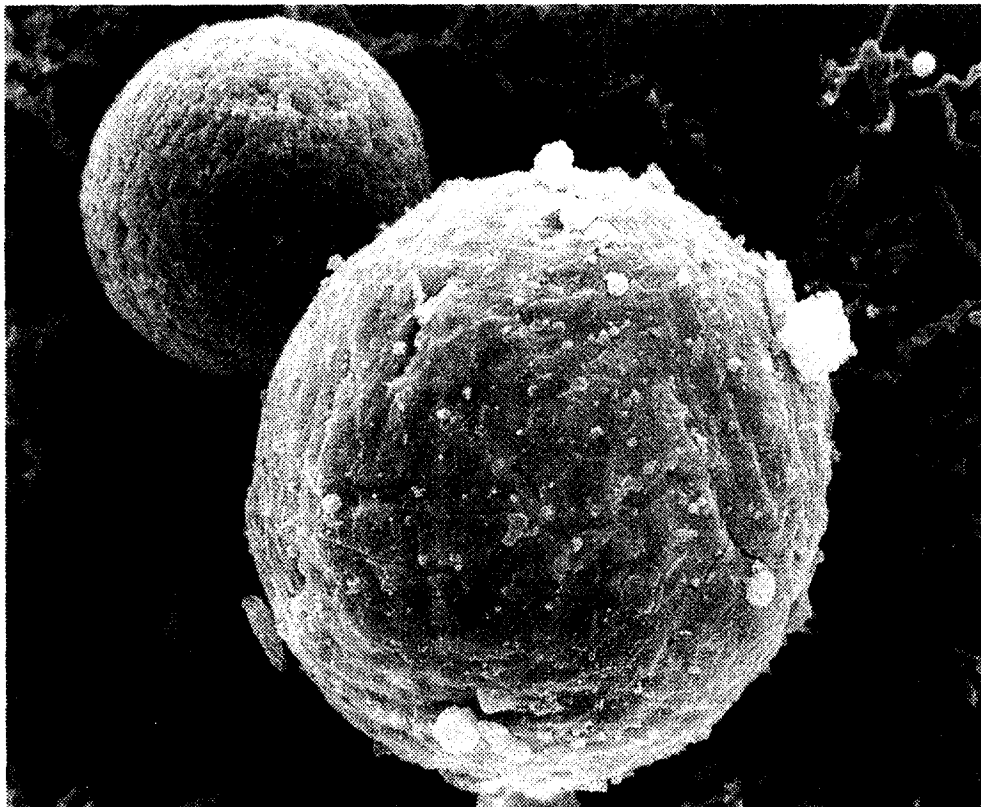


Abb. 15: PP. VP 138/Leoben, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zwei anhaftenden, eisenhaltigen Flugaschepartikeln. Vergrößerung: 7250fach.

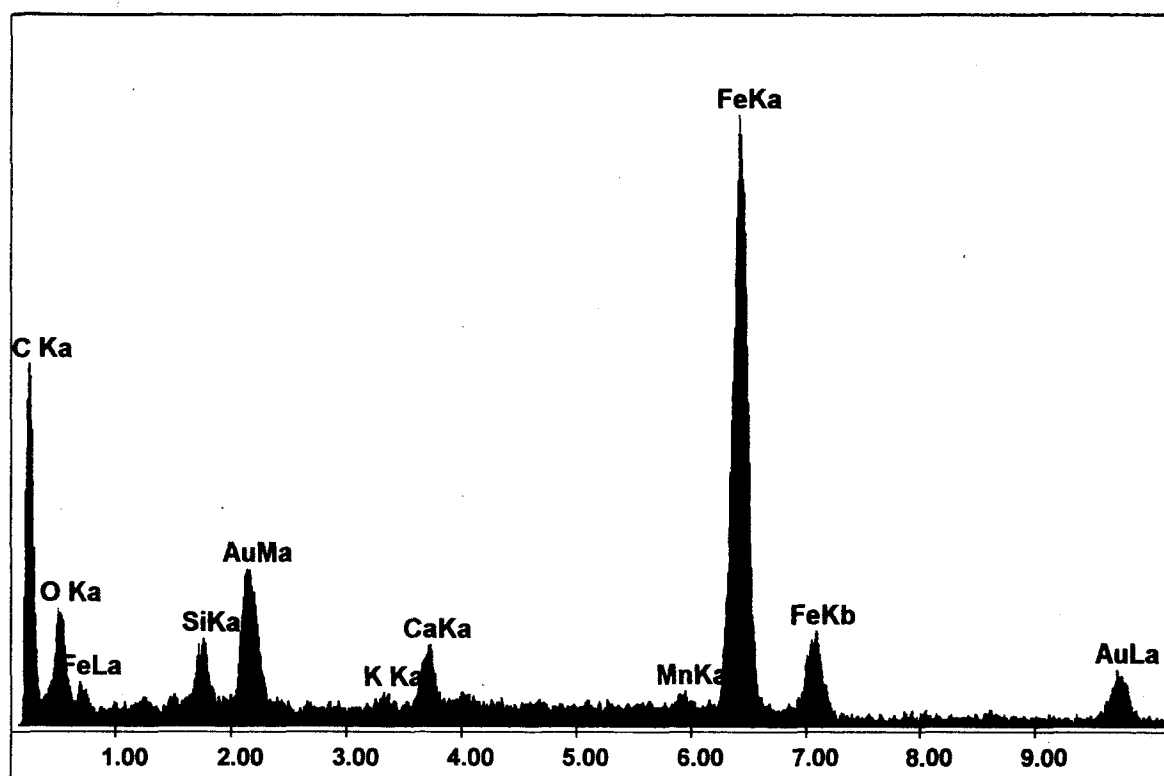


Abb. 16: PP. VP 138/Leoben, EDX-Spektrum der Fe-hältigen Flugaschepartikel in Abb. 15.

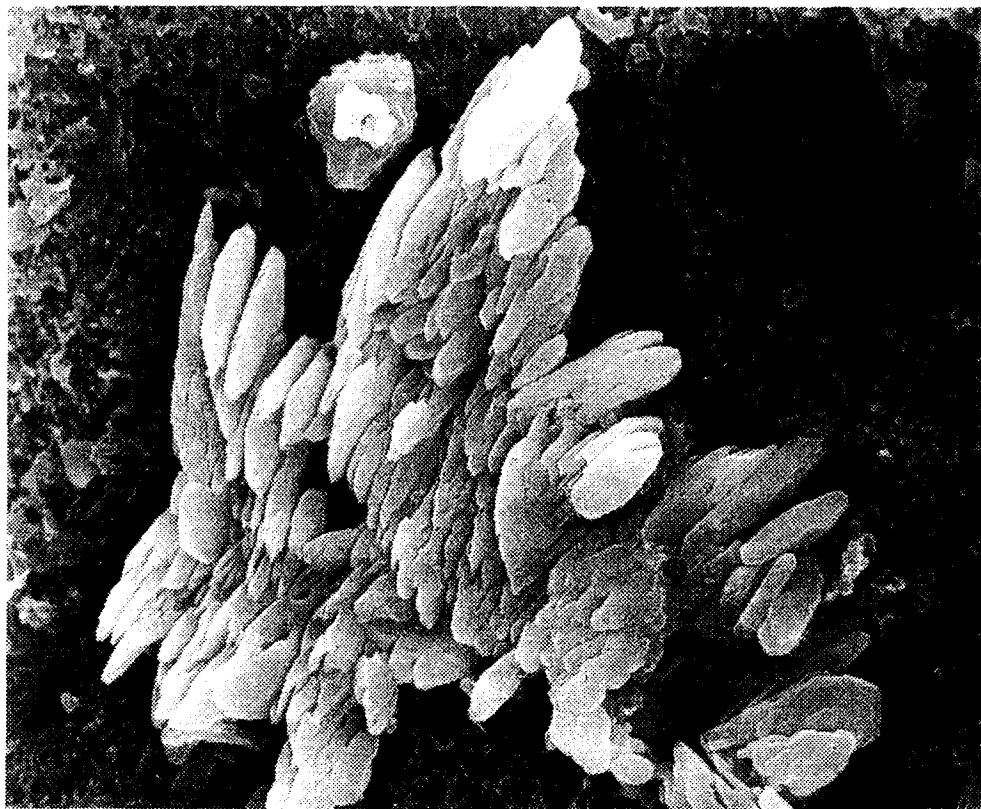


Abb. 17: PP. VP 103/Leoben, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftenden Gipskristallen. Vergrößerung: 3600fach.

Die Ergebnisse der Elementanalysen erbrachten bedenklich erhöhte Gehalte für mehrere Schadstoffe und bestätigen, daß der Raum Leoben/Donawitz – seit Jahren - zu den stärksten belasteten Regionen Österreichs zählt. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit Untersuchungen vom AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1998).

Tab. 13: Schwefel-, Fluor- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%; GW für F im 1. Njg.: 0,8 mg%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz. Alle Werte beziehen sich auf das 105 °C Trockengewicht.

PP	S	F	N _{Kjeldahl}	Ca	K	Mg	P
	%	mg %	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
VP 14	0,12	n.n.	1,6	4504	7526	1416	2143
VP 35	0,15	n.n.	1,5	4127	7765	1346	2208
VP 50	0,12	n.n.	1,6	7643	5442	1168	1528
VP 51	0,11	< 0,8	1,7	6429	7756	1273	1877
VP 70	0,11	n.n.	1,3	4302	6795	1327	1724
VP 76	0,09	n.n.	1,1	3056	7553	1020	1689
VP 80	0,12	n.n.	1,4	7815	3566	1295	1592
VP 101	0,15	n.n.	1,4	3925	7957	1606	2150
VP 103	0,16	< 0,8	1,5	6251	7889	1345	1974
VP 111	0,17	1,6	1,4	6955	10796	1069	1664
VP 138	0,15	< 0,8	1,6	5383	6808	1792	1743
VP 165	0,13	< 0,8	1,3	2516	6550	1265	2073
VP 175	0,14	< 0,8	1,6	3137	7055	1433	2473
VP 263	0,16	n.n.	1,5	4801	9575	1144	1798
VP 269	0,12	n.n.	1,4	3689	6015	1503	2385
VP 279	0,13	n.n.	1,4	5973	7558	1603	2019
VP 291	0,11	n.n.	1,3	4611	7217	1029	2253
VP 292	0,11	< 0,8	1,2	4385	5809	894	1865
VP 295	0,12	< 0,8	1,4	8315	3875	1379	2077
MW	0,1304	-	1,4	5147	7042	1305	1963
Median	0,1232	-	1,4	4600	7200	1300	2000
Minimum	0,09	-	1,1	2516	3566	894	1528
Maximum	0,17	-	1,7	8315	10796	1792	2473

Besonders die der Hütte Donawitz nächstgelegenen Standorte VP 103 und VP 111 wiesen auffällig erhöhte Gehalte auf:

Hervorzuheben sind insbesondere die markanten Überschreitungen der Schwefel- und Fluor-Grenzwerte der „2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“, aber auch die erhöhten Gehalte an Eisen, Blei und Quecksilber (Tab. 13 und 14). Die Eisen-gehalte liegen teilweise deutlich über dem Optimalbereich von 30 bis 180 mg/kg nach FOERST ET AL. (1987) und über den festgestellten Gehaltsbereichen zwischen 25 und 211 mg/kg im Rahmen des österreichweiten Bioindikatornetzes (FÜRST, 1996) sowie zwischen 18 und 123 mg/kg im Rahmen einer landesweiten bayerischen Inventur (GULDER & KÖLBEL,

1993). Die Bleigehalte an 25 österreichischen Hintergrundstandorten lagen zwischen <0,1 und 1,6 mg/kg (Median: 0,4 mg/kg, WEISS, 1998), in Bayern zwischen 0,2 und 2,4 mg/kg (Median: 0,8 mg/kg, GULDER & KÖLBEL, 1993), an fünf österreichischen Waldgebieten in der Periode 1983-1991 zwischen 0,11 und 1,86 mg/kg (HERMAN, 1994). WIMMER (1998, pers. Mitteilung) gibt im Rahmen einer umfangreichen Inventur im Raum Linz einen Richtwert von 1,23 mg Pb/kg im 1. Nadeljahrgang Fichte als höchsten Gehalt für unbelastete, urbane Gebiete an. An den der Hütte Donawitz nahen Standorten VP 103 und VP 111 werden diese Vergleichswerte deutlich überschritten.

Tab. 14: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Hg mg/kg
VP 14	3,8	50	991	126	0,10	0,7	0,12
VP 35	3,5	58	1187	272	0,07	1,4	0,16
VP 50	3,4	37	115	90	0,03	0,4	0,09
VP 51	3,5	57	505	97	0,16	0,5	0,11
VP 70	2,4	40	490	66	0,03	0,3	0,10
VP 76	2,8	35	621	46	0,03	0,3	0,06
VP 80	4,2	57	479	186	0,06	0,9	0,15
VP 101	3,2	42	1012	98	0,06	0,3	0,14
VP 103	4,1	72	1137	583	0,40	2,7	0,55
VP 111	3,9	89	881	871	0,20	5,9	0,15
VP 138	3,0	75	179	208	0,05	1,0	0,17
VP 165	4,3	45	945	484	0,11	2,4	0,18
VP 175	2,4	29	849	140	0,06	0,6	0,10
VP 263	2,8	56	786	197	0,13	0,7	0,15
VP 269	2,6	30	675	116	0,05	0,6	0,12
VP 279	< 2	90	1771	121	0,23	0,7	0,11
VP 291	2,1	37	639	70	0,06	0,4	0,08
VP 292	3,1	30	194	141	0,02	0,4	0,12
VP 295	3,5	59	374	102	0,08	0,5	0,16
MW	3,1	52	728	211	0,10	1,1	0,15
Median	3,2	50	675	126	0,06	0,6	0,12
Minimum	0,0	29	115	46	0,02	0,3	0,06
Maximum	4,3	90	1771	871	0,40	5,9	0,55

Eine eingehendere Betrachtung erfordern die Quecksilberwerte: Die Gehalte liegen mit Werten zwischen 0,06 und 0,55 mg/kg teilweise in einem Bereich, der auf die Notwendigkeit weiterführender Untersuchungen hindeutet (Tab. 14). Zum Vergleich: Von ZVACEK (1988) wurden in österreichischen Hintergrundgebieten Gehalte für den 1. Nadeljahrgang von Fichtennadeln im Bereich von 0,01 bis 0,02 mg/kg bestimmt. WIMMER (1998, pers. Mitteilung) gibt aufgrund eines umfangreichen Biomonitoringprogrammes im Raum Linz einen Gehalt von 0,06 mg/kg im 1. Nadeljahrgang Fichte als Obergrenze für den unbelasteten urbanen Hintergrund an. Nahezu alle Werte der Untersuchungsstandorte im Raum Leoben

liegen über diesen Werten. Besonders auffällig ist mit 0,55 mg Hg/kg im 1. Nadeljahrgang der Standort VP 103 südwestlich, nahe der Hütte Donawitz (Lageskizze Seite 26). Aufgrund der Höhe des Gehalts dieses Standorts sowie landwirtschaftlicher und gärtnerischer Nutzungen in dessen Nähe und nahe der Hütte Donawitz wird dringend empfohlen, im Umkreis der Hütte Futtermittel und pflanzliche Nahrungsmittel von landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen auf deren Quecksilbergehalte zu untersuchen. Als Hinweis: Der in Österreich gültige Futtermittelgrenzwert liegt bei 0,1 mg/kg. Die Fichtennadel stellt zwar kein Futtermittel dar, ein direkter Vergleich mit diesem Grenzwert ist deshalb unzulässig. Es lassen allerdings die Höhe der Gehalte in den Nadeln des Standorts VP 103 gemeinsam mit bisherigen Erfahrungen aus anderen Biomonitoringprogrammen vermuten, daß in landwirtschaftlichen und gärtnerischen Pflanzen von der Hütte nahegelegenen Standorten die Grenzwerte für Futtermittel und Richtwerte für Nahrungsmittel überschritten werden. Es gilt dies jedenfalls zu prüfen.

Als Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte der Nadeln ist aufgrund der Lage höher belasteter Standorte, der Ergebnisse der statistischen Auswertungen in den nachfolgenden Kapiteln sowie Erfahrungen aus dem Biomonitoringprogramm in Linz die Hütte Donawitz in Betracht zu ziehen. Konkrete Angaben von Verantwortlichen der VOEST zur Ursache erhöhter Quecksilbergehalte in Linz, lassen auch für Donawitz den Schluß zu, daß die Sinteranlage den belastungsbestimmenden Quecksilberemittenten darstellt. Nicht nur aufgrund der hier vorliegenden Ergebnisse wird empfohlen, umfassende emissionsmindernde Maßnahmen an dieser Anlage sowie an anderen maßgeblichen Emittenten des Werkes vorzunehmen.

4.4.3.1 Vergleiche nach Standortskategorien

Die 19 Untersuchungsstandorte im Raum Leoben/Donawitz und dem östlich davon gelegenen Murtal wurden aufgeteilt in die Gruppen „sehr nahe“ und „nahe“ Emittenten. Die Zuteilung zu „sehr nahe“ erfolgte dabei lediglich aufgrund der Nähe zur Hütte Donawitz bzw. in deren/ unmittelbarem Einflußbereich gelegen. Zusätzlich zu diesen beiden Gruppen wurden – soweit vorhanden – Ergebnisse von 25 österreichischen, emittententfernen Hintergrundstandorten, die für die Jahre 1993 und teilweise 1995 vorliegen, aus TRIMBACHER ET AL. (1995) und TRIMBACHER & WEISS (1997) herangezogen und als Gruppe „Hintergrund“ zusammengefaßt.

Es zeigt sich, daß die Gruppen „nahe“ und „sehr nahe“ Emittenten des Raumes Leoben/Donawitz bei den meisten Elementen signifikant höhere Gehalte aufweisen als die Gruppe der Hintergrundstandorte (Abb. 18). Dies umfaßt Nähr- und Schadelemente, wobei jedoch – in Einklang mit einer früheren Publikation (TRIMBACHER & WEISS, 1997) – zu berücksichtigen ist, daß höhere Elementgehalte der emittentennahen Standorte teilweise auf anlagern den Staub zurückzuführen sind und nicht auf die Gehalte *in* den Nadeln (vgl. Abb. 16 und 20). Dies ist besonders auch bei den Nährelementen von Relevanz, da die Nadelgehalte eine bessere Nährelementversorgung als die tatsächliche vortäuschen (vgl. auch Kap. 4.9.4).

Von den in Abbildung 18 dargestellten Elementen weisen – mit Ausnahme von Kalzium, Kupfer und Blei – alle Elemente in der Gruppe „nahe Emittenten“ signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund auf. Die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ weist – mit Ausnahme von Kupfer – bei allen dargestellten Elementen signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund auf. Zusätzlich zu diesen Unterschieden weist die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ signifikant höhere Gehalte bei den Elementen Schwefel, Zink und Quecksilber auf als die Gruppe „nahe Emittenten“. Insgesamt sind bei diesen Elementen sowie bei Kalzium, Eisen und Blei die Gehaltsverteilungen der Gruppe „sehr nahe Emittenten“ mit zunehmender Nähe zur Hütte Donawitz zu höheren Werten verschoben (Abb. 18). Es liegt auf der Hand, dies mit dem Einfluß des Werkes in Verbindung zu bringen.

Kupfer stellt eine Ausnahme dar, da die Gruppe „nahe Emittenten“ signifikant geringere und die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ tendenziell geringere Gehalte als der Hintergrund aufweist (Abb. 18).

Bei allen anderen, in diesem Kapitel nicht dargestellten Parametern, die in Donawitz erhoben wurden (siehe vorher), konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ festgestellt werden.

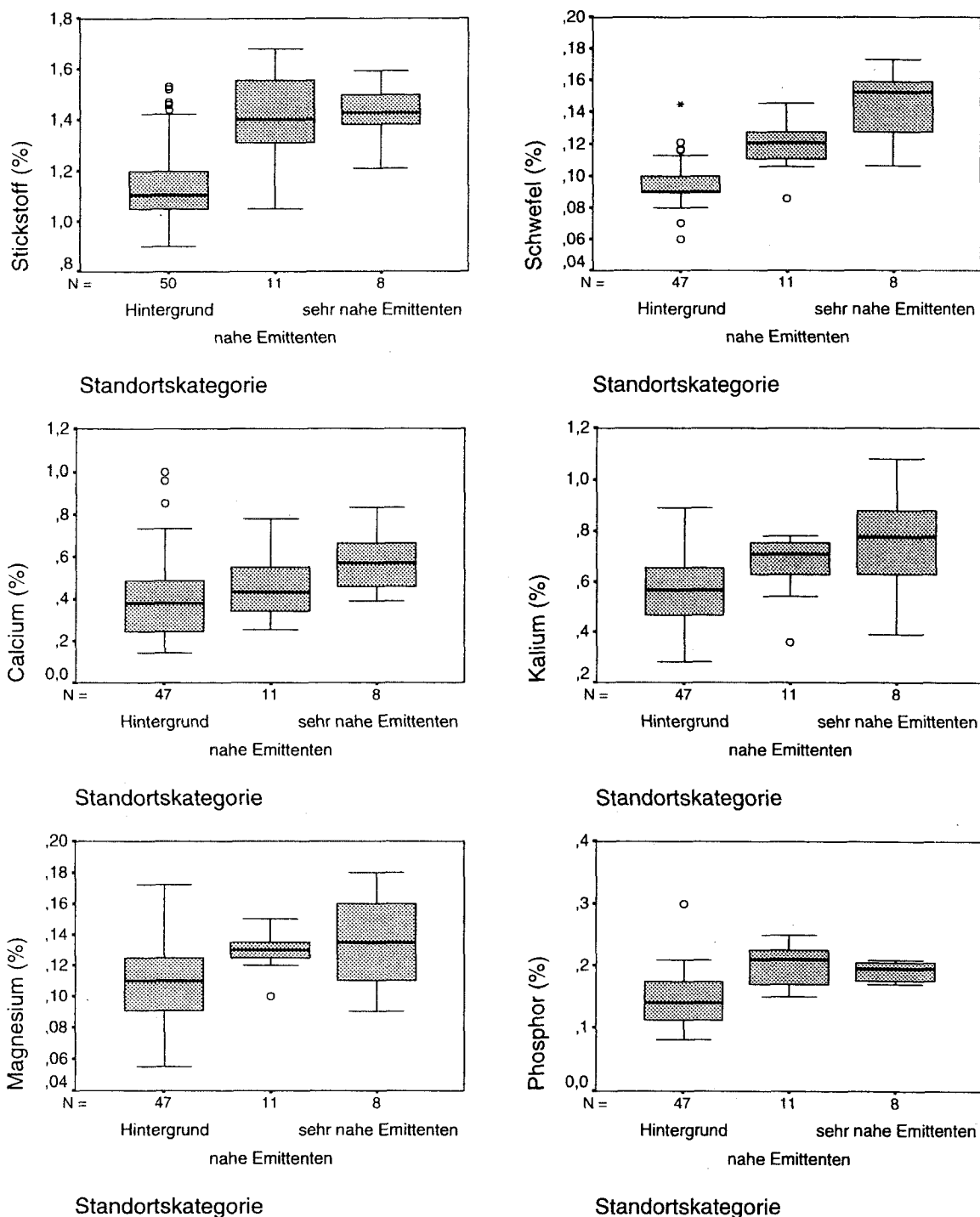


Abb. 18: Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Leoben/Donawitz (Fortsetzung nächste Seite).

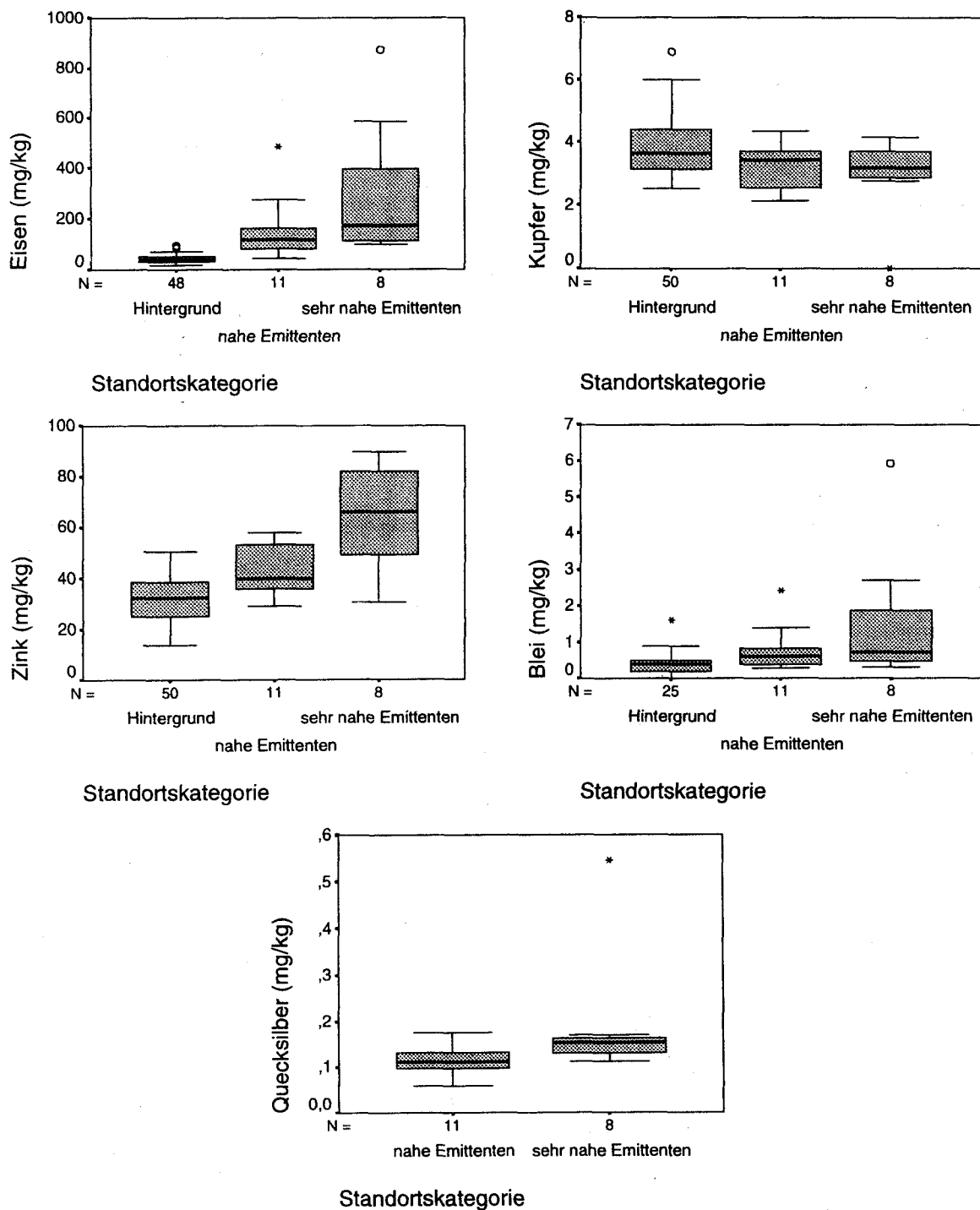


Abb. 18: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Leoben/Donawitz.

4.4.3.2 Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern

Zwischen der Wachsqualität und den Mangangehalten der Nadeln konnte eine schwach ausgeprägte, signifikant negative Beziehung identifiziert werden – mit Abnahme der Wachsqualität nehmen auch die Mangangehalte tendenziell ab (Abb. 19). Ein dazu konträres Ergebnis – nämlich eine positive Korrelation – zeigte die Untersuchung von 25 österreichischen Hintergrundstandorten (TRIMBACHER ET AL., 1995). Es ist nicht bekannt, ob es einen kausalen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern gibt oder nicht. Die gegenläufigen Ergebnisse der beiden Untersuchungen sprechen eher dagegen.

Zwischen der Epibiontenbelegung der Nadeln und den Quecksilbergehalten konnte eine ebenfalls signifikant positive Beziehung gefunden werden (Abb. 19). Eine kausale Erklärung für dieses Ergebnis bietet sich nicht an.

Bemerkenswert sind die zahlreichen signifikant positiven Korrelationen zwischen den Nadelgehalten der untersuchten Nähr- und Schadstoffe. In Abbildung 19 werden nur jene dargestellt, die einen PEARSON-Korrelationskoeffizienten (r) größer 0,5 aufweisen (nicht normalverteilte Variablen wurden vor dessen Berechnung log-transformiert, erkennbar an der Skalierung in Abb. 19). Als Leitelemente, deren höhere Gehalte auf einen stärkeren Einfluß der Hütte Donawitz hindeuten, bieten sich Schwefel und Eisen an. Im Rahmen des verdichteten Bioindikatornetzes zeigten sich im Raum Leoben immer wieder die höchsten Schwefelgehalte im Nahbereich der Hütte (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1994). Bei Eisen zeigen die Erfahrungen eines umfangreichen Biomonitoringprogrammes im Raum Linz, daß im Areal und näheren Umkreis der dortigen Stahlhütte erhöhte Eisengehalte feststellbar sind (WIMMER, 1998, pers. Mitteilung). Die Gehalte beider Elemente weisen eine signifikant positive Korrelation auf. Diese beiden Elemente sind aber auch mit einer Reihe von anderen Elementen positiv korreliert, u.a. mit den Schadstoffen Cadmium, Blei und Quecksilber (Abb. 20). Besonders auffällig sind die straffen Zusammenhänge zwischen den Elementen Eisen und Blei, aber auch Eisen und Quecksilber. Es liegt auf der Hand, höhere Gehalte dieser Elemente in den Nadeln mit denselben Ursachen – nämlich der Hütte Donawitz – in Verbindung zu bringen. Damit wird aber auch deutlich, daß emissionsmindernde Maßnahmen in diesem Betrieb die Belastungssituation der Region entscheidend verringern könnten. Ein vergleichsweise straffer positiver Zusammenhang zeigte sich auch zwischen den Gehalten an Zink und Cadmium (Abb. 20). Beide Elemente sind natürlicherweise vergesellschaftet, weshalb sie häufig auch gemeinsam emittiert werden (MERIAN, 1984).

Die Gruppe der Standorte, bei denen Staub auf den Spaltöffnungen detektiert werden konnte, zeigte bei den Elementen Schwefel, Zink, Kupfer, Blei und Quecksilber signifikant höhere Gehalte als die Gruppe von Standorten ohne Staubbelegung (Abb. 21). Offenbar ist eine höhere Belastung mit diesen Elementen auch mit einer höheren Staubbelastung vergesellschaftet. Es ist anzunehmen, daß die erhöhten Gehalte teilweise auch auf den den Nadeln anlagernden Staub zurückzuführen sind.

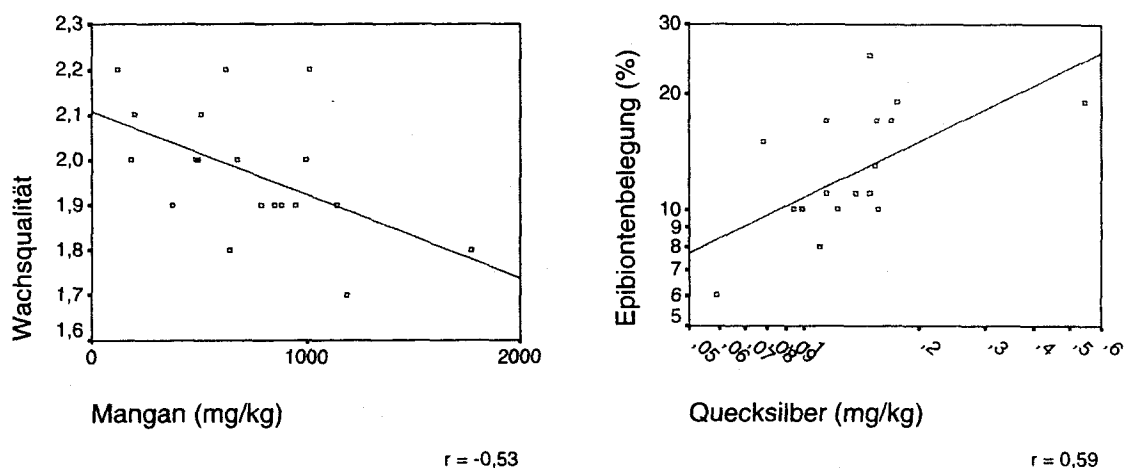


Abb. 19: Zusammenhänge zwischen Nadeloberflächenparametern und Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz.

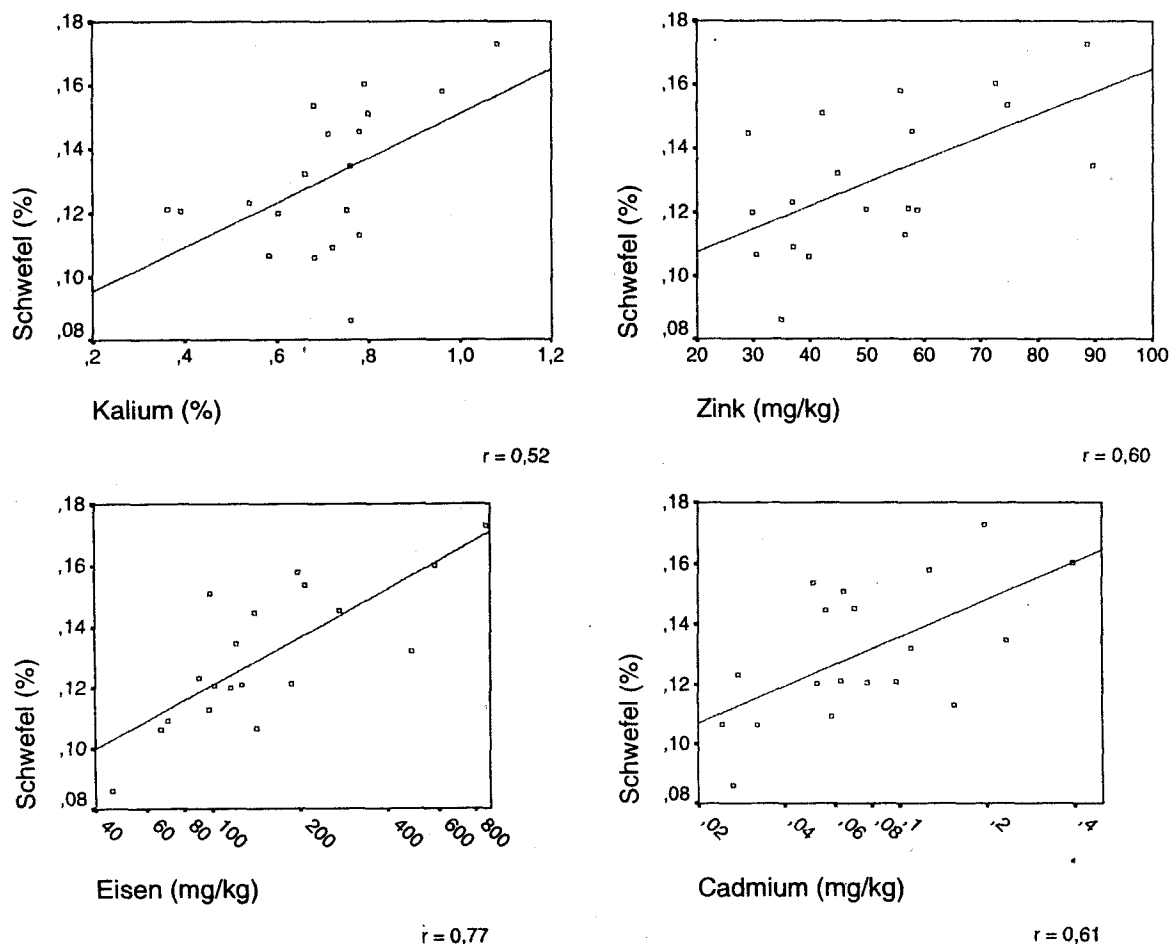
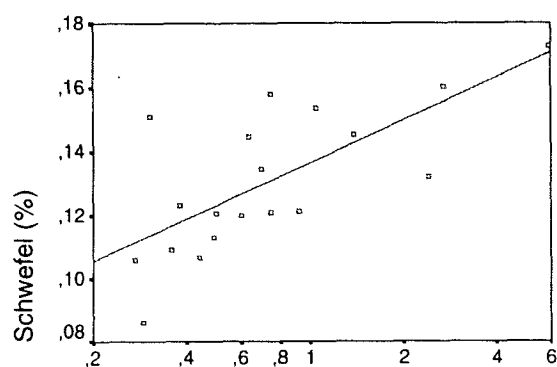
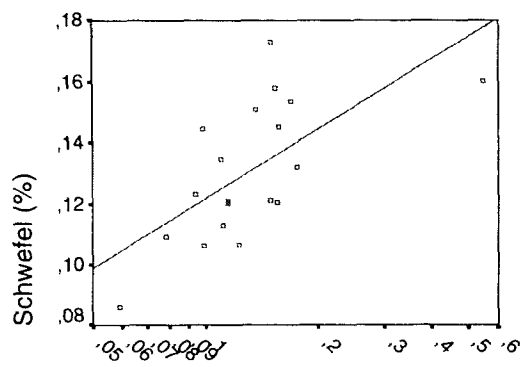


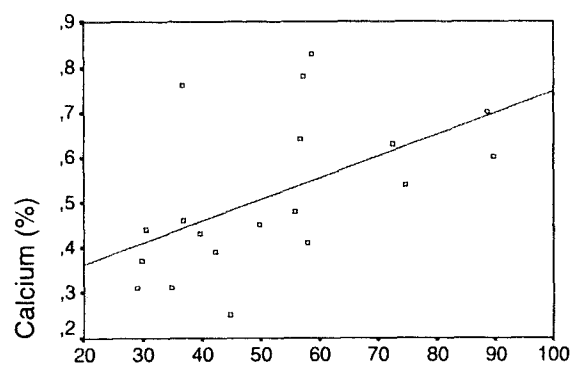
Abb. 20: Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz (Fortsetzung nächste Seite!).



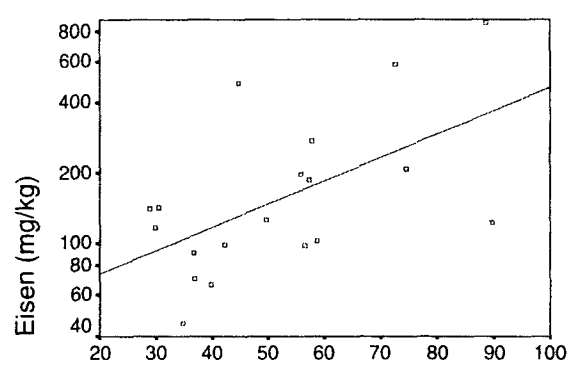
Blei (mg/kg)

 $r = 0,70$ 

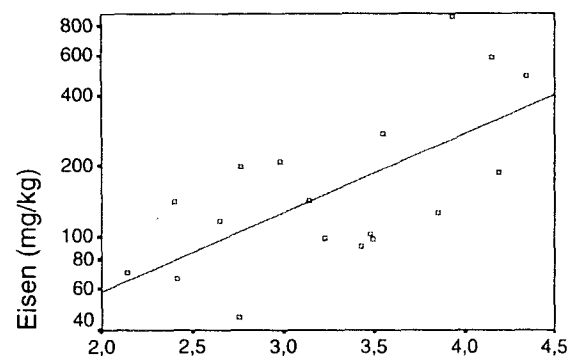
Quecksilber (mg/kg)

 $r = 0,65$ 

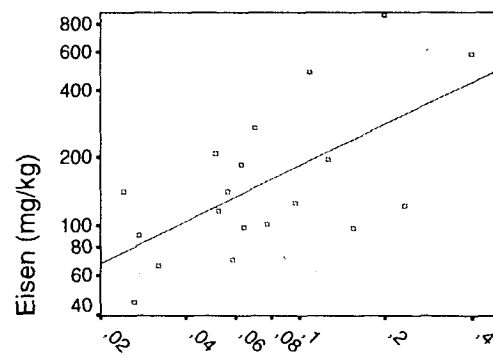
Zink (mg/kg)

 $r = 0,53$ 

Zink (mg/kg)

 $r = 0,57$ 

Kupfer (mg/kg)

 $r = 0,66$ 

Cadmium (mg/kg)

 $r = 0,63$

Abb. 20: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz (Fortsetzung nächste Seite!).

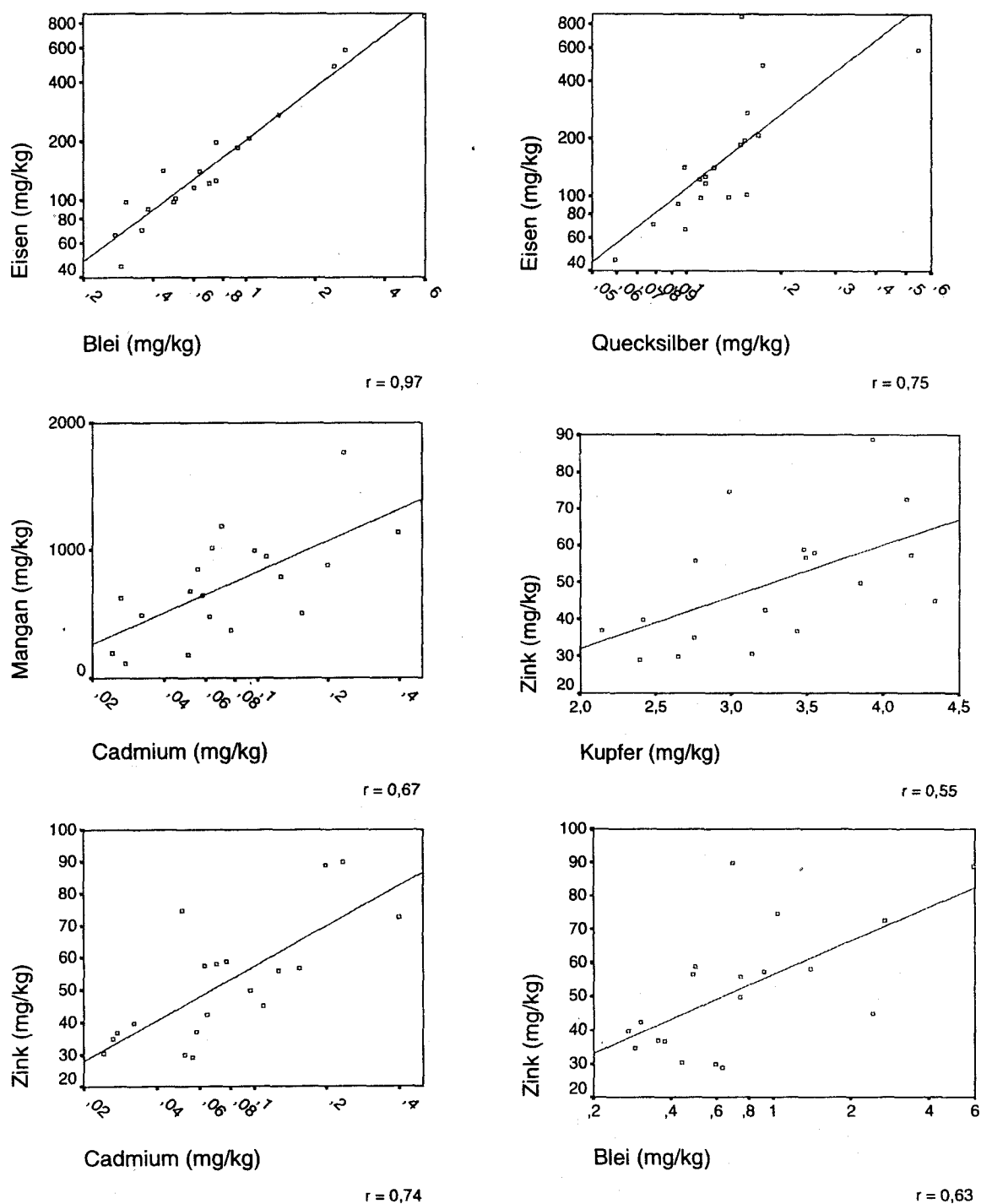


Abb. 20: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz (Fortsetzung nächste Seite!).

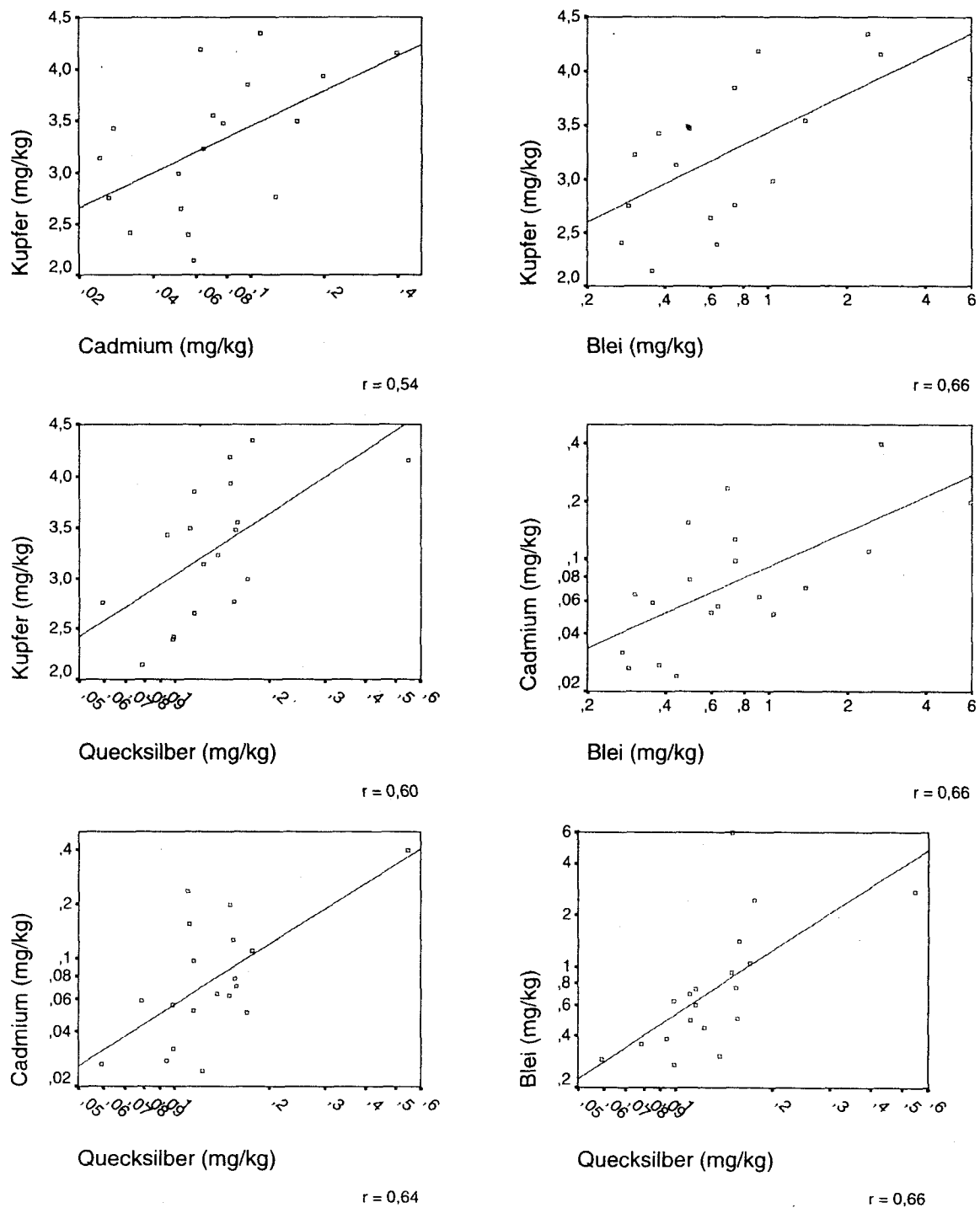


Abb. 20: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz.

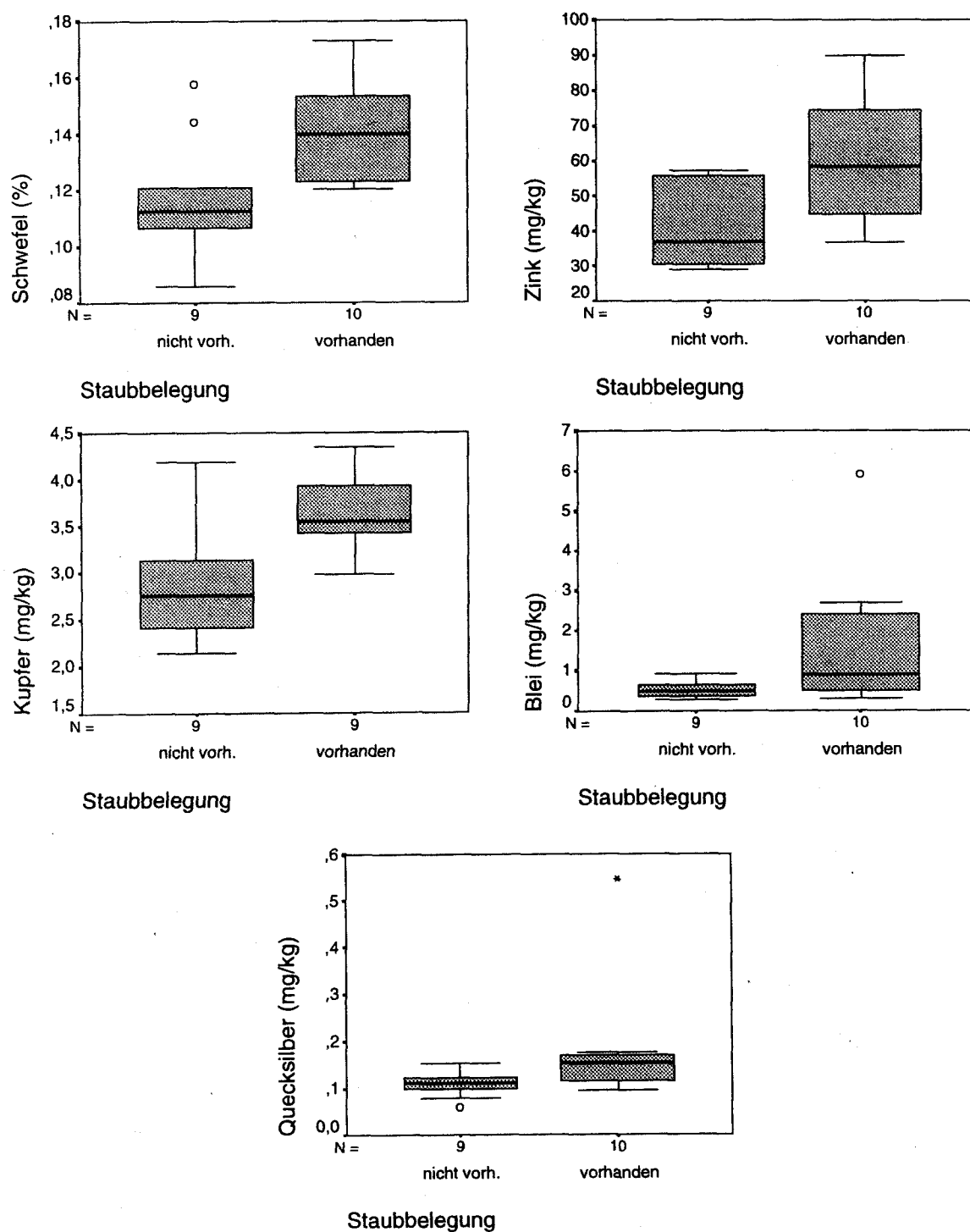


Abb. 21: Boxplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz getrennt nach Gruppen mit und ohne Staubbelegung auf den Spaltöffnungen.

4.4.4 Zusammenfassung der Ergebnisse für Leoben

Die Ergebnisse der Nadelanalysen zeigten bedenklich erhöhte Gehalte für mehrere Schadstoffe und bestätigen, daß der Raum Leoben/Donawitz nach wie vor zu den stärksten belasteten Regionen Österreichs zählt. Besonders hervorzuheben in diesem Zusammenhang sind die erhöhten Schwefel-, Fluor-, Blei- und Quecksilbergehalte der Nadeln. Ein im Nahbereich der Hütte Donawitz gelegener Standort wies einen derart hohen Quecksilbergehalt auf, daß *Anlaß zu weiterem Handlungsbedarf besteht. Nach Ansicht des Umweltbundesamtes sollten daher im Umkreis der Hütte Donawitz Futtermittel und pflanzliche Nahrungsmittel landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzter Flächen auf deren Quecksilbergehalte untersucht werden.* Aufgrund der Nähe höher belasteter Standorte zur Stahlhütte, statistisch absicherbarer Zusammenhänge mit den Gehalten von stahlwerkstypischen Leitelementen wie beispielsweise Eisen, sowie den Erfahrungen aus anderen Untersuchungsprogrammen steht fest, daß die Hütte Donawitz – bei Quecksilber im speziellen die Sinteranlage - die Ursache für die erhöhten Gehalte zahlreicher Elemente in den Nadeln darstellt. Weitere emissionsmindernde Maßnahmen werden empfohlen.

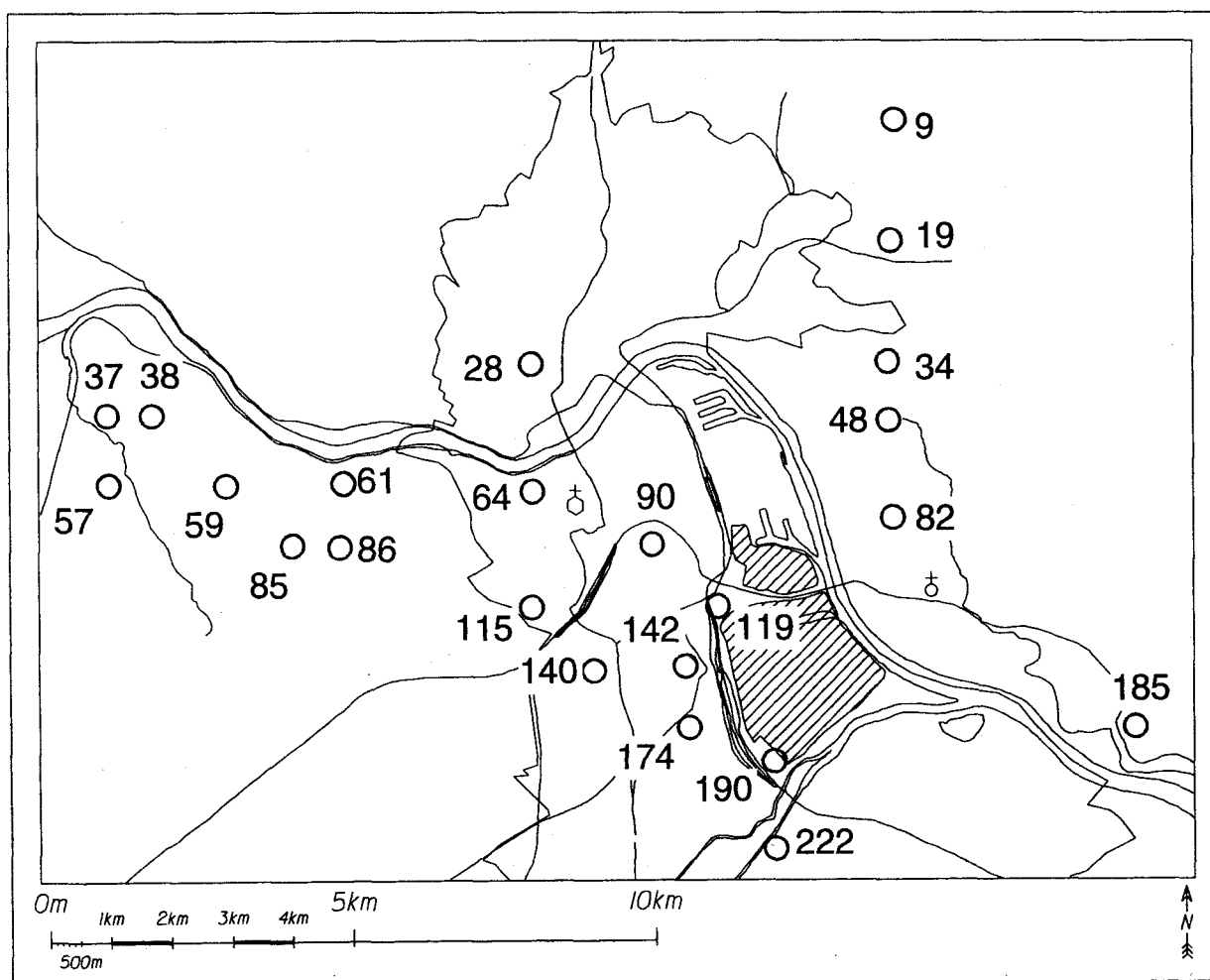
Neben den Elementen mit Schadstoffcharakter wurden auch vergleichsweise höhere Nähr-elementgehalte festgestellt. Anhand elementspezifischer Auswertungen von Partikeln des den Nadeln anlagernden Staubes wurde festgestellt, daß diese vergleichsweise höheren Gehalte teilweise auf Staubauflagerungen zurückzuführen sind und nicht auf die Gehalte *in* den Nadeln. Somit täuschen die Nadelgehalte dieser Elemente eine bessere Ernährungsversorgung als die tatsächliche vor.

4.5 Linz

4.5.1 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, Magdalenaberg und Hagerberg und im Osten der Pfenningberg. 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 Halbbeckengeographie 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).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Linz.

4.5.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Linz stellt mit rund 200.000 Einwohnern und den 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 SO_2 , Staub, NO_x , Ammoniak, Fluorwasserstoff, Schwermetalle und verschiedene organische Schadstoffe zu erwarten. Durch Maßnahmen der Linzer Industrie in den Jahren 1990 bis 1995 konnte eine Reduktion der genannten Schadstoffemissionen erzielt werden.

4.5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die Erhebungen der Nadeloberflächenparameter erfolgte im Rahmen eines umfangreichen Biomonitoringprogrammes in Zusammenarbeit mit der Oberösterreichischen Umweltschutzbehörde sowie dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung – Landesforstinspektion. Im Zuge dieses Monitoringprogrammes wurden auch Elementgehalte der Nadeln an den vorliegenden Untersuchungsstandorten im Rahmen eines dichten Rasters von mehr als 200 Standorten im Raum Linz erhoben. Diese Ergebnisse befinden sich derzeit in Ausarbeitung und werden in einer eigenen Publikation des Umweltbundesamtes gemeinsam mit der Oberösterreichischen Umweltschutzbehörde sowie dem Amt der Oberösterreichischen Landesregierung/Landesforstinspektion herausgegeben werden. Neben einer Interpretation der Elementgehalte werden auch identifizierte Zusammenhänge zwischen den Nadeloberflächenparametern und den Elementgehalten der Nadeln dort dargestellt werden. Die hier dargestellten Ergebnisse umfassen die bisherigen Auswertungen zu den Nadeloberflächenparametern.

Es wurden Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 von insgesamt 23 Standorten dieses Untersuchungsrastrs entlang von Belastungsgradienten (Prallhänge bis ländliche Bereiche) im Großraum Linz rasterelektronenmikroskopisch untersucht. Es wurde die Wachsqualität quantitativ sowie die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Staub und/oder Epibionten semi-quantitativ analysiert. Besonderes Augenmerk wurde auf detektierbare Flugaschepartikel und Gipskristalle gelegt, die hinsichtlich ihrer elementaren Zusammensetzung mittels EDX analysiert wurden.

4.5.3.1 Kürnberger Wald

Fichtennadeln von sieben Standorten aus dem westlich des Stadtgebietes befindlichen Kürnberger Wald wurden für die Untersuchung der Nadelwachse ausgewählt. Dabei handelt es sich um die Standorte L 37, L 38, L 57, L 59, L 61, L 85 und L 86 (siehe Lageskizze). Die Wachsqualität der untersuchten Fichtennadeln lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) und 2,4 (leicht beeinträchtigt). Die leichte Beeinträchtigung der Stomatawachse lässt sich an diesen Waldstandorten in erster Linie auf natürliche Ursachen wie Wind oder Regen zurückführen, die ebenfalls einen mechanischen Abrieb der Nadelwachse bewirken können. Derartige Wachsdegradationen sind an rekristallisierten Wachstubuli erkennbar (Abb. 22).

Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Staubpartikeln lag bei 0%. Auf der dazwischenliegenden Nadeloberfläche außerhalb des Spaltöffnungsbereiches wurden am Probepunkt L 61 vereinzelt cenosphärische Rußpartikel detektiert und am Probepunkt L 86 vereinzelt Gipskristalle sowie glatte, sphärische aluminium- und siliziumhaltige Flugaschepartikel (siehe Tab. 15). Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibionten lag im Bereich von 7% und 67%.

4.5.3.2 Stadtgebiet

Fichtennadeln der im Stadtgebiet von Linz befindlichen Probepunkte L 28 (Urfahr), L 64, L 90, L 115, L 119, L 140, L 142, L 174, L 190 und L 222 des Untersuchungsrastrs wurden rasterelektronenmikroskopisch hinsichtlich Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung analysiert. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,6 (leicht beeinträchtigt).

Tab. 15: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staub- und Epibiontenbelegung der Nadeln im Untersuchungsraum Linz.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
L 9	2,8 ± 1,22	3	28
L 19	2,1 ± 1,00	0	17
L 28	1,7 ± 0,47	0	11
L 34	2,5 ± 1,21	0	9
L 37	2,3 ± 0,91	0	17
L 38	2,4 ± 0,62	0	67
L 48	3,2 ± 1,29	0	14
L 57	2,1 ± 0,87	0	11
L 59	1,9 ± 0,54	0	7
L 61	2,1 ± 0,84	0	21
L 64	2,6 ± 0,95	0	24
L 82	2,2 ± 1,06	0	26
L 85	2,4 ± 0,84	0	28
L 86	2,0 ± 0,73	0	15
L 90	2,1 ± 0,62	0	22
L 115	2,0 ± 0,63	0	13
L 119	2,0 ± 0,38	4	25
L 140	2,0 ± 0,75	10	10
L 142	2,1 ± 0,75	28	22
L 174	1,6 ± 0,31	2	7
L 185	2,0 ± 0,57	3	11
L 190	2,0 ± 0,79	21	8
L 222	2,0 ± 0,87	6	13
<i>MW</i>	2,18	-	19
<i>Median</i>	2,10	0	15
<i>Minimum</i>	1,60	0	7
<i>Maximum</i>	3,20	28	67

Die Staubbelegung im Spaltöffnungsbereich reichte von 0% bis 28%. An fast allen Standorten wurden zum Teil sehr häufig Gipskristalle, verschiedene Flugaschepartikel (hauptsächlich eisen- oder aluminium/siliziumhaltig und Rußteilchen) sowie amorphe Staubaggregate mit unterschiedlichen Metallen (vorwiegend Eisen, Chrom, Mangan und Zink) detektiert (Abb. 23 - 25). Sowohl die Glasphasen (AlSi-hältige sphärische Partikel mit glatter Oberfläche und rd. 3 µm Durchmesser) als auch die regelmäßig auf den Nadeln des Linzer Stadtgebietes beobachteten sphärischen Fe-Partikel sind technogenen Ursprungs. Letzterer Partikeltypus, der auch stets Spuren anderer metallischer Komponenten wie Mn, Cr oder Zn aufweist, entsteht vermutlich bei Hochtemperaturprozessen in der Edelstahlproduktion. Ähnliche Beobachtungen wurden bei der mineralogischen Untersuchung von LD-Stäuben aus Leoben/Donawitz gemacht (NEINAVAI, 1998, pers. Mitteilung).

4.5.3.3 Pfenningberg

Für die Nadeln der Standorte L 9, L 19, L 34, L 48 und L 82 ergaben die rasterelektronenmikroskopischen Analysen eine Wachsqualität zwischen 2,1 (leicht beeinträchtigt) und 3,2 (mittelstark beeinträchtigt). Die Wachsdegradationen waren auch hier, vergleichbar mit Nadeln aus dem Kürnberger Wald zum Teil mechanisch bedingt. Dies gilt vor allem für den Standort L 48 mit einer Wachsqualität von 3,2. Auch am Standort L 9 (Hagerberg) wurden, wenn auch im geringeren Maße, mechanische Beeinträchtigungen der Nadelwachse beobachtet. Immissionseinflüsse können aber auch hier nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war relativ gering und lag im Bereich von 0% bis 3%. Auf den Nadeloberflächen des Probepunktes L 9 (Hagerberg nord-östl. von Linz, ca. 645 m Seehöhe) wurden im interstomatären Bereich vereinzelt sphärische Eisenpartikel und glatte, sphärische Aluminiumsilikatpartikel detektiert. Letztere wurden auch auf der Nadeloberfläche des Standortes L 34 am Pfenningberg verzeichnet. Wie bereits eingangs erwähnt (vgl. Kap. 4.5.3.2), sind derartige Flugaschepartikel technogenen Ursprungs und lassen daher an den beiden genannten Standorten doch auch eine Beeinflussung aus dem Linzer Stadt- und Industriegebiet vermuten.

Die Epibiontenbelegung lag zwischen 9% und 28%.

Nadeln des östlich des Stadtgebietes am Luftenberg in rd. 400 m Seehöhe befindlichen Standortes L 185 wiesen eine Wachsqualität von 2,0 auf. Dieser Wert entspricht weitgehend unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Die Staubbelegung lag bei 3%. Vereinzelt wurden auf den Nadeln sowohl eisenhaltige Flugaschepartikel als auch Aluminiumsilikatteilchen detektiert. 11% der untersuchten Spaltöffnungen wiesen eine Belegung mit Epibionten auf.

Tab. 16: Belegung der Nadeln mit Gipskristallen, div. Flugaschepartikeln (sphärische Eisenpartikel, Aluminiumsilikatpartikel, cenosphärische Rußpartikel) und amorphen Staubaggregaten im Untersuchungsraum Linz.

Probepunkt	Flugaschepartikel				Amorphe Staubaggregate
	Gips	Fe	AlSi	Ruß	
L 9	0	x	x	0	0
L 19	0	0	0	0	0
L 28	0	0	0	0	0
L 34	0	0	x	0	0
L 37	0	0	0	0	0
L 38	0	0	0	0	0
L 48	0	0	0	0	0
L 57	0	0	0	0	0
L 59	0	0	0	0	0
L 61	0	0	0	x NO	0
L 64	0	0	0	0	0
L 82	0	0	0	0	0
L 85	0	0	0	0	0
L 86	x NO	0	x NO	0	0
L 90	x NO	0	x NO	x NO	Cr, Mn, Fe
L 115	xx NO	xx NO	xx NO	x NO	0
L 119	x	xx	xx	0	0
L 140	xxx	xx	xx	x	0
L 142	xxx	xxx	xxx	x	Mn, Zn
L 174	xxx	x	x	0	0
L 185	0	x	x	0	0
L 190	xxx	xxx	xxx	0	Cl, Mn
L 222	xx	x	0	0	0

0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig
 NO...Nadeloberfläche außerhalb des Spaltöffnungsbereichs

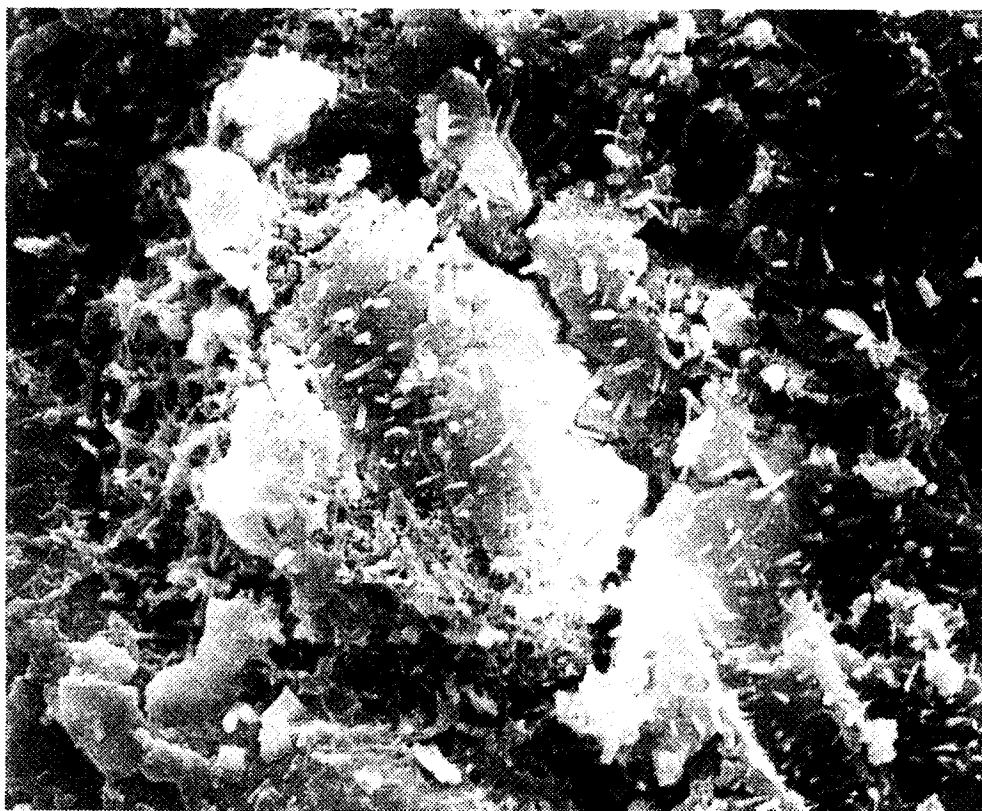


Abb. 22: PP. L 38/Kürnberger Wald bei Linz, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit mechanisch beeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 23: PP. L 140/Stadtgebiet Linz, REM-Aufnahme eines Nadelbereichs mit zahlreichen Gipsrosen. Vergrößerung: 750fach.

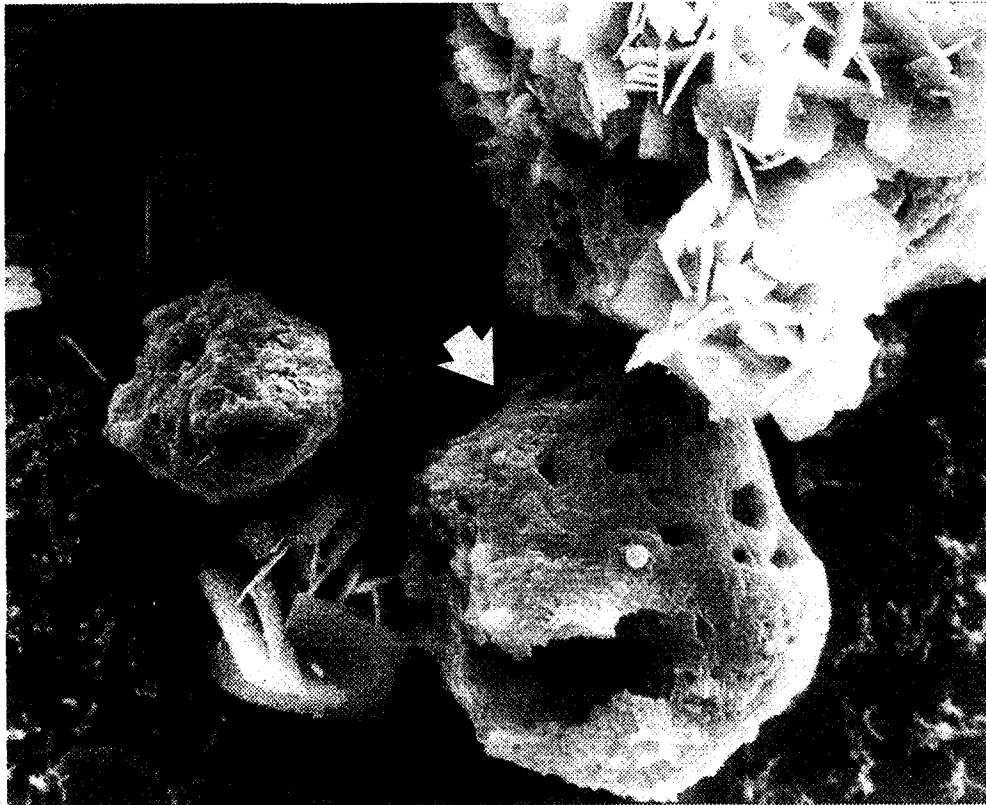


Abb. 24: PP. L 140/Stadtgebiet Linz, Detail aus Abb. 21, Nadelbereich mit Gipskristallen und einem cenosphärischen Rußpartikel (Pfeil). Vergrößerung: 3000fach

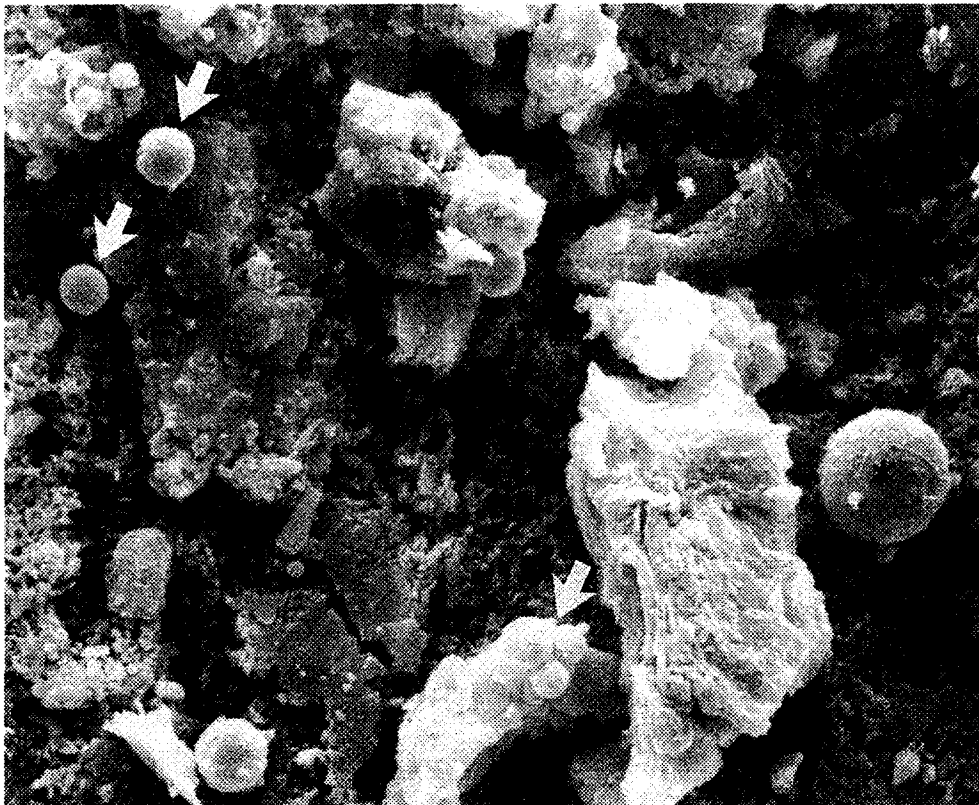


Abb. 25: PP. L 142/Stadtgebiet Linz, REM-Aufnahme eines Spaltöffnungsbereiches mit massiver Staubbelegung. Neben amorphem Staub treten auch Glasphasen (Pfeile) und spärliche Eisenpartikel (*) auf. Vergrößerung: 3000fach.

4.5.3.4 Vergleiche nach Standortskategorien und Zusammenhänge zwischen den Nadeloberflächenparametern

In einer vorangegangenen Publikation wurde dargestellt, daß Standorte im Raum Linz eine signifikant schlechtere Wachsqualität aufweisen als Hintergrundstandorte (TRIMBACHER & WEISS, 1997). Vergleicht man die Wachsqualität der Linzer Standorte aus der Beprobung 1996 mit den Ergebnissen für 25 österreichische Hintergrundstandorte, wie sie für die Jahre 1993 und 1995 vorliegen (TRIMBACHER ET. AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997), so zeigt sich eine signifikant schlechtere Wachsqualität für den Raum Linz (Abb. 26). Bemerkenswert ist jedoch, daß bei einer Einteilung der Linzer Standorte in die Gruppen „sehr nahe Emittenten“ (nahe der Großindustrie und im dichtbesiedelten Stadtgebiet) und „nahe Emittenten“ (v.a. Standorte der umliegenden Waldgebiete) die Gruppe „nahe Emittenten“ eine signifikant schlechtere Wachsqualität aufweist als die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ (Abb. 27). Offenbar sind in den Randlagen zum Stadtgebiet Linz stärkere wachsschädigende Einflüsse wirksam als im dichtbesiedelten Raum und nahe der Großindustrie. Vor allem an den Standorten des Kürnberger Waldes waren mechanische Beeinflussungen der Nadelwachse zu erkennen, die auf verschiedene Witterungsphänomene zurückzuführen sind (siehe auch Kap. 4.5.3.1). Es handelt sich dabei nicht um immissionsbedingte Einflüsse und sie stehen daher auch nicht in Zusammenhang mit der Schwefel- und Staubbelastung der Standorte - indikativ durch die Staub- und Gipskristallbelegung dargestellt. Im Gegensatz zur Wachsqualität zeigte sich nämlich, daß – den Erwartungen entsprechend – die Gruppe der Standorte „sehr nahe Emittenten“ einen statistisch absicherbar höheren Anteil an Standorten mit Staubbelastung und Gipskristallen auf den Nadeln aufweist als die Gruppe „nahe Emittenten“ (Tab. 17 und 18). Aus diesen Ergebnissen ergibt sich auch, daß jene Gruppe von Linzer Standorten ohne Gipskristallen auf den Fichtennadeln sogar eine signifikant schlechtere Wachsqualität aufweist als die Gruppe mit Gipskristallen auf den Nadeln (Abb. 27). Einen in Betracht zu ziehenden zusätzlichen Hinweis auf schlechtere Wachsqualitäten von Linzer Randlagen könnte die Epibiontenbelegung darstellen. Zum einen weisen die Nadeloberflächen der Standorte im Raum Linz eine signifikant höhere Epibiontenbelegung als Hintergrundstandorte auf (Abb. 28). Weiters konnte eine zwar schwach ausgeprägte, aber signifikant positive Korrelation zwischen der Epibiontenbelegung der Nadeln und der Wachsqualität festgestellt werden (Abb. 28).

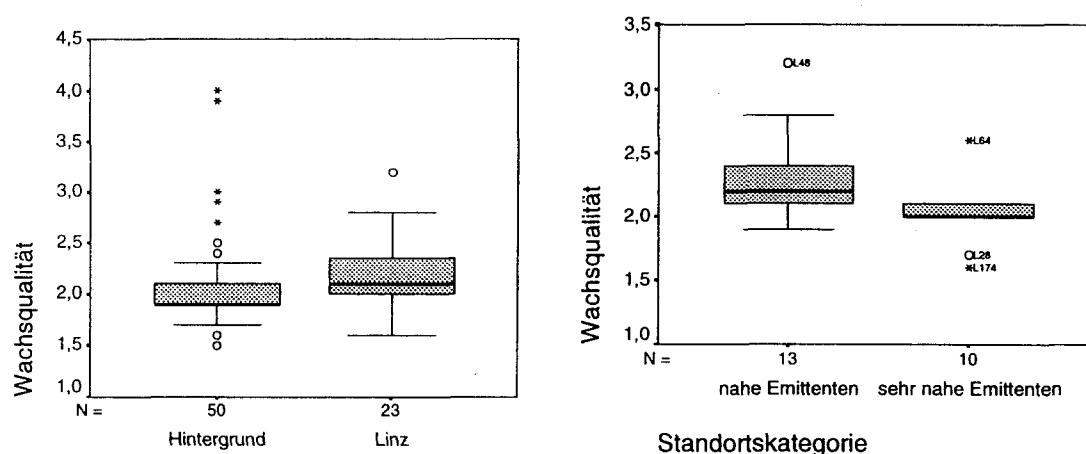


Abb. 26: Boxplots zur Wachsqualität der Fichtennadeln (1. Njg.) von österreichischen Hintergrundstandorten und von Linzer Standorten (links) und von Linzer Standorten getrennt nach Standortskategorien (rechts).

Nach diesen Ergebnissen wäre auch die Möglichkeit zu prüfen, ob die Tätigkeit von Organismen eine Ursache für die schlechtere Wachstumsqualität der Linzer Randlagen darstellen könnte. Weitere, eventuell konkretere Hinweise auf mögliche Ursachen sind aus den Auswertungen der Nadeloberflächenparameter in Zusammenhang mit den Elementgehalten der Nadeln zu erwarten.

Tab. 17: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Linzer Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Gipskristalle auf den Spaltöffnungen der Fichtennadeln (1. Njg.) nicht bzw. vorhanden waren.

		Gipskristalle		Total
		nicht vorhanden	vorhanden	
nahe Emittenten	n	12	1	13
	% innerhalb Standortskategorie	92,3%	7,7%	100,0%
sehr nahe Emittenten	n	2	8	10
	% innerhalb Standortskategorie	20,0%	80,0%	100,0%
Total	n	14	9	23
	% innerhalb Standortskategorie	60,9%	39,1%	100,0%

Tab. 18: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Linzer Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Staub auf den Spaltöffnungen der Fichtennadeln (1. Njg.) nicht bzw. vorhanden war.

		Staub		Total
		nicht vorhanden	vorhanden	
nahe Emittenten	n	11	2	13
	% innerhalb Standortskategorie	84,6%	15,4%	100,0%
sehr nahe Emittenten	n	4	6	10
	% innerhalb Standortskategorie	40,0%	60,0%	100,0%
Total	n	15	8	23
	% innerhalb Standortskategorie	65,2%	34,8%	100,0%

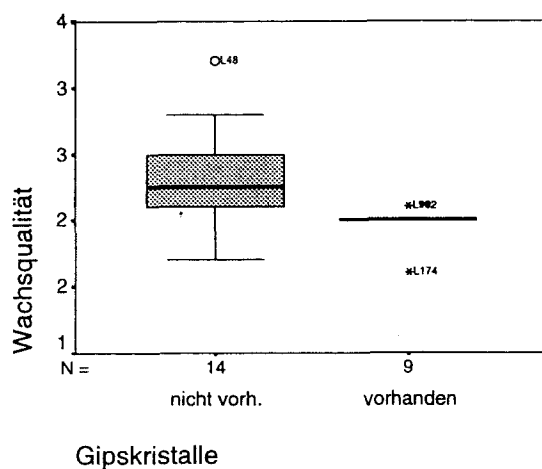


Abb. 27: Boxplots zur Wachsqualität der Fichtennadeln (1. Njg.) von Linzer Standorten getrennt nach Standorten mit und ohne Gipskristallen auf den Nadeln.

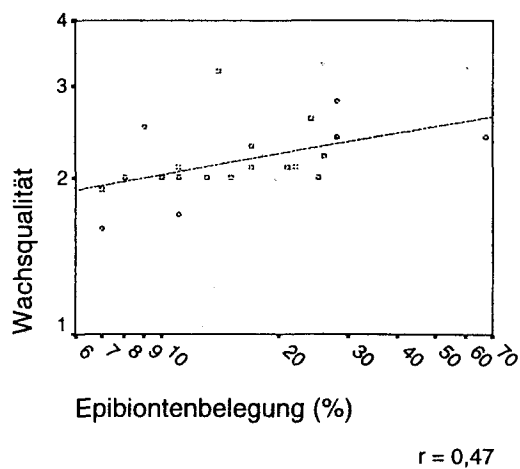
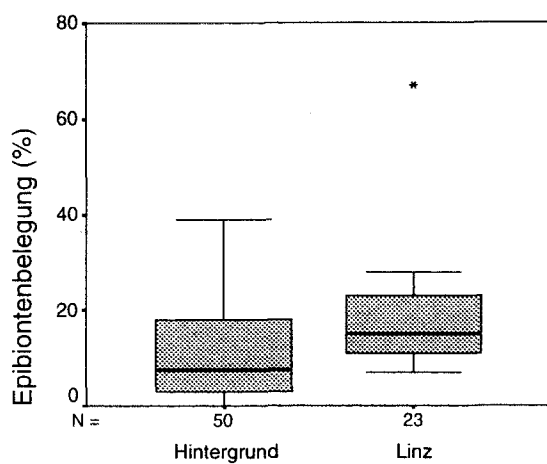


Abb. 28: Boxplots zur Epibiontenbelegung der Fichtennadeln (1. Njg.) von österreichischen Hintergrundstandorten und von Linzer Standorten (links) und Zusammenhang zwischen Epibiontenbelegung und Wachsqualität Linzer Standorte (rechts).

4.6 Treibach

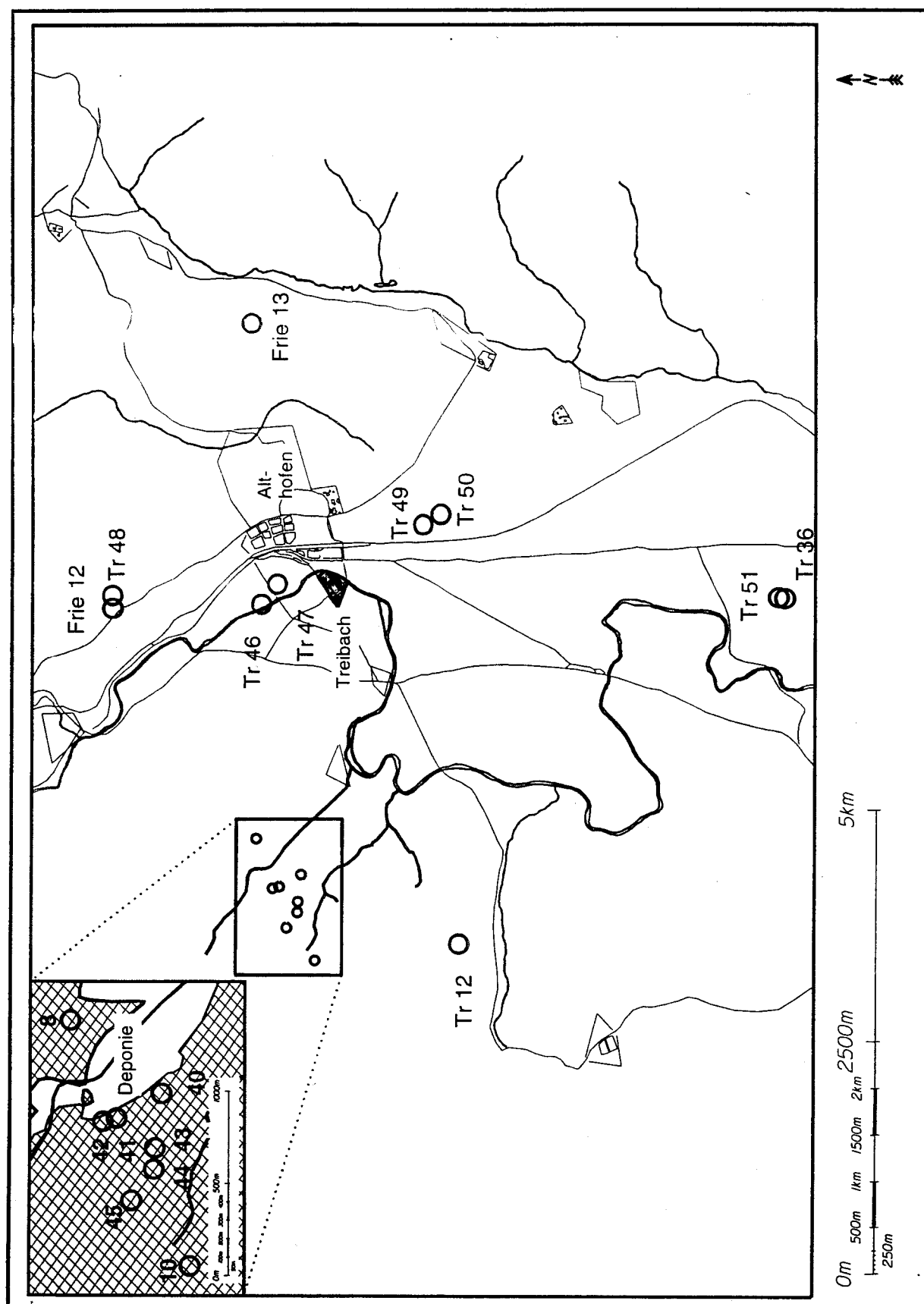
4.6.1 Lage und Klima

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 (KOFLER 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.

4.6.2 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 Ferrolegierungen, Vorlegierungen, 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 Fluoremissionen belastet. In den werksnahen Staubbiederschlägen wurden hohe Konzentrationen an Nickel, Molybdän, Vanadium, Chrom und Kobalt gefunden (VOGEL ET AL., 1991). Die Bodenbelastung lag in Werksnähe bei den Elementen Nickel, Vanadium und Molybdän 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 (KOFLER 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.

4.6.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Einjährige Fichtennadeln von fünf Probepunkten aus dem Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen wurden bereits 1995 hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Wachststrukturen als auch der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen analysiert (TRIMBACHER, 1996; TRIMBACHER & WEISS, 1997). Die Ergebnisse waren Anlaß dafür, auch Fichtennadeln der folgenden Vegetationsperiode (1. Nadeljahrgang 1996) zu untersuchen und die Anzahl der Probepunkte zu verdichten. Es wurden auch Fichtennadeln von acht Probepunkten nahe einer in St. Kosmas befindlichen Deponie der Treibacher Industrie AG untersucht.

Tab. 19: Wachstqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Treibach.

Probepunkt	Wachstqualität	Staub %	Epibionten %
Frie 12	1,8 ± 0,53	0	17
Frie 13	2,0 ± 0,43	0	10
Tr 8	1,9 ± 0,60	3	19
Tr 10	2,0 ± 0,69	1	3
Tr 12	1,8 ± 0,63	4	18
Tr 36	2,0 ± 0,68	1	17
Tr 40	1,9 ± 0,70	8	17
Tr 41	2,0 ± 0,70	6	24
Tr 42	2,3 ± 0,99	40	30
Tr 43	1,8 ± 0,76	8	6
Tr 44	1,7 ± 0,44	0	3
Tr 45	2,0 ± 0,41	0	7
Tr 46	1,8 ± 0,50	0	29
Tr 47	1,9 ± 0,48	0	17
Tr 48	2,1 ± 0,83	1	25
Tr 49	2,1 ± 0,63	1	22
Tr 50	2,2 ± 0,93	7	14
Tr 51	1,7 ± 0,46	0	10
<i>MW</i>	1,94	-	16
<i>Median</i>	1,95	1	17
<i>Minimum</i>	1,70	0	3
<i>Maximum</i>	2,30	40	30

Die Wachsqualität der insgesamt 18 Probepunkte lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt). In Abb. 29 ist eine Spaltöffnung des Punktes Tr 44 mit intakten Stomatawachsen dargestellt. Mit Ausnahme der im Nahbereich der Deponie gelegenen Probepunkte war die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen sehr gering. Die Belegung der Nadeln mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen (Epibionten) lag im Bereich von 3% bis 30%.

Das an Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 des im Wolschartwald befindlichen Probepunktes Tr 36 beobachtete Phänomen vollständig fehlender Wachsstrukturen in den Spaltöffnungen wurde 1996 nicht festgestellt. Mit einem Wert von 2,0 war die Wachsqualität weitgehend unbeeinträchtigt. Auch die Nadeln des in der Nähe gelegenen Punktes Tr 51 wiesen ebenfalls unbeeinträchtigte Wachsstrukturen auf.

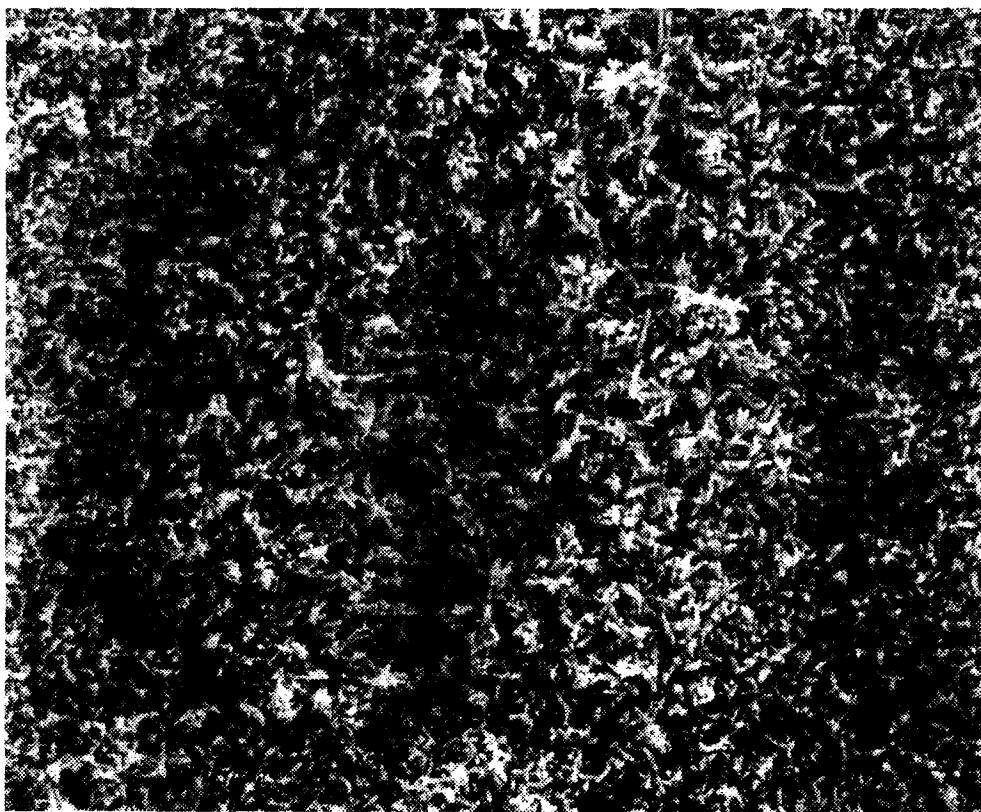


Abb. 29: PP. Tr 44/Treibach, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen, Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 30: PP. Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftendem Fremdstaub. Vergrößerung: 300fach.

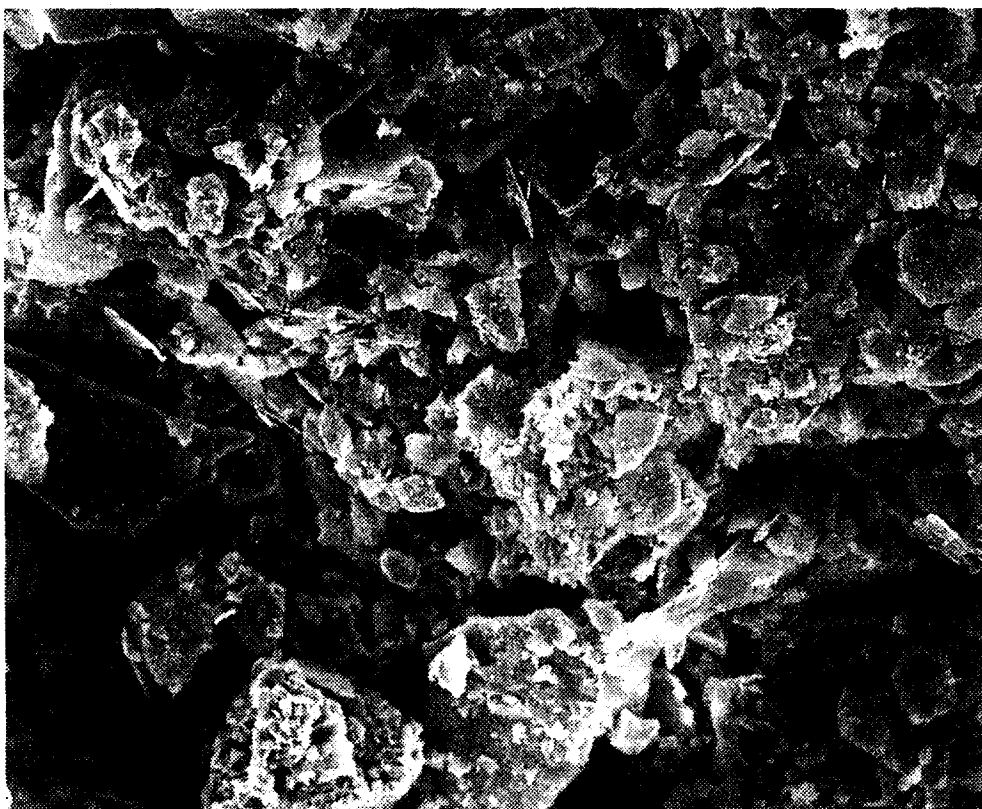


Abb. 31: PP. Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme von Staub, Detail. Vergrößerung: 700fach.

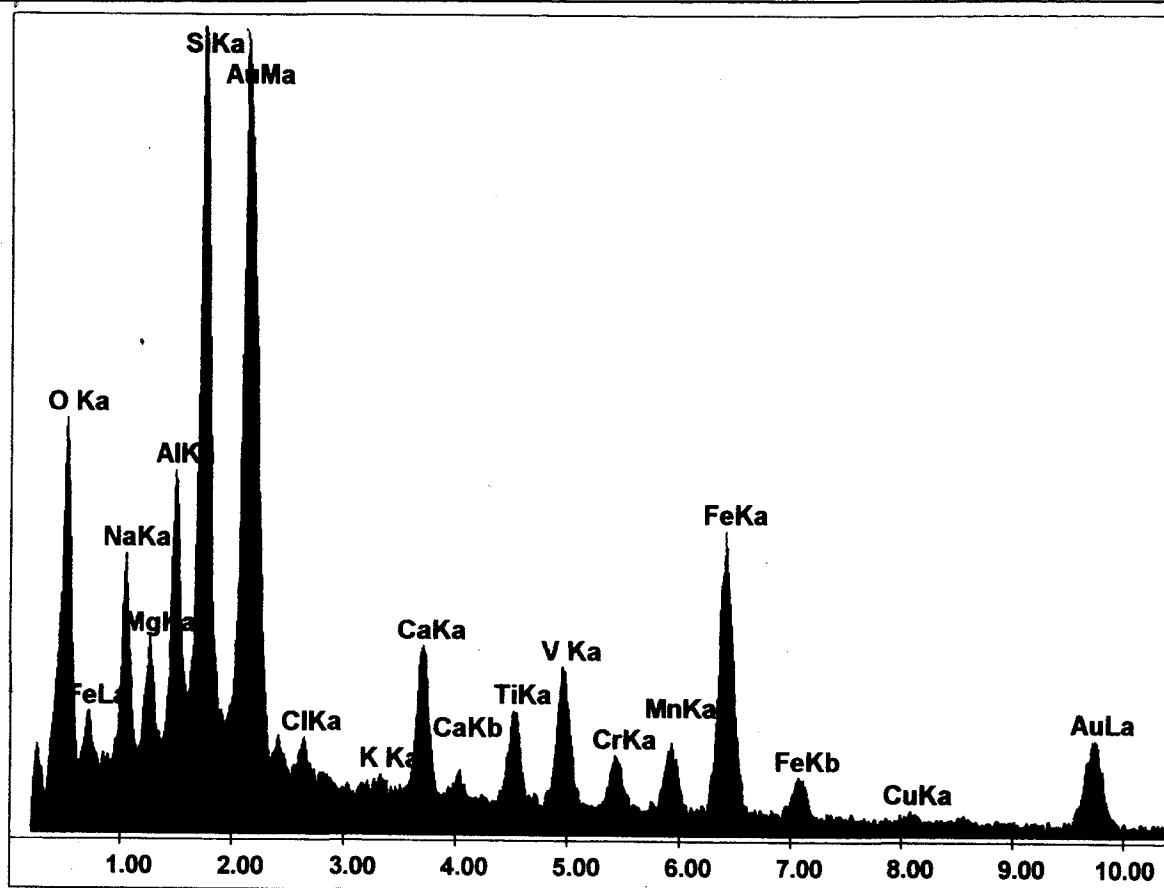


Abb. 32: PP. Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, EDX-Spektrum der Staubauflage.

Die Chloridgehalte der Fichtennadeln waren vergleichsweise gering und lagen bis auf den Probepunkt Tr 48 unter dem Grenzwert der 2. VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (0,10 % Cl) und auch unter der Bestimmungsgrenze. Die Schwefelkonzentrationen der untersuchten Fichtennadeln lagen zum Teil unter dem Grenzwert bzw. am Grenzwert (0,11%). Leicht erhöhte Schwefelwerte wurden in Nadeln des Probepunktes Tr 48 gemessen. Auf den Nadeloberflächen dieses Punktes wurden auch vereinzelte Gipskristalle beobachtet.

Tab. 20: Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Treibach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cl %	S %	N _{Kjeldahl} %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Frie 12	< 0,08	0,10	1,4	3879	3978	1540	1914
Frie 13	< 0,08	0,11	1,4	8795	6611	971	1347
Frie 8	< 0,08	0,10	1,5	5728	5637	1418	1888
Tr 10	< 0,08	0,08	1,1	3828	4126	1412	1574
Tr 12	< 0,08	0,09	1,2	2987	5869	1320	1717
Tr 36	< 0,08	0,10	1,5	4468	8058	1269	1780
Tr 40	< 0,08	0,11	1,6	4511	3685	1729	2266
Tr 41	< 0,08	0,11	1,5	4043	4745	1322	2616
Tr 42	< 0,08	0,11	1,6	5081	7468	1573	2299
Tr 43	< 0,08	0,09	1,3	3445	4220	1279	2168
Tr 44	n.n.	0,10	1,2	3555	5738	1444	2204
Tr 45	< 0,08	0,09	1,0	3016	5759	1479	2351
Tr 46	n.n.	0,11	1,6	7926	8279	1249	1956
Tr 47	n.n.	0,10	1,4	6767	9445	1049	2522
Tr 48	0,20	0,13	1,5	6133	5351	1551	2154
Tr 49	< 0,08	0,11	1,6	4713	5325	1180	1812
Tr 50	n.n.	0,10	1,4	5861	7121	935	1396
Tr 51	< 0,08	0,10	1,5	4283	5289	1666	2151
MW	-	0,10	1,4	4956	5928	1350	2017
Median	-	0,10	1,4	4500	5650	1350	2100
Minimum	-	0,08	1,0	3016	3685	935	1347
Maximum	-	0,13	1,6	8795	9445	1729	2616

Die Nadeln der beiden Probepunkte Tr 46 und Tr 47, die sich in unmittelbarer Nähe des Werksgeländes befinden, wiesen die höchsten Nickelkonzentrationen der untersuchten Nadelproben auf. Die Gehalte an Nickel lagen geringfügig über dem Bereich von 0,1 bis 13,6 mg/kg von Fichten österreichischer Hintergrund-Waldstandorte (ZVACEK, 1988). An 25 österreichischen Hintergrundstandorten wurden für den 1. Nadeljahrgang Nickelgehalte zwischen 0,3 und 15,3 mg/kg bestimmt (WEISS, 1998). Die höchsten Molybdänwerte wurden ebenso in Nadeln des Probepunktes Tr 47 gemessen. Die Molybdängehalte in Fichtennadeln des obersten Quirls liegen üblicherweise zwischen 0,04 und 0,2 mg/kg (vgl. BERGMANN, 1993). ZVACEK (1988) fand in Fichtennadeln (1. Njg.) aus sechs Hintergrundgebieten Österreichs Molybdängehalte zwischen 0,02 und 0,10 mg/kg. Dieser Wertebereich wurde an allen Probepunkten überschritten. Die höchsten Vanadiumkonzentrationen wurden in Fichtennadeln des Probepunktes Tr 42 gemessen. Eine Schweizer Untersuchung an Fichten von 47 Standorten in Winterthur ergab für gewaschene Nadeln Vanadiumwerte von 0,04 bis 0,113 ppm (WYTTEBACH ET AL., 1991). Im Vergleich zu Vanadium-Gehalten, wie sie im Rahmen einer Untersuchung in der Steiermark vom AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1998) festgestellt wurden und zum Median von 0,31 mg V/kg im 1. Nadeljahrgang Fichte einer rastermäßigen Untersuchung im Raum Linz (WIMMER, 1998, pers. Mitteilung), zeigen die werks- und deponienahen Standorte in Treibach teilweise nach

wie vor deutlich erhöhte Werte. Ähnliches wurde bereits in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes festgestellt (VOGEL ET AL, 1991). Im Vergleich zu den Chrom-Nadelgehalten (Median 1,4 mg/kg, Bereich 0,9-8,4 mg/kg) der zuletzt zitierten, früheren Untersuchung im Raum Treibach, liegen die derzeitigen Chromgehalte in den Nadeln tendenziell deutlich niedriger. Der Maximalwert der vorliegenden Untersuchung des deponienahen Standorts Tr 42 überschreitet jedoch diesen Wertebereich deutlich (Tab. 21, siehe auch Kap. 4.6.3.1). Besonders die Molybdän- und Vanadiumgehalte zeigen, daß weitere Bemühungen unternommen werden sollten, um die Schwermetallbelastung im Nahbereich der Treibacher Industrie AG zu verringern. Betreffend Maßnahmen bei deponienahen Standorten siehe Kap. 4.6.3.1.

Tab. 21: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Treibach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cr mg/kg	Mo mg/kg	Ni mg/kg	V mg/kg
Frie 12	2,6	20	2414	62	< 0,2	< 0,4	6,8	1,1
Frie 13	4,1	23	416	34	0,2	0,4	1,9	0,4
Frie 8	2,9	31	2845	33	0,2	0,4	12,0	0,2
Tr 10	2,2	17	1600	22	0,2	0,4	3,7	0,2
Tr 12	2,4	28	1233	40	0,2	0,4	4,1	0,2
Tr 36	2,7	23	1605	62	0,6	2,1	8,8	4,5
Tr 40	3,2	23	1285	96	1,9	0,4	9,6	1,2
Tr 41	3,9	21	1103	82	3,2	0,8	8,4	2,1
Tr 42	4,2	26	1269	292	13,6	3,7	6,3	9,1
Tr 43	2,3	21	1527	71	0,7	0,4	5,3	0,5
Tr 44	2,2	23	974	33	0,2	0,4	3,3	0,2
Tr 45	2,6	34	1602	25	0,2	0,4	3,3	0,2
Tr 46	3,2	29	920	57	0,4	2,1	14,2	4,6
Tr 47	2,8	28	553	79	0,7	4,1	15,3	6,9
Tr 48	3,3	26	3418	75	0,4	1,1	8,9	3,7
Tr 49	3,3	22	388	128	0,9	2,1	5,6	5,0
Tr 50	3,4	25	480	157	1,3	1,2	6,1	6,3
Tr 51	3,7	28	1059	57	0,5	0,9	14,1	2,9
Mittelwert	3,1	25	1372	78	1,4	1,2	7,6	2,7
Median	3,0	24	1251	62	0,5	0,6	6,5	1,6
Minimum	2,2	17	388	22	< 0,2	< 0,4	1,9	0,2
Maximum	4,2	34	3418	292	13,6	4,1	15,3	9,1

4.6.3.1 Deponie St. Kosmas

Die Wachsqualität der Fichtennadeln lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt), wobei der höchste Wert, d. h. die schlechteste Wachsqualität für Nadeln des unmittelbar an die Deponiefläche angrenzenden Probepunktes Tr 42 ermittelt wurde. Darüberhinaus wiesen die Nadeln dieses Standortes massivste Staubbelegung (40% !) auf, so daß 3% der untersuchten Spaltöffnungen nicht bewertet werden konnten und daher mit Sonderklasse 6 klassifiziert wurden (Abb. 30-32). In der Staubaufgabe wurden die Elemente Sauerstoff, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Kalzium, Titan, Vanadium, Chrom, Mangan und Eisen sowie Spuren von Chlor und Kalium detektiert (Abb. 32). Auch die weiteren, im Nahbereich der Deponie gelegenen Standorte Tr 40 und Tr 41 sowie der Standort Tr 43 waren, wenn auch in geringerem Maß, durch Fremdstaub kontaminiert.

Sowohl die Chrom-, Molybdän- als auch die Vanadiumkonzentrationen der Fichtennadeln lagen vor allem an den drei Standorten Tr 41, Tr 42 und Tr 43 in Nähe der Deponie der Treibacher Industrie AG zum Teil erheblich über den üblicherweise feststellbaren Hintergrundkonzentrationen (siehe Kap. 4.6.3). Die Nickelgehalte der Nadeln waren dagegen unauffällig (Tab. 21). Anhand der Untersuchungen der Staubaufgaben konnte festgestellt werden, daß die Höhe der Gehalte teilweise auf den den Nadeln anlagernden Staub zurückzuführen ist. Es sollten daher – vermutlich ohne größeren Aufwand zu bewerkstelligende – Maßnahmen ergriffen werden, um Verwehungen aus der Deponie in umliegende Gebiete zu vermeiden.

4.6.3.2 Vergleiche nach Standortskategorien

Zwischen den Standortskategorien „Hintergrund“ (Ergebnisse von 25 Hintergrundstandorten aus zwei Jahren von TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) und den Kategorien „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ für den Raum Treibach bestehen bei den in Abb. 33 dargestellten Elementen signifikante Gruppenunterschiede. Bei den Elementen Stickstoff, Magnesium, Phosphor, Mangan und Nickel weisen sowohl die Gruppe „nahe“ als auch „sehr nahe Emittenten“ aus dem Raum Treibach signifikant höhere Gehalte als die Gruppe „Hintergrund“ auf. Bei den Elementen Schwefel, Kalzium und Eisen weist lediglich die Gruppe „sehr nahe Emittenten“ aus dem Raum Treibach signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund auf (Abb. 33). In Einklang mit den Ergebnissen einer früheren Publikation (TRIMBACHER & WEISS, 1997) ist zu berücksichtigen, daß höhere Elementgehalte der emittentennahen Standorte teilweise auf anlagernden Staub zurückzuführen sind und nicht auf die Gehalte in den Nadeln (vgl. Abb. 32). Dies ist besonders auch bei den Nährelementen von Relevanz, da die Nadelgehalte eine bessere Nährelementversorgung als die tatsächliche vortäuschen (vgl. auch Kap. 4.9.4). Auffallend bei alleiniger Betrachtung der Werte aus dem Raum Treibach ist weiters, daß mit größerer Nähe der Standorte zu den Emittenten die Stickstoff-, Schwefel, Kalzium-, Eisen-, Kupfer- und Vanadiumgehalte sowie die Epibiontenbelegung der Nadeln signifikant höher liegen (Abb. 33). Die Zinkgehalte der Standorte aus dem Raum Treibach und – ähnlich zu Leoben/Donawitz – die Kupferwerte der Gruppe „nahe Emittenten“ liegen hingegen niedriger als die Hintergrundwerte (Abb. 33).

Zusammenfassend lassen die Ergebnisse bei einzelnen Elementen Einflüsse von emissionsbedingten Einträgen auf den Stoffhaushalt emittentennaher Treibacher Waldstandorte vermuten. Selbst bei Nährelementen kann dies unvorteilhaft für die Waldgesundheit sein, da die Möglichkeit von Nährstoffimbancen besteht oder Verbindungen der Elemente Stickstoff und Schwefel auch Schadstoffcharakter aufweisen. Maßgeblich sollte jedoch die weiter oben behandelte Höhe von Vanadium-, Molybdän- und Chromnadelgehalten aus dem Raum Treibach Anlaß für weitere emissionsmindernde Maßnahmen darstellen.

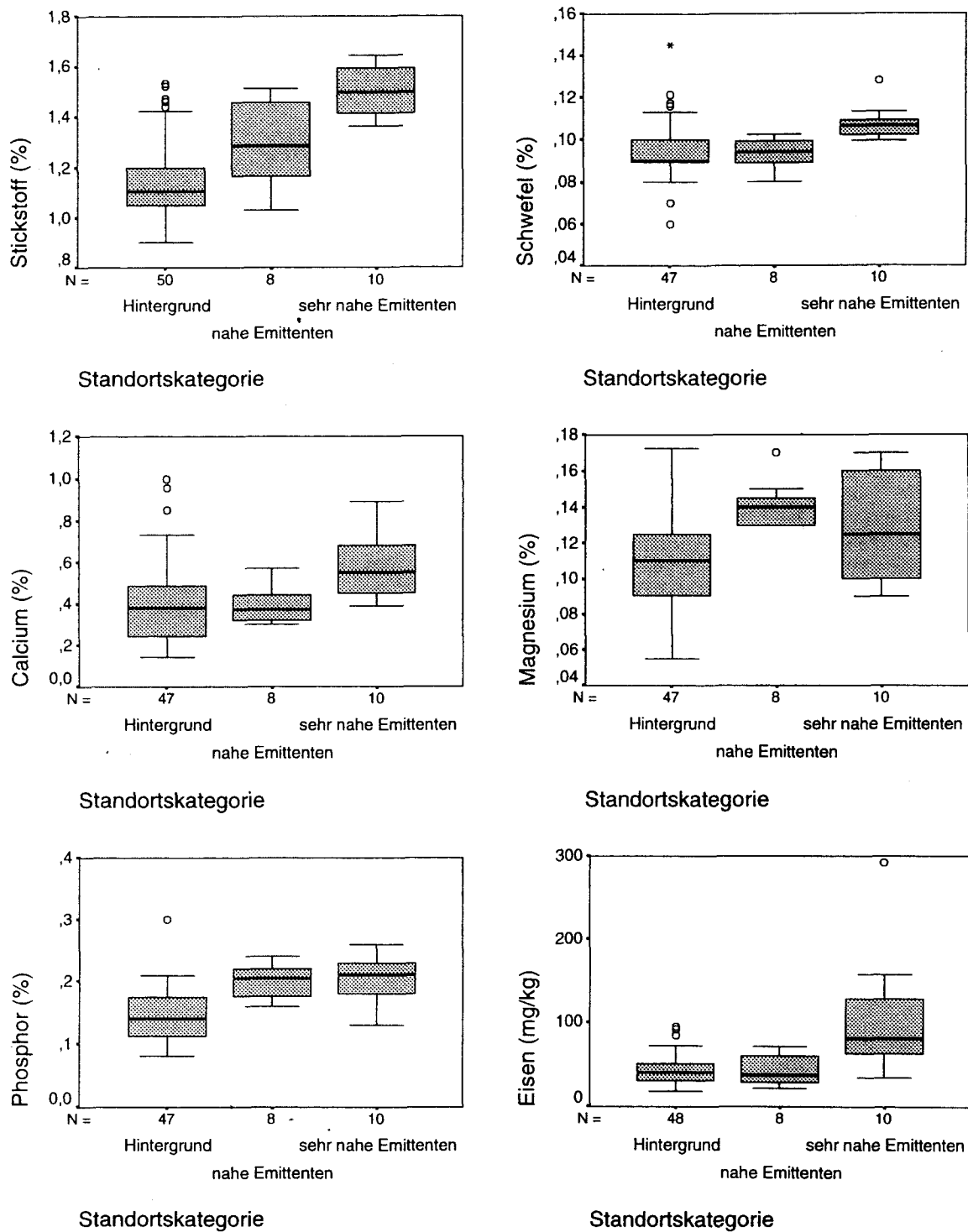


Abb. 33: Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Treibach (Fortsetzung nächste Seite !)

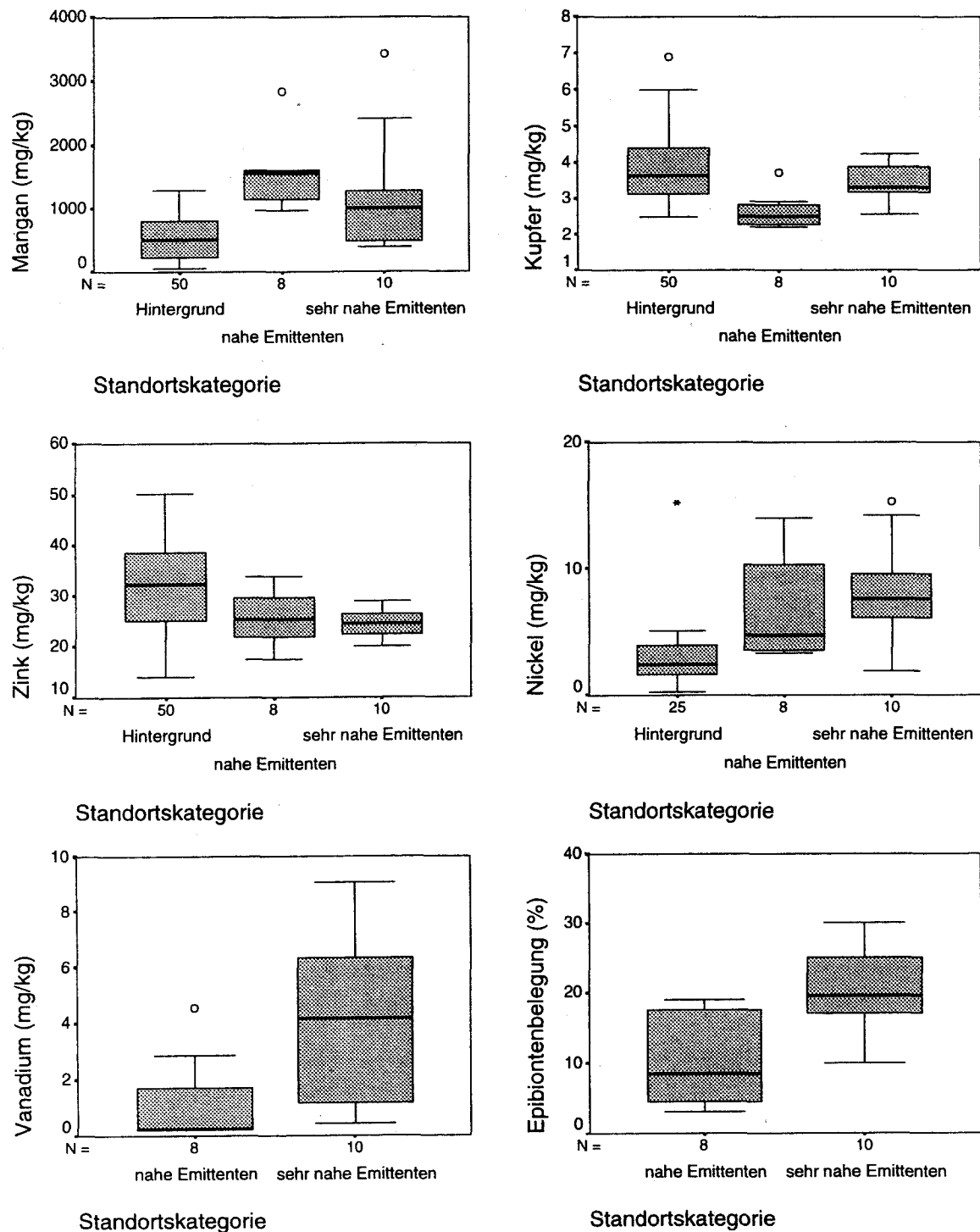


Abb. 33: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Treibach

4.6.3.3 Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern

Die Wachsqualität der Standorte aus dem Raum Treibach zeigt lediglich eine sehr lose, jedoch signifikant positive Korrelation mit den Kupfergehalten der Nadeln (Abb. 34). Sehr wahrscheinlich handelt es sich dabei um ein zufälliges Ergebnis, da sich ein kausaler Zusammenhang nicht anbietet. Die Epibiontenbelegung der Nadeln nimmt mit Zunahme der Gehalte einzelner Elemente in den Nadeln signifikant zu (Abb. 34). Am ausgeprägtesten ist die Beziehung mit den Stickstoffgehalten. Dies ist insofern von Bedeutung, als auch in anderen Untersuchungen ein Zusammenhang mit den Stickstoffgehalten und dem Mikroorganismenbefall von Nadeln festgestellt werden konnten. Ein vermehrtes Auftreten von Epibionten auf Nadeloberflächen wird als Indiz für einen erhöhten Nährstoffeintrag in Waldökosysteme, vor allem für ein Stickstoffüberangebot gewertet (MOHR, 1986).

Zwischen den Nadelgehalten einzelner Elemente konnten zahlreiche signifikant positive Korrelationen nachgewiesen werden (Abb. 35, dargestellt werden lediglich Korrelationen mit einem $r > 0,5$; nicht normalverteilte Variablen wurden vor Berechnung des Korrelationskoeffizienten log-transformiert, erkennbar an der Skalierung in Abb. 35). Besonders ausgeprägt sind die Zusammenhänge zwischen den Molybdän- und Vanadiumgehalten, zwischen den Eisen- und Vanadiumgehalten sowie zwischen den Eisen- und Chromgehalten (Abb. 35). Molybdän und Vanadium können als Leitelemente charakterisiert werden, deren höhere Gehalte auf einen stärkeren Einfluß durch die Treibacher Industrie AG hindeuten. Insofern ist anzunehmen, daß ein korrelierender Anstieg der Nadelgehalte dieser beiden Elemente und anderer wie beispielsweise Stickstoff, Schwefel, Kalium und Eisen ebenfalls auf Einflüsse durch die Treibacher Industrie AG zurückzuführen ist (Abb. 35). Im Unterschied dazu dürfte die signifikant positive Korrelation zwischen Magnesium und Mangan sowie fehlende signifikante positive Korrelationen dieser beiden Nährelemente mit anderen, v.a. werkstypischen Leitelementen besonders auch auf ernährungsbedingte Standortsunterschiede hinweisen. Dies ist insofern von Bedeutung als für den Raum Treibach vergleichsweise zum Hintergrund (Abb. 33) und Daten des Bioindikatornetzes für Kärnten (FÜRST, 1994) erhöhte Mangangehalte in den Nadeln festgestellt wurden (vgl. auch TRIMBACHER & WEISS, 1997). Lediglich zwischen den Magnesium- und Kaliumgehalten der Nadeln wurde eine negative - zwar schwach ausgeprägte - aber signifikante Korrelation identifiziert (Abb. 35). Kalium/ Magnesium-Antagonismus bei der Pflanzenernährung wird vielfach in der Literatur beschrieben (BERGMANN, 1993, HEINZE & FIEDLER, 1992, MARSCHNER, 1995), was eine Erklärung für dieses Ergebnis darstellen könnte.

Weiters zeigte sich für Treibach, daß die Wachsqualität der Gruppe jener Standorte, die Staub auf den Spaltöffnungen aufwiesen, signifikant schlechter ist als die der Gruppe ohne Staub (Abb. 36). Dieses Ergebnis ist insofern bemerkenswert, als weder die Wachsqualität noch die Staubbelegung in Treibach einen statistisch absicherbaren Unterschied zwischen den Gruppen „nahe“ und „sehr nahe Emittenten“ zeigte. Somit zeigen die Ergebnisse für diese beiden Parameter – im Unterschied zu einzelnen Elementen - eine gewisse Unabhängigkeit zur Nähe der maßgeblichen Emittenten (Treibacher Industrie AG bzw. Deponie St. Kosmas). Dies gilt nur bei Betrachtung aller Standorte nach Zuteilung zu den Gruppen „nahe“ und „sehr nahe Emittenten“, da gemäß den Auswertungen in Kap. 4.6.3 sehr wohl einzelne Standorte, v.a. in Deponienähe bei diesen Parametern Auffälligkeiten zeigten.

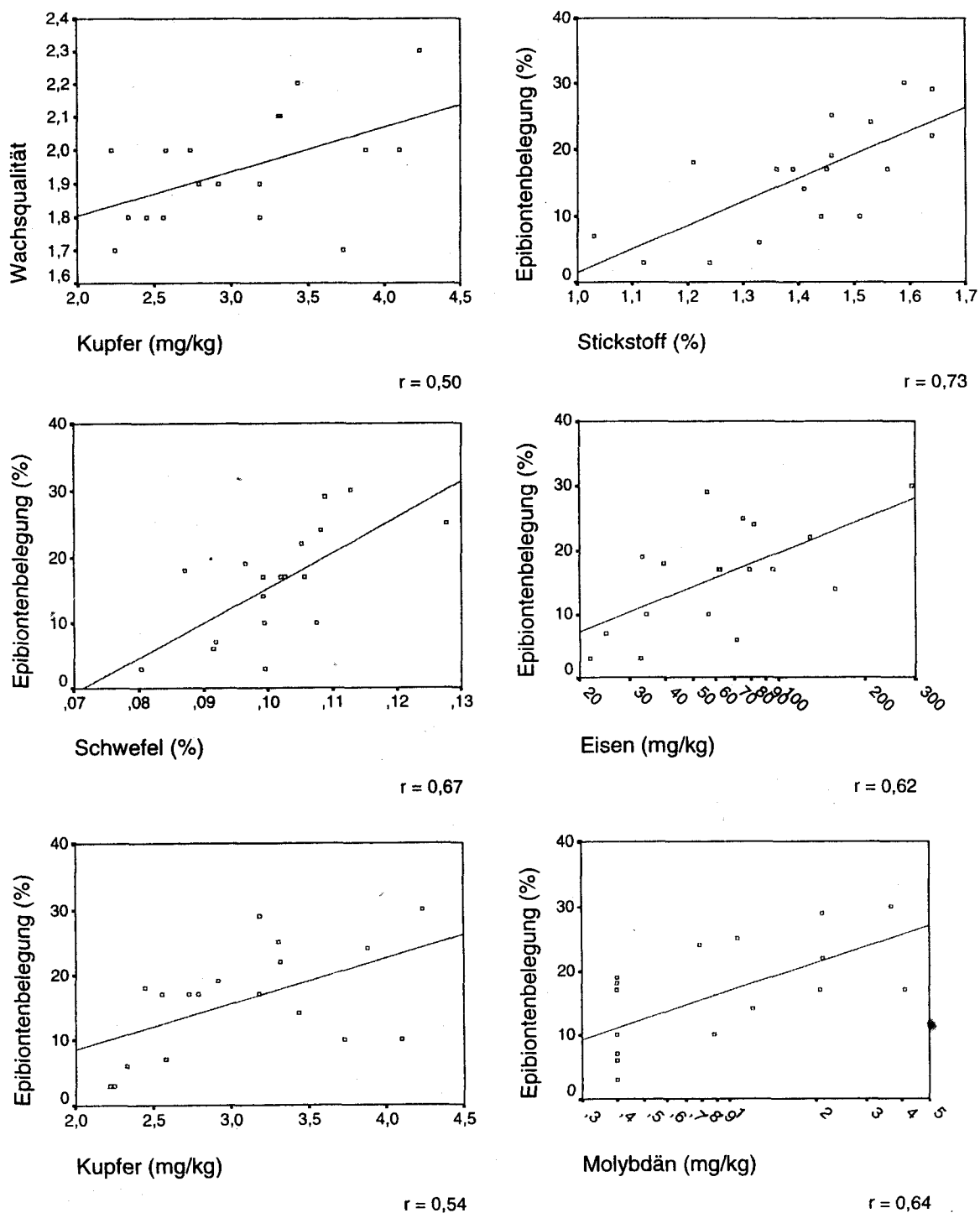
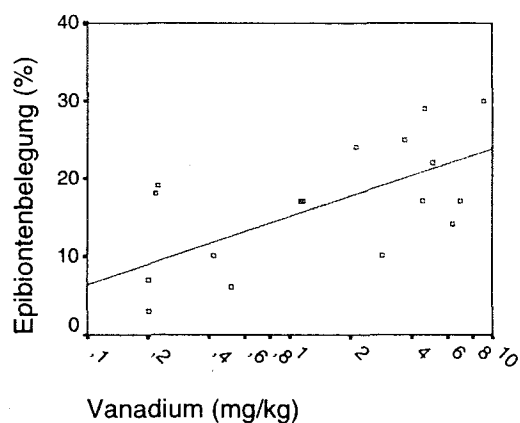
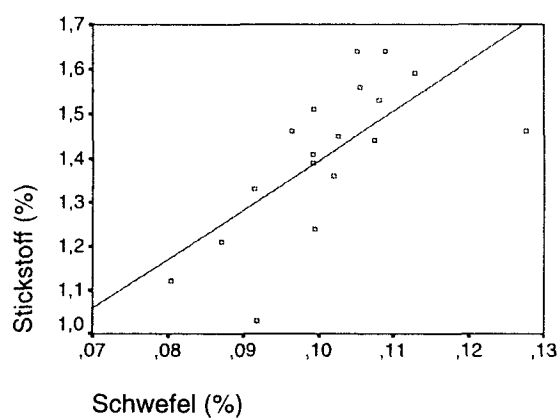


Abb. 34: Zusammenhänge zwischen Nadeloberflächenparametern und Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach (Fortsetzung nächste Seite !)

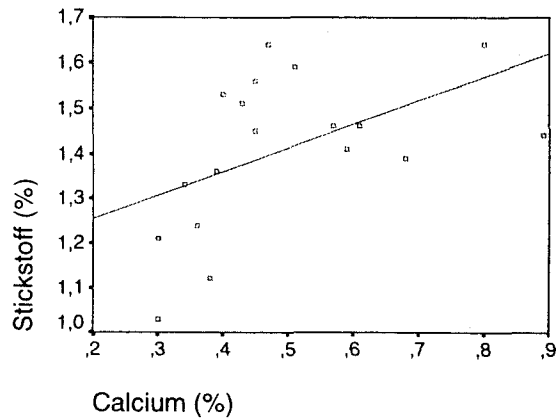


$$r = 0,66$$

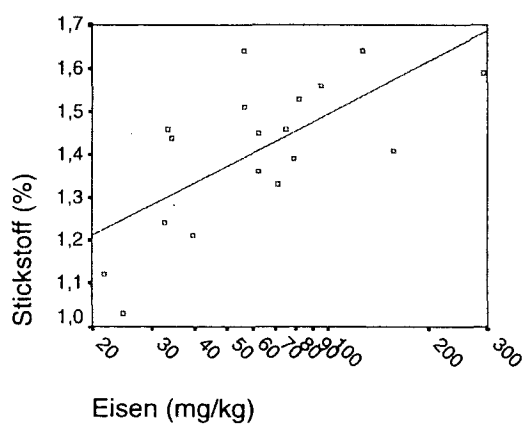
Abb. 34: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen Nadeloberflächenparametern und Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach



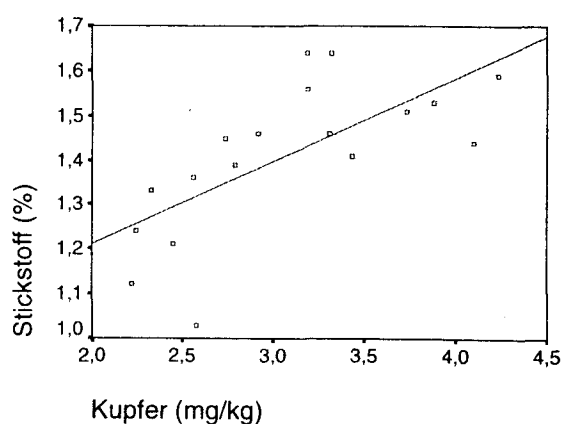
$$r = 0,68$$



$$r = 0,51$$

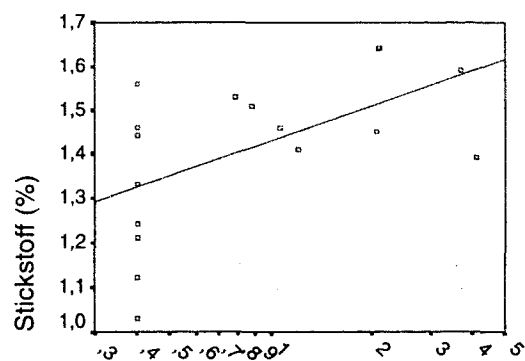


$$r = 0,68$$

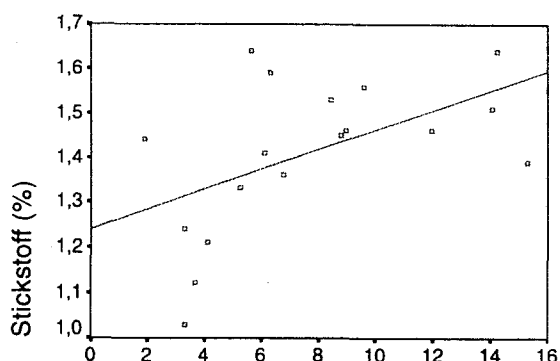


$$r = 0,69$$

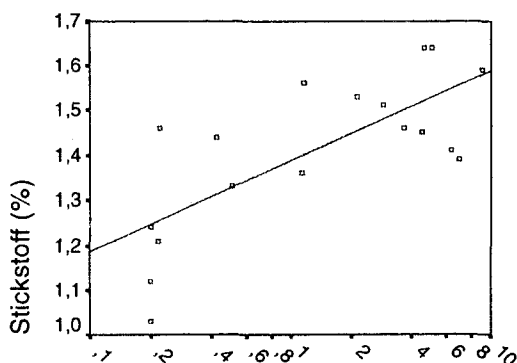
Abb. 35: Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach (Fortsetzung nächste Seite!)



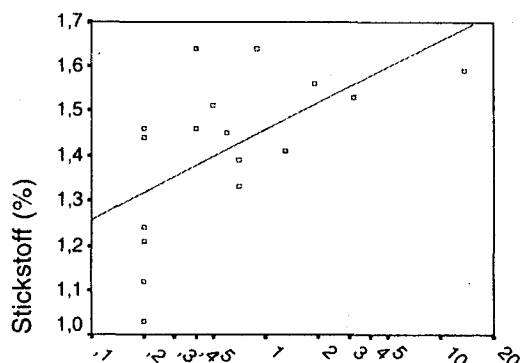
Molybdän (mg/kg)

 $r = 0,56$ 

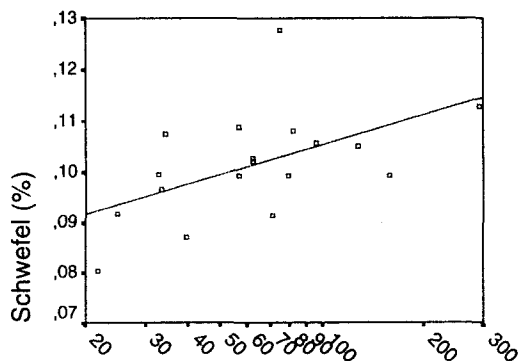
Nickel (mg/kg)

 $r = 0,53$ 

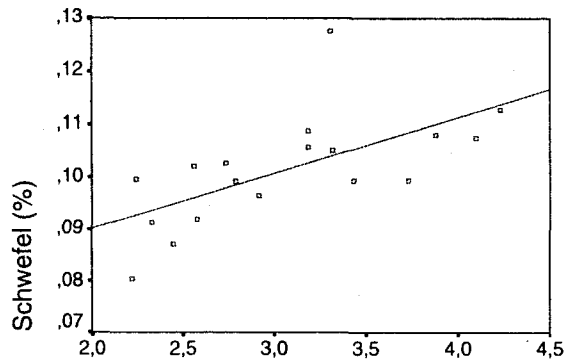
Vanadium (mg/kg)

 $r = 0,73$ 

Chrom (mg/kg)

 $r = 0,58$ 

Eisen (mg/kg)

 $r = 0,53$ 

Kupfer (mg/kg)

 $r = 0,64$

Abb. 35: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach (Fortsetzung nächste Seite!)

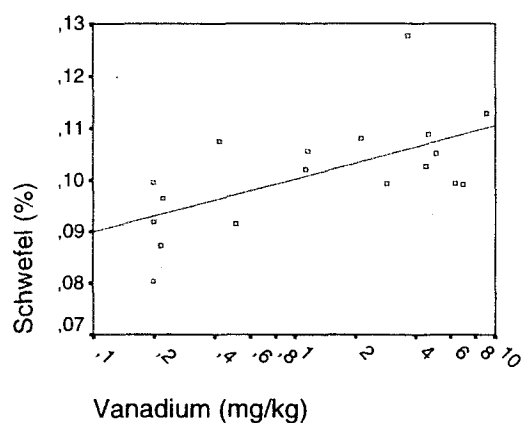
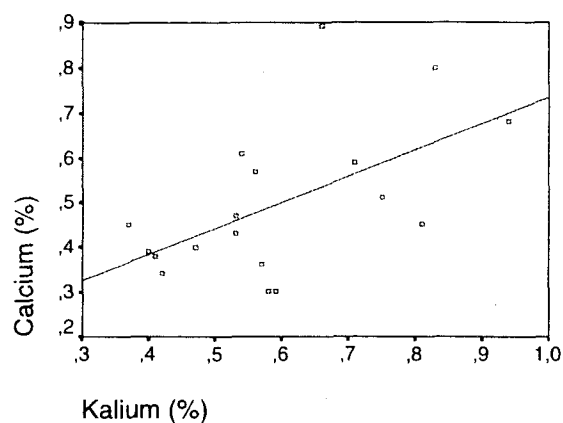
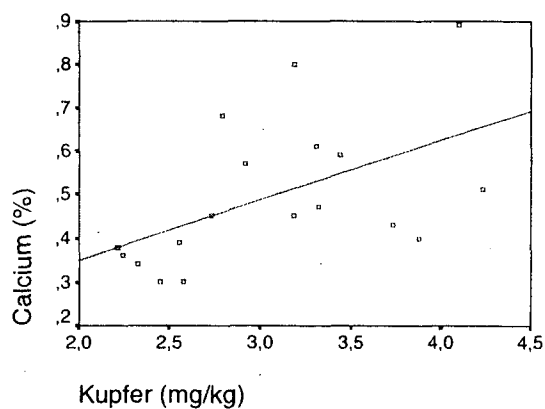
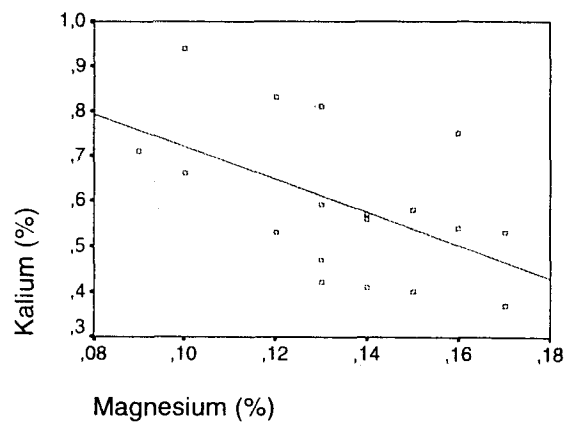
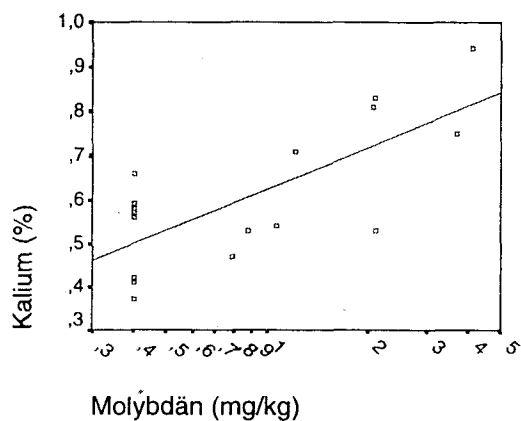
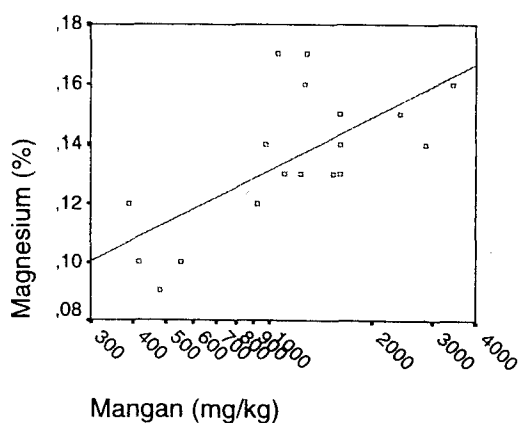
 $r = 0,62$  $r = 0,57$  $r = 0,52$  $r = -0,52$  $r = 0,73$  $r = 0,68$

Abb. 35: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach (Fortsetzung nächste Seite!)

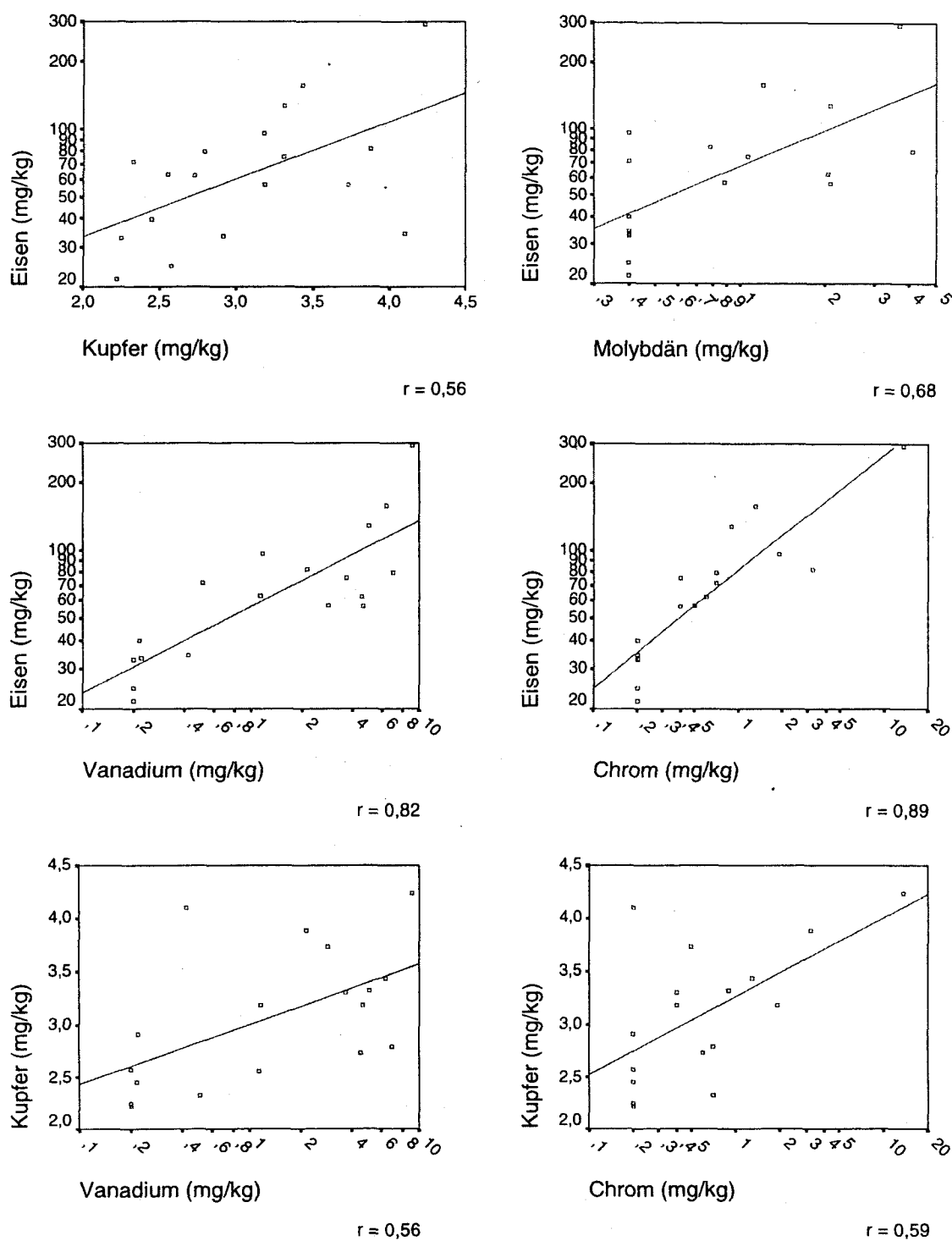


Abb. 35: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach

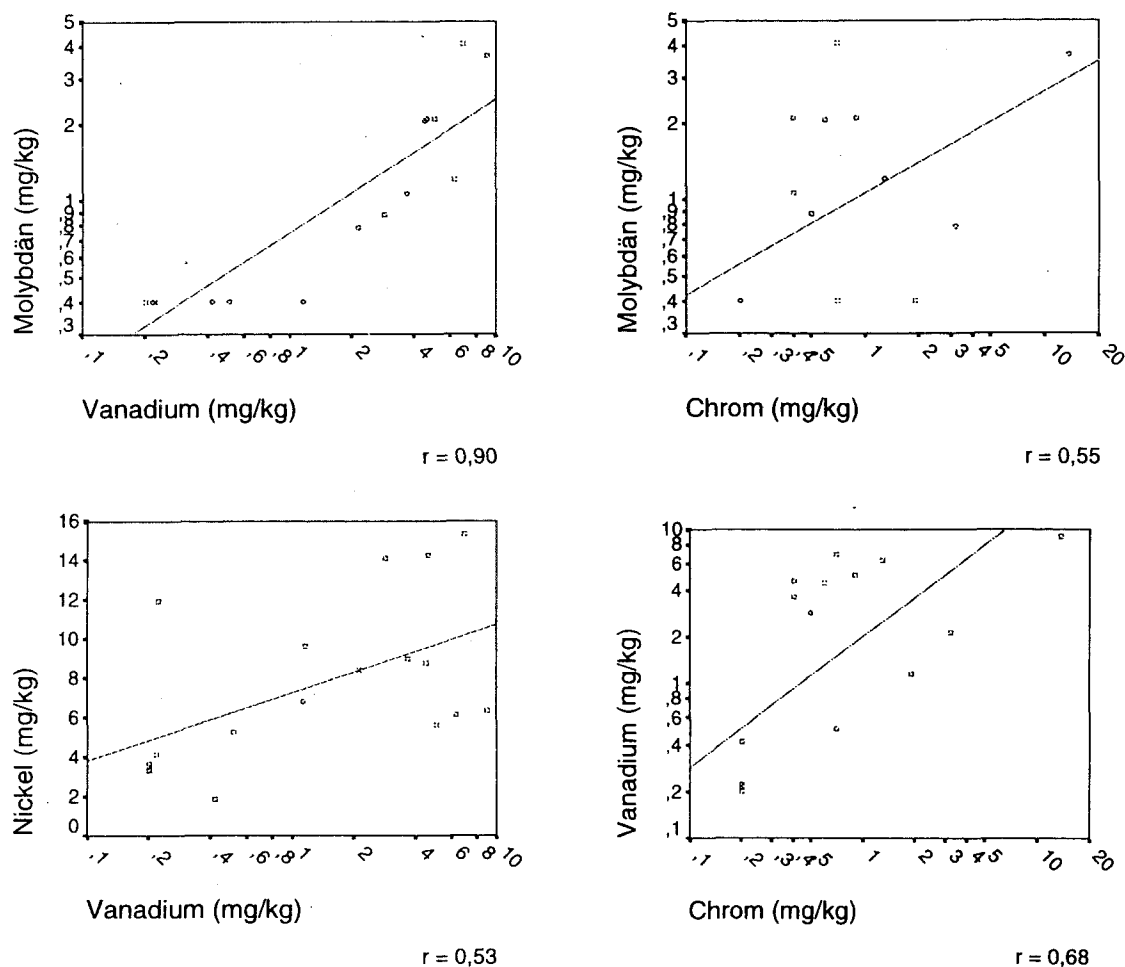


Abb. 35: (Fortsetzung) Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach

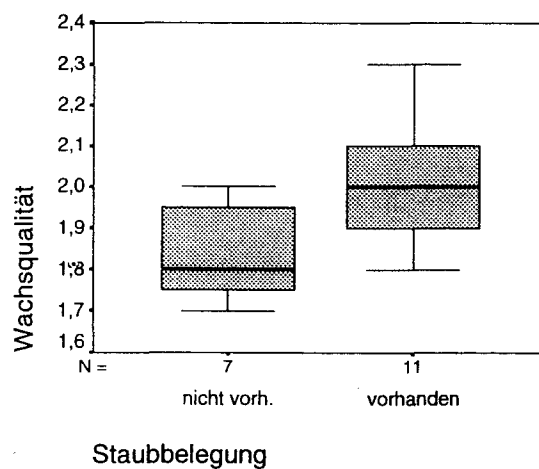


Abb. 36: Boxplots zur Wachsqualität der Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach getrennt nach Gruppen mit und ohne Staubbelegung auf den Spaltöffnungen

4.6.4 Zusammenfassung der Ergebnisse für Treibach

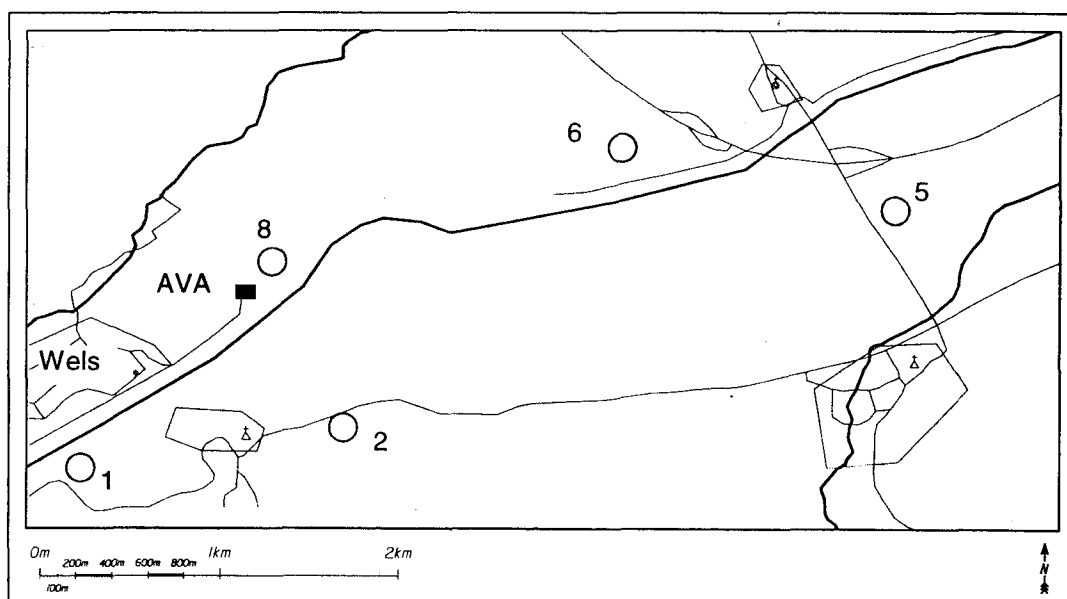
Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung weisen bei einzelnen Elementen auf Einflüsse von emissionsbedingten Einträgen auf den Stoffhaushalt emittentennaher Waldstandorte im Gebiet Treibach hin. Die nach wie vor deutlich erhöhten Vanadium-, Molybdän- und Chromgehalte der Nadeln aus dem Raum Treibach sollten nach wie vor Anlaß für weitere emissionsmindernde Maßnahmen geben. Dies gilt vor allem für die im Nahbereich einer Deponie der Treibacher Industrie AG in St. Kosmas befindlichen Waldstandorte, bei denen anhand von Untersuchungen der Staubauflagen festgestellt werden konnte, daß die Höhe der Gehalte teilweise auf den den Nadeln anlagernden Staub zurückzuführen ist. Es sollten daher Maßnahmen ergriffen werden, um Verwehungen von der Deponiefläche in den benachbarten Wald zu vermeiden.

4.7 Wels

4.7.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Der Recyclingpark Wels wurde 1996 fertiggestellt. Er umfaßt Anlagen zur Verwertung von Bioabfall, Gewerbeabfall, Baurestmassen sowie die erforderlichen Nebenanlagen und eine thermische Abfallverwertungsanlage (AVA). In der AVA Wels wird der nicht verwertbare Restabfall des Recyclingparks sowie der Restabfall aus Haushalten thermisch verwertet. Der anfallende Restabfall entspricht einer Menge von rd. 60.000 t pro Jahr. Eine fünfstufige Rauchgasreinigungsanlage (Elektrofilter, 2-stufige Naßwäsche, Aktivkohlefilter, Katalysator) sorgt dafür, daß ein Großteil der Schadstoffe (Staub, Salz- und Flußsäure, Schwefeldioxid, Stickoxide, Kohlenmonoxid, Schwermetalle und Dioxine) aus der Abluft entfernt wird. Die anfallenden Reststoffe (Schlacke, Asche, Gips und Filterkuchen) werden zum Teil wieder thermisch aufgearbeitet oder deponiert (Quelle: WEISSBUCH „DIE OBERÖSTERREICHISCHE LÖSUNG“, WELSER ABFALLVERWERTUNG GESMBH, 4. AUFLAGE/ SEPTEMBER 1996).

Unter Berücksichtigung der meteorologischen Gegebenheiten wurden fünf Probepunkte in der Umgebung der Welser Abfallverbrennungsanlage (WAV) aus einem bereits bestehenden forstlichen Beweissicherungsnetz der Landesforstdirektion Oberösterreich ausgewählt.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wels.

4.7.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

In der Umgebung der Abfallverbrennungsanlage bei Wels wurden Fichtennadeln von fünf Probepunkten hinsichtlich der Wachsqualität sowie der Nähr- und Schadstoffkonzentrationen untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 2,1 (leicht beeinträchtigt) bis 3,0 (mittelstark beeinträchtigt). Für alle Probepunkte, insbesondere aber für den Punkt W 2 gilt, daß die Änderungen der Wachsmikrostruktur zu einem Gutteil mechanisch bedingt waren. Mechanische Beeinträchtigungen der Nadelwachse werden durch verschiedene Witterungseinflüsse hervorgerufen, die zu einem Aneinanderreiben der Nadeln führen. Mechanische Beeinträchtigungen sind stets durch rekristallisierte Wachstubuli charakterisiert (BERMADINGER-STABENTHEINER, 1994). Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen lag zwischen 0% und 27%. Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten reichte von 14% bis zu 40%.

Tab. 22: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wels.

PP	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
Wels 1	2,3 ± 0,72	1	35
Wels 2	2,4 ± 1,14	0	14
Wels 5	2,1 ± 0,62	4	22
Wels 6	2,7 ± 1,21	11	40
Wels 8	3,0 ± 1,15	27	30

Der höchste Wert, d.h. die stärksten Wachsdegradationen wurden für Nadeln des im Nahbereich der Abfallverbrennungsanlage befindlichen Probepunktes W 8 ermittelt. 1% der Spaltöffnungen konnte aufgrund einer massiven Staubbelegung nicht beurteilt werden und mußte daher Sonderklasse 6 zugeteilt werden. In der Staubaufgabe wurden regelmäßig glatte, sphärische, Si-hältige Flugaschepartikel mit einem Durchmesser $\leq 5 \mu\text{m}$ sowie großflächige Ansammlungen von Gipskristallen detektiert (Abb. 37). Aufgrund der Morphologie der Kristalle und der großflächigeren Dimensionierung könnte es sich hierbei auch um luftverfrachteten oder angewehten, gipshältigen Staub handeln. Auf den Nadeloberflächen der beiden Probepunkte W 5 und W 6 fanden sich ebenfalls häufig Gipsnadeln. Vereinzelt sphärische Flugaschepartikel mit einer glatten Oberflächenbeschaffenheit wurden auf Nadeln des Probepunktes W 1 und W 5 beobachtet (Abb. 38).

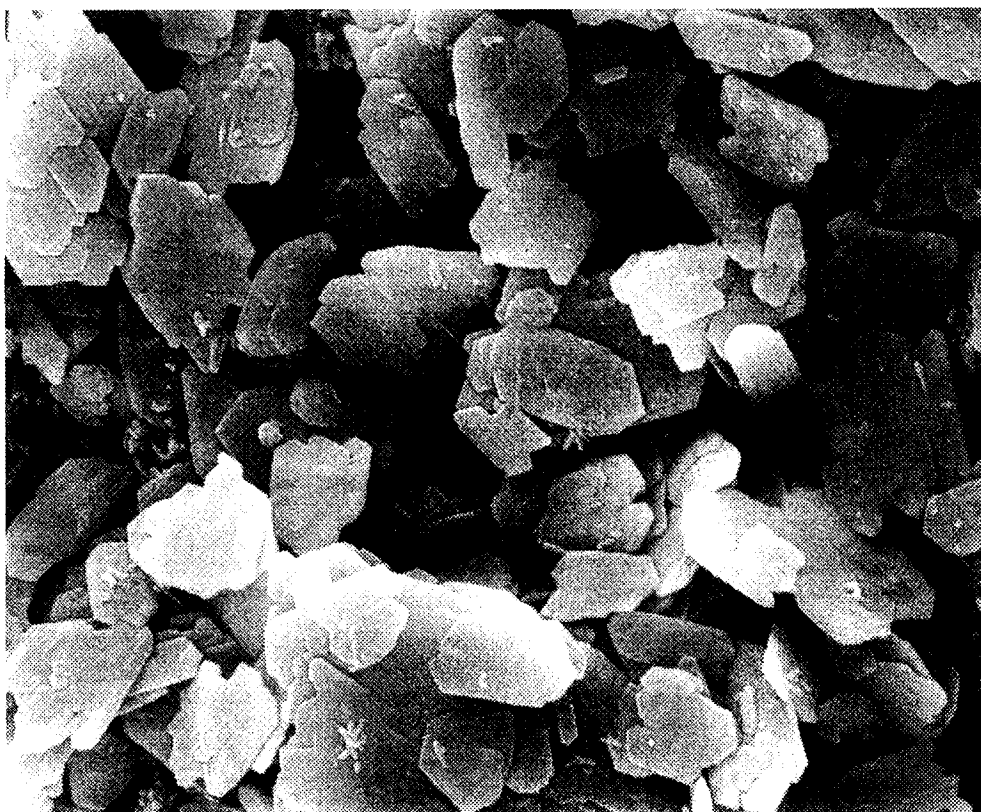


Abb. 37: PP. W 8/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Gipskristallen. Vergrößerung: 4400fach.

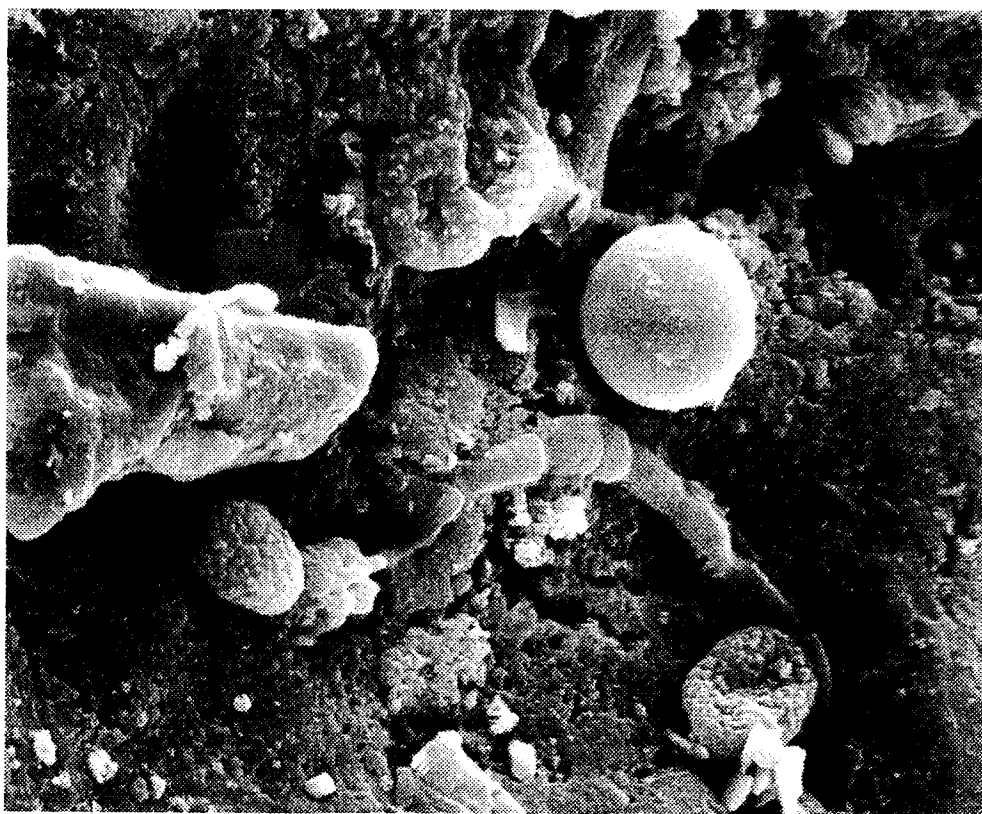


Abb. 38: PP. W 5/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Pilzhypen und einem sphärischen Flugaschepartikel. Vergrößerung: 3000fach

Tab. 23: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln.
 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig

Probepunkt	Gips	Si-Partikel
Wels 1	0	x
Wels 2	0	0
Wels 5	xxx	x
Wels 6	xx	xx
Wels 8	xxx	x

Die Chloridgehalte der untersuchten Fichtennadeln lagen bis auf den Punkt Wels 2 (0,12 % Cl) unter dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,10 % Cl. Die Schwefelkonzentrationen der Nadeln lagen im Bereich des Grenzwertes. Die Mangangehalte der drei Probepunkte Wels 5, 6 und 8 waren auffällig niedrig. Die Bleigehalte an den beiden im Nahbereich der AVA befindlichen Probepunkte Wels 1 und 8 waren im Vergleich zu Hintergrundstandorten leicht erhöht.

Tab. 24: Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wels. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cl %	S %	N _{Kjeldahl} %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Wels 1	0,09	0,11	1,5	7529	5268	1440	1553
Wels 2	0,12	0,11	1,4	6283	7023	1171	1215
Wels 5	0,09	0,10	1,3	5003	5370	1267	1336
Wels 6	0,09	0,12	1,4	11130	5175	1374	2006
Wels 8	0,09	0,10	1,3	5109	8295	1051	1593

Tab. 25: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wels. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
Wels 1	4,1	38	177	94	0,10	1,1
Wels 2	3,6	20	554	72	0,09	0,7
Wels 5	3,7	33	11	48	< 0,01	0,4
Wels 6	4,0	39	15	85	0,01	1,0
Wels 8	3,8	40	11	120	0,01	1,1

Im Vergleich zu den Ergebnissen von Fichtennadeln von 25 Hintergrundstandorten (TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) zeigten die Welser Standorte signifikant höhere Stickstoff-, Schwefel-, Kalzium-, Eisen- und Bleigehalte und signifikant geringere Mangangehalte (Abb. 37). Besonders auffällig sind die vergleichsweise geringen Mangangehalte, die bei drei der fünf Welser Standorte bereits unter Richtwerten für ausreichende Versorgung liegen (BERGMANN, 1993: 50 mg/kg, ZÖTTL, 1990: 80 mg/kg, GULDER & KÖLBEL, 1993: 10 – 20 mg/kg als Richtwert für Mangel). Es ist anzunehmen, daß die Ursachen der niedrigen Mangangehalte bodenchemischer Natur sind. Bezüglich Bleigehalten ist festzustellen, daß jene aus Wels zwar über denen der zitierten österreichischen Hintergrundstandorte liegen, im Vergleich zu anderen Untersuchungen aber nicht weiter auffällig sind. WIMMER (1998) gibt 1,23 mg Pb/kg im 1. Nadeljahrgang Fichte als Obergrenze für den urbanen Hintergrund an. HERMAN (1994) wies in fünf Hintergrundgebieten Österreichs in den Jahren 1983 bis 1991 Bleigehalte zwischen 0,11 und 1,86 mg/kg nach. Im Rahmen einer landesweiten bayerischen Inventur wurden Bleigehalte zwischen 0,2 und 2,4 mg/kg festgestellt (GULDER & KÖLBEL, 1993).

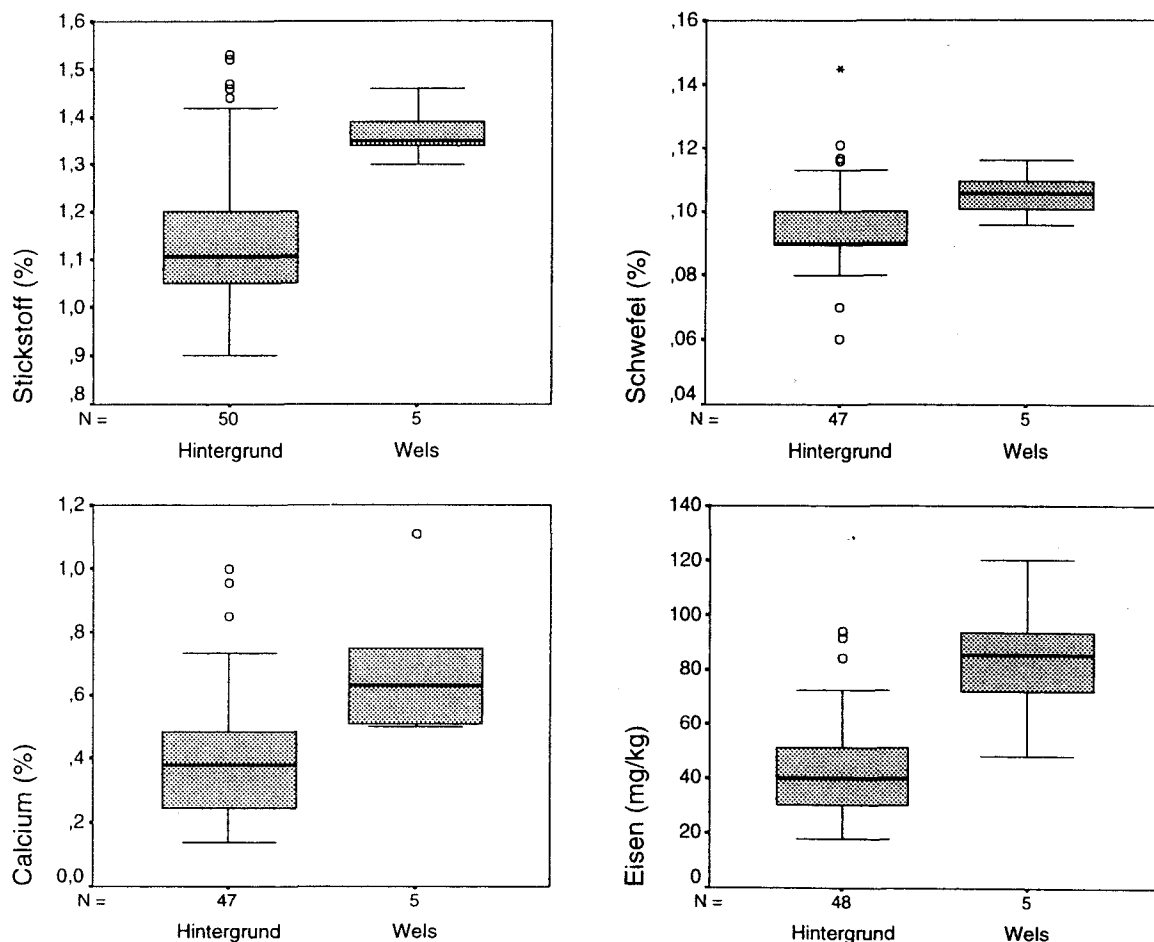


Abb. 39: Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wels und von Hintergrundstandorten

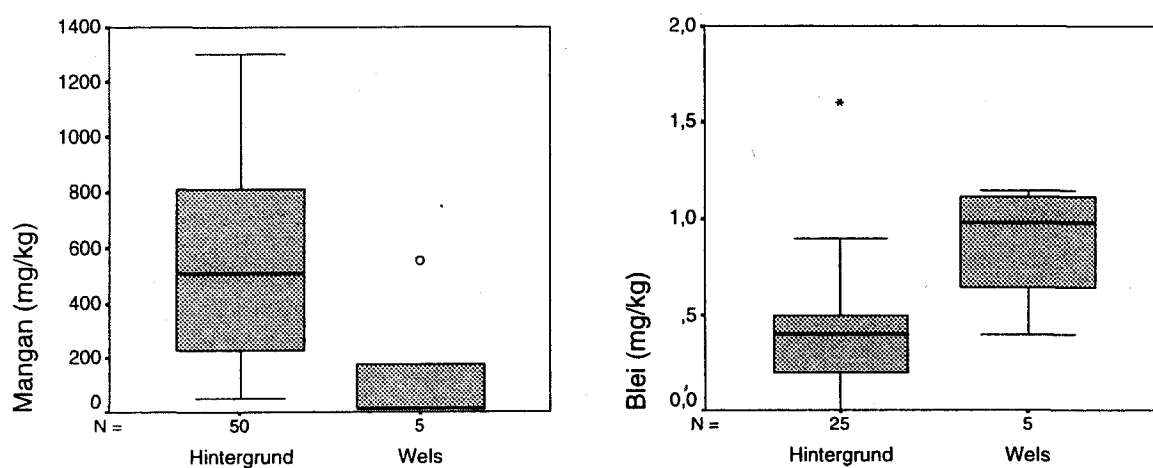


Abb. 39: (Fortsetzung) zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wels und von Hintergrundstandorten

4.8 Wietersdorf

4.8.1 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 sich in Nord-Süd-Richtung erstreckenden Bergrücken vom Krappfeld getrennt. Im Zentrum des Talverlaufs ist die Weitung von Klein St. Paul. Am Nord- und am Südeinde verengt sich das Görschitztal, wodurch dem dazwischenliegenden Abschnitt ein langgezogener, bekkenähnlicher Charakter verliehen wird. Dementsprechend bilden sich Bodeninversionslagen mit Behinderungen im horizontalen und vertikalen Luftaustausch sowie charakteristische Talwindssysteme aus. Es herrschen hauptsächlich Nordwinde vor. Kurz nach Sonnenaufgang können ebenso Winde aus südlichen Richtungen auftreten, die in direkter Abhängigkeit zur Sonneneinstrahlung stehen (KOFER ET AL., 1986).

4.8.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort

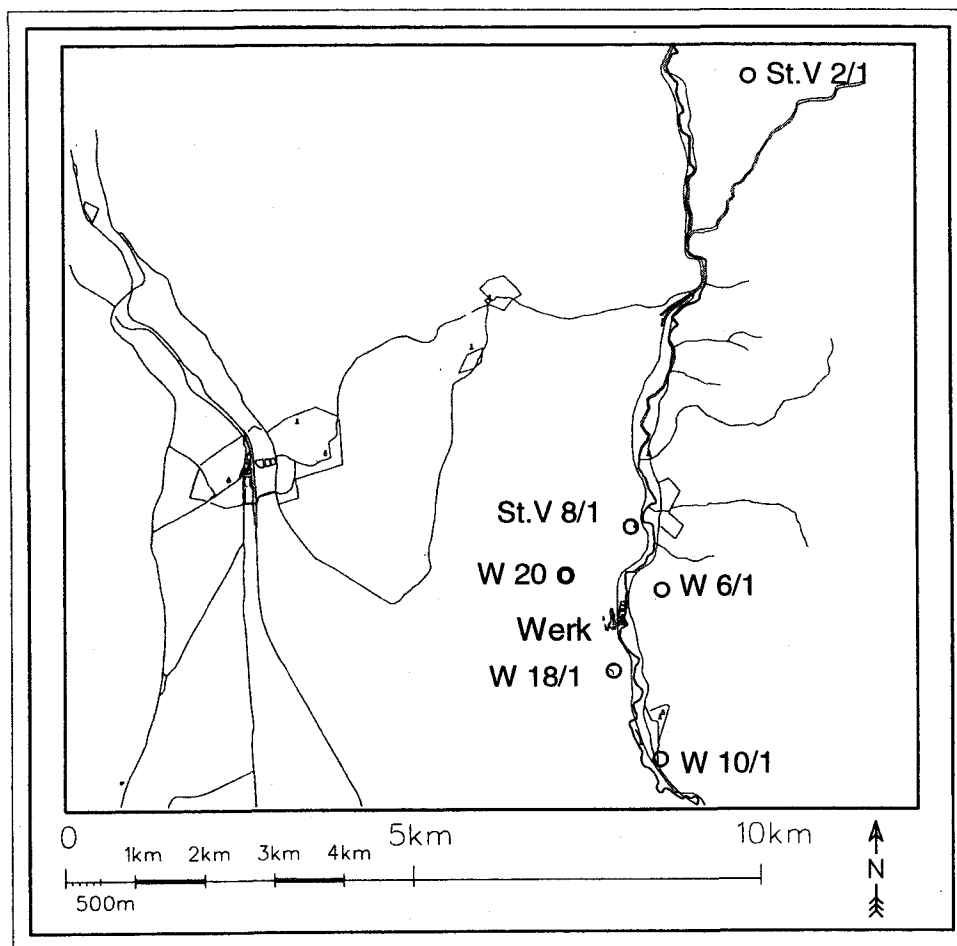
Die Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke produzieren jährlich ca. 200.000 t Zement. Im südwestlich gelegenen werkseigenen Steinbruch werden 550.000 t Rohgestein (Kalk und Ton) gewonnen. Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von Staub, Stickoxiden, Schwefelverbindungen und Kohlenmonoxid.

Im Auftrag der Kärntner Landesregierung wurde im Jahre 1986 die „Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf“ durchgeführt, um detaillierte Erkenntnisse über die Staubbelastung (besonders Schwermetalle) in diesem Gebiet zu erhalten. Allgemein können bei der Zementproduktion in den Drehrohröfen (1000 bis 1450°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 Bestimmungen der Staubbiederschlagsproben zur Beurteilung der Schwermetallbelastung. Durch umfangreiche Emissionsschutzmaßnahmen seitens des Werkes konnte die Staubbelastung gesenkt werden. Es wurden für den Raum Wietersdorf 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. 26: 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/Kärnten.

4.8.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

In der Umgebung der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke in Wietersdorf wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Bereits 1995 wurden vom Umweltbundesamt Fichtennadeluntersuchungen an fünf Probepunkten in diesem Raum durchgeführt. Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen der Nadelwachse des 1. Nadeljahrganges 1996 ergaben für die Wachsqualität einen Bereich von MW 1,8 (nicht beeinträchtigt) bis zu MW 2,5 (leicht beeinträchtigt).

Tab. 27: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wiersdorf.

Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
St. V. 2	1,8 ± 0,28	3	8
St. V. 8	1,9 ± 0,64	11	13
Wie 6	1,8 ± 0,26	0	10
Wie 20	2,1 ± 0,43	11	17
Wie 18	2,5 ± 1,02	35	17
Wie 10	2,0 ± 0,64	11	13

Die stärksten Degradationen der Wachsstrukturen und die dichteste Staubbelegung (35 %) wurden an Nadeln des nahe der werkseigenen Bruchanlage befindlichen Probepunktes Wie 18 verzeichnet. Bereits an Nadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 wurde eine massive Staubbelegung (54%) sowie leicht beeinträchtigte Wachsstrukturen beobachtet (TRIMBACHER, 1996, TRIMBACHER & WEISS, 1997). 1% der untersuchten Spaltöffnungen (1. Nadeljahrgang 1996) konnte aufgrund einer massiven Belegung mit schlackenähnlichem Staub und unzähligen kleinen Gipsnadeln nicht beurteilt werden und mußte daher Sonderklasse 6 zugewiesen werden (Abb. 40, 41). Die EDX-Analysen dieses Fremdstaubes ergaben als Hauptkomponente Kalzium sowie weiters Aluminium, Silizium, Schwefel, Titan, Eisen und Zink. An 17% der untersuchten Stomatawachse wurden Epibionten beobachtet. Die Nadeln dieses Probepunktes enthielten auch die höchsten Gehalte an Schwefel, Eisen und Blei.

Tab. 28: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln.
0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig

Probepunkt	Gips	Si-Partikel
St. V. 2	x	x
St. V. 8	0	x
Wie 6	0	0
Wie 20	0	0
Wie 18	xxx	0
Wie 10	x	0

Vereinzelte Gipskristalle konnten ebenso auf den Nadeloberflächen der Probepunkte Wie 20 (nordwestlich in Werksnähe), St. V. 8 (Abb. 42) und St. V. 2 beobachtet werden. Sphärische Silikatpartikel mit einem Durchmesser von rd. 10 µm wurden an Nadeloberflächen der Probepunkte St. V. 2 und St. V. 8 detektiert.



Abb. 40: PP. Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit massiver Belegung durch Gipskristalle. Vergrößerung: 3000fach.

Tab. 29: Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cl	S	N _{Kjeldahl}	Ca	K	Mg	P
	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
St.V. 2	0,10	0,09	1,2	4271	5715	1215	1399
St.V. 8	0,10	0,12	1,1	6839	9259	1144	1554
Wie 6	0,09	0,13	1,5	6683	7730	1317	2570
Wie 10	< 0,08	0,13	1,4	7221	9392	1151	1547
Wie 18	0,08	0,16	1,1	6960	9704	920	1142
Wie 20	0,08	0,09	1,0	6755	8757	977	1525

Tab. 30: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg
St.V. 2	2,9	27	1048	30	0,04	0,2
St.V. 8	2,6	48	42	33	< 0,01	0,2
Wie 6	3,3	30	679	33	0,10	0,1
Wie 10	3,4	43	49	48	< 0,01	0,3
Wie 18	2,6	46	42	117	0,04	1,9
Wie 20	3,0	43	37	38	< 0,01	0,2

Vergleichsweise zu 25 österreichischen Hintergrundstandorten (TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) weist Wietersdorf signifikant höhere Schwefel-, Kalzium- und Kaliumgehalte und signifikant geringere Kupfergehalte auf (Abb. 41). V.a. der Standort „Wie 18“ wies einen auffällig über dem Grenzwert von 0,11 % der 2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen liegenden Schwefelgehalt auf. Auch der Bleigehalt dieses Standortes ist deutlich höher als jene der anderen Wietersdorfer Standorte und jene von 25 österreichischen Hintergrund-Standorten und deutet auf einen erhöhten Immissionseinfluß auf diesem Standort hin. Die Kaliumgehalte liegen teilweise über dem optimalen Bereich nach FOERST ET AL. (1987), dessen Obergrenze mit 0,80 % angegeben wird. Trotz vergleichsweise geringer Kupfergehalte in Wietersdorf liegen alle Standorte über der Mangelgrenze von 2 mg/kg nach GULDER & KÖLBEL (1993). Weiters sind auch die Mangangehalte von vier der sechs Standorte in Wietersdorf auffällig niedrig und liegen bereits unter Richtwerten für ausreichende Versorgung (Tab. 29, BERGMANN, 1993: 50 mg/kg, ZÖTTL, 1990: 80 mg/kg).

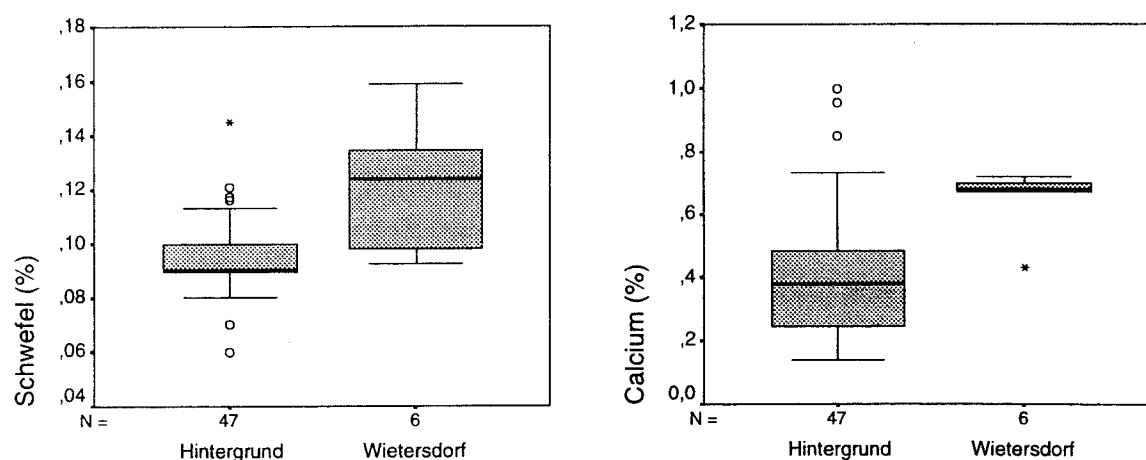


Abb. 41: Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wietersdorf und von Hintergrundstandorten

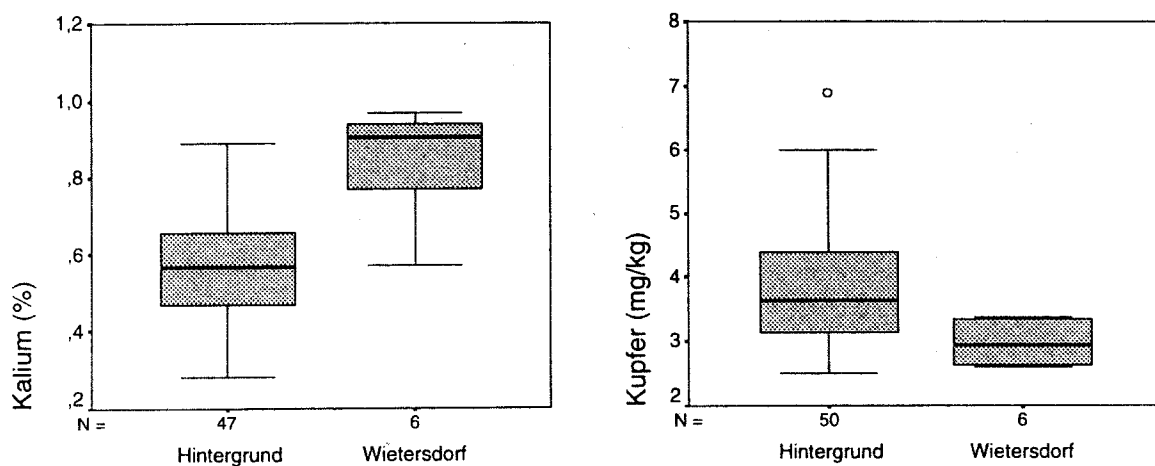


Abb. 41: (Fortsetzung) Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wietersdorf und von Hintergrundstandorten.

4.9 Gesamtübersicht über die Ergebnisse für 1996

4.9.1 Gebietsweiser Vergleich

4.9.1.1 Nadeloberflächenparameter

In Abbildung 42 und 43 werden vergleichsweise die Ergebnisse der Nadeloberflächenparameter für die einzelnen Untersuchungsgebiete des Jahres 1996 zusammengestellt. Neben den in den vorangegangenen Kapiteln behandelten Untersuchungsgebieten Frantschach, Kematen, Lenzing, Leoben/Donawitz, Treibach, Wels und Wietersdorf finden sich in den Darstellungen auch Ergebnisse für 1996 zu anderen Regionen. Diese Gebiete (Zederhaus, Wien-Oberlaa, Frohnleiten, Kapfenberg, Ternitz, Kötschach-Mauthen, Schwaz-Wattens-Hall) wurden im Rahmen eines Biomonitoringprogrammes des Umweltbundesamtes auf flüchtige Chlorkohlenwasserstoffe und Nitrophenole beprobt, das sich derzeit in Bearbeitung befindet. Da es sich um dasselbe Beprobungsjahr zu den vorher diskutierten Untersuchungsregionen handelt, wurden die Ergebnisse zu den Nadeloberflächenparametern bereits hier zu Vergleichszwecken miteinbezogen.

In den Untersuchungsgebieten Frantschach, Lenzing, Linz, Kematen, Treibach, Wels, Wietersdorf und Zederhaus wurden einzelne Standorte mit einer Wachsqualität schlechter als 2,25 identifiziert, ab der von einer Beeinträchtigung der Stomatawachse gesprochen werden kann (TRIMBACHER ET AL., 1995). Auffällig sind v.a. die Untersuchungsgebiete Kematen und Wels mit vergleichsweise stärkeren Wachsbefruchtigungen (Abb. 42). Es ist jedoch anzumerken, daß an einigen Standorten in den beiden genannten Untersuchungsgebieten die schlechteren Wachsqualitäten vorwiegend auf mechanische Beeinflussung zurückzuführen sind. Durch Witterungseinflüsse, wie Wind oder Regen kommt es zu einem Aneinanderreiben der Nadeln und in weiterer Folge zu mechanisch verursachten Veränderungen der Wachsmikrostruktur.

Aufgrund der Staubbelegung auf den Nadeln einzelner Standorte in Frantschach, Kematen, Leoben, Linz, Treibach, Wels und Wietersdorf ist anzunehmen, daß in diesen Untersuchungsgebieten vergleichsweise höhere Staubbelastungen der Luft auftreten (Abb. 43).

In Frantschach, Frohnleiten, Kapfenberg, Leoben, Lenzing, Linz, Treibach, Wels und Wien-Oberlaa lagen Untersuchungsstandorte, bei denen auf mehr als 20% der untersuchten Spaltöffnungen Epibiontenbelegung festgestellt werden konnte. Besonders auffällig ist die vergleichsweise starke Belegung eines Standortes in Linz, die frühere Ergebnisse in TRIMBACHER & WEISS (1997) aus diesem Raum bestätigt. Abbildung 43 zeigt aber v.a. eine vergleichsweise stärkere Epibiontenbelegung im Raum Wels.

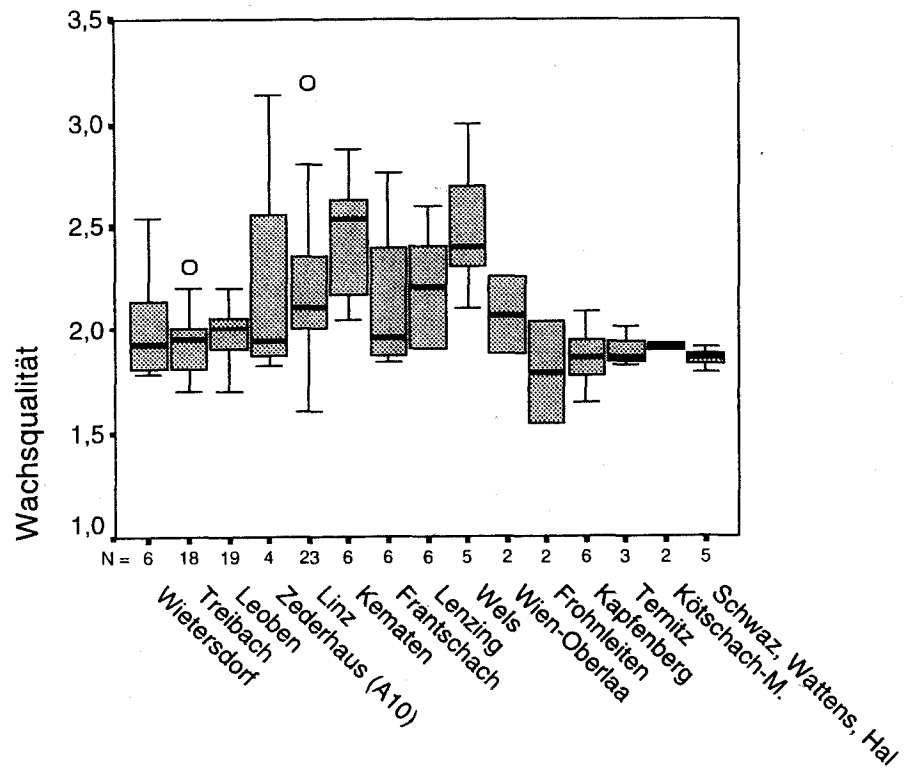
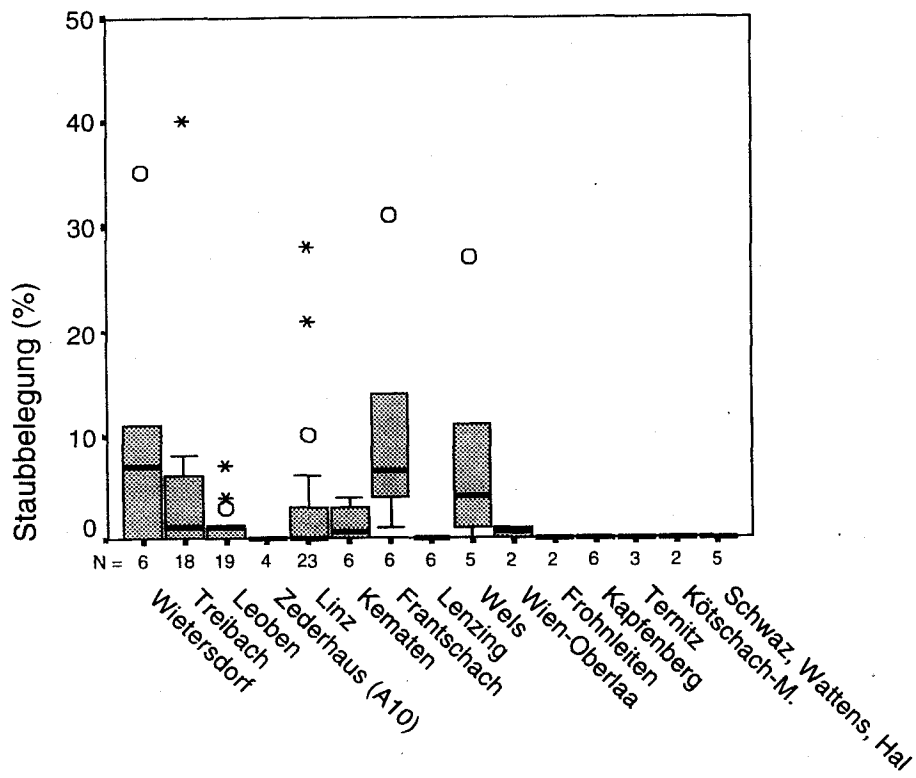


Abb. 42: Boxplots zur Wachsqualität der Untersuchungsgebiete.



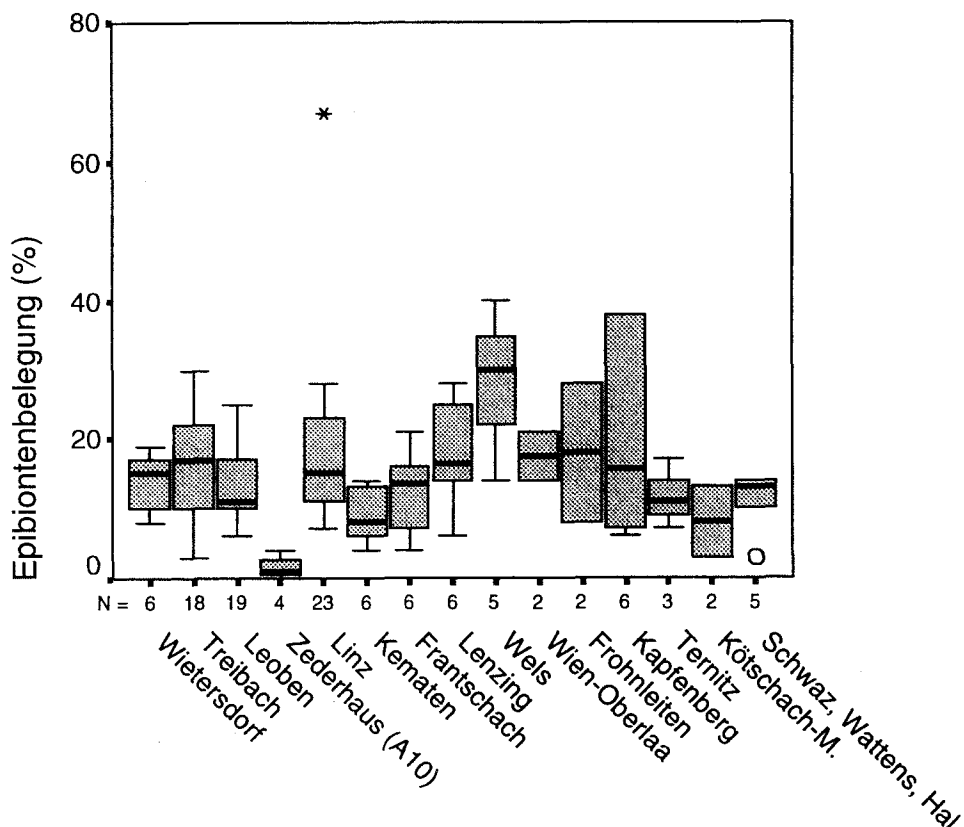


Abb. 43: Boxplots zur Staub- und Epibiontenbelegung der Untersuchungsgebiete.

4.9.1.2 Elementgehalte

Nachfolgend werden die Elementgehalte in den Nadeln jener Untersuchungsgebiete, für die diese analysiert wurden, vergleichsweise zu Ergebnissen für 25 österreichische Hintergrundstandorte aus den Jahren 1993 und 1995 (TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & WEISS, 1997) dargestellt. Es bestätigt sich das bereits in TRIMBACHER & WEISS (1997) diskutierte Ergebnis, daß an emittentennahen Standorten nicht nur höhere Gehalte von Schadelementen in den Nadeln sondern auch von Nährelementen feststellbar sind (vgl. auch Kap. 4.9.2). Allerdings muß einschränkend erwähnt werden, daß die vergleichsweise höheren Gehalte teilweise durch anlagernden Staub verursacht sein dürften.

Eine gebietsweise Diskussion zu den Schad- und Nährstoffgehalten der Nadeln und deren Vergleich zu Grenz-, Richt- und Literaturwerten findet sich in den einzelnen Kapiteln zu den Untersuchungsgebieten. Der Übersicht wegen werden die bei einzelnen Elementen vergleichsweise auffälligen Untersuchungsgebiete an dieser Stelle noch einmal aufgelistet (Abb. 44).

Stickstoff: Vergleichsweise höhere Gehalte als der Hintergrund zeigten mit Ausnahme von Wietersdorf alle anderen Untersuchungsgebiete.

Schwefel: Ein vergleichsweise höherer Level der Schwefelbelastung zeigt sich anhand der Nadelwerte v.a. für Frantschach, Leoben und Wietersdorf. Überschreitungen des Grenzwerts für Schwefel von 0,11% gemäß 2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen traten mit Ausnahme von Kematen an Standorten aller Untersuchungsgebiete auf.

Kalzium: Auffallend höhere Gehalte weisen die Untersuchungsgebiete Wietersdorf und Wels auf (Abb. 44). Besonders die Wietersdorfer Kalzium-Gehalte dürften auch durch anlagern den Staub aus Verfrachtungen des dortigen Zementwerkes und der Bruchanlage mitverursacht sein (vgl. Kap. 4.8.3).

Kalium: Abbildung 43 illustriert die deutlich höheren Kaliumgehalte in Leoben, Frantschach und Wietersdorf.

Magnesium: Höhere Magnesiumgehalte liegen in den Untersuchungsgebieten Leoben und Treibach vor.

Phosphor: Frantschach, Leoben und Treibach weisen vergleichsweise höhere Phosphorgehalte auf, die teilweise über der Grenze des Optimalbereiches von 0,20% nach FOERST ET AL. (1987) liegen.

Eisen: Vergleichsweise auffällig sind die Maximalwerte Leobens, die in Zusammenhang mit der dortigen Stahlindustrie zu sehen sind. Der Optimalbereich nach FOERST ET AL. (1987) sowie Maximalwerte des österreichweiten Bioindikatornetzes (FÜRST, 1994) werden von einzelnen Standorten in diesem Untersuchungsgebiet deutlich überschritten. In Kematen, Lenzing, Treibach und Wels wurden ebenfalls höhere Gehalte vergleichsweise zu den herangezogenen Hintergrunddaten festgestellt. Mit Ausnahme eines Standorts in Treibach bewegen sich jedoch die Gehalte dieser Untersuchungsgebiete durchwegs noch im Optimalbereich.

Mangan: Die Mangangehalte in Frantschach, Lenzing und Treibach liegen vergleichsweise höher. Die sehr niedrigen Mangangehalte in Wels weisen auf potentiellen Manganimangel hin.

Zink: Kematen und Treibach weisen vergleichsweise geringere Zinkgehalte, Leoben auffällig höhere auf.

Kupfer: Bemerkenswert ist die vergleichsweise schlechtere Kupferversorgung in Leoben, Treibach und Wietersdorf. Mangelgrenzen werden jedoch nur von einem Standort in Leoben unterschritten.

Cadmium: Ergebnisse liegen nur von einzelnen Untersuchungsgebieten vor. Mit Ausnahme einzelner Leobner Standorte wurden im Vergleich zum Hintergrund keine erhöhten Gehalte festgestellt.

Blei: Leoben und Wels weisen gemessen am Hintergrund höhere Gehalte auf. Auffällig sind wiederum einzelne Leobner Standorte.

Die Elemente *Quecksilber*, *Molybdän*, *Nickel* und *Vanadium* wurden nur für jeweils ein Untersuchungsgebiet analysiert, weshalb sie hier nicht dargestellt werden. Auf die einzelnen Kapitel zu den Untersuchungsgebieten Leoben und Treibach sei verwiesen.

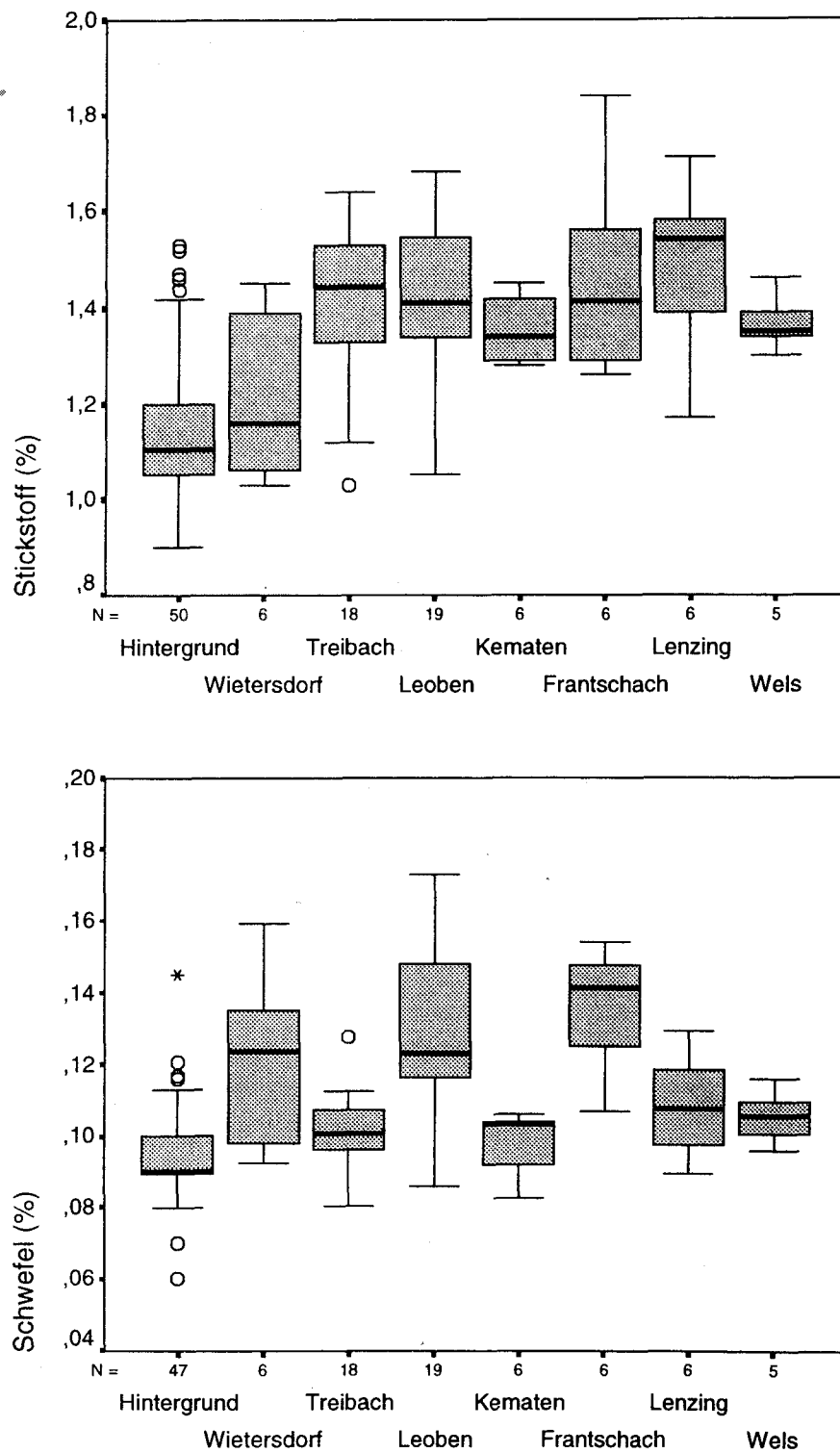


Abb. 44: Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete
(Fortsetzung nächste Seite!)

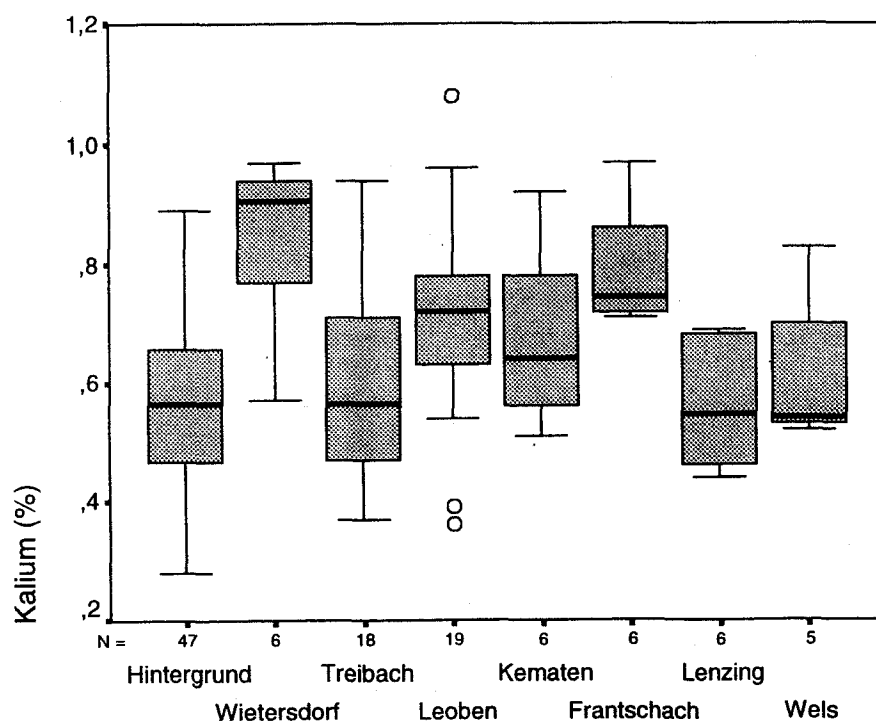
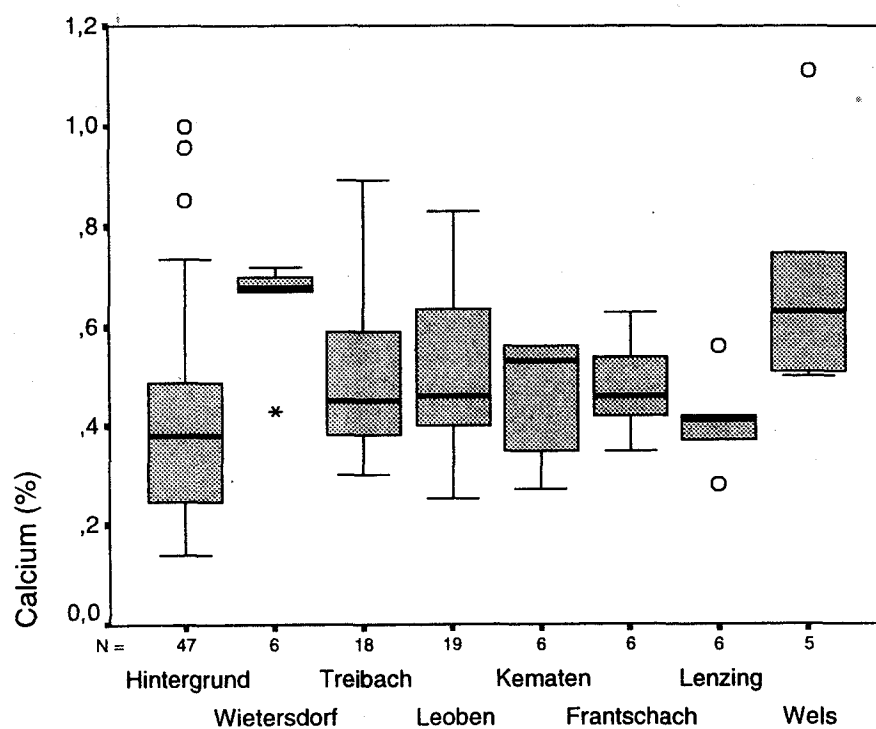


Abb. 44: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete (Fortsetzung nächste Seite!).

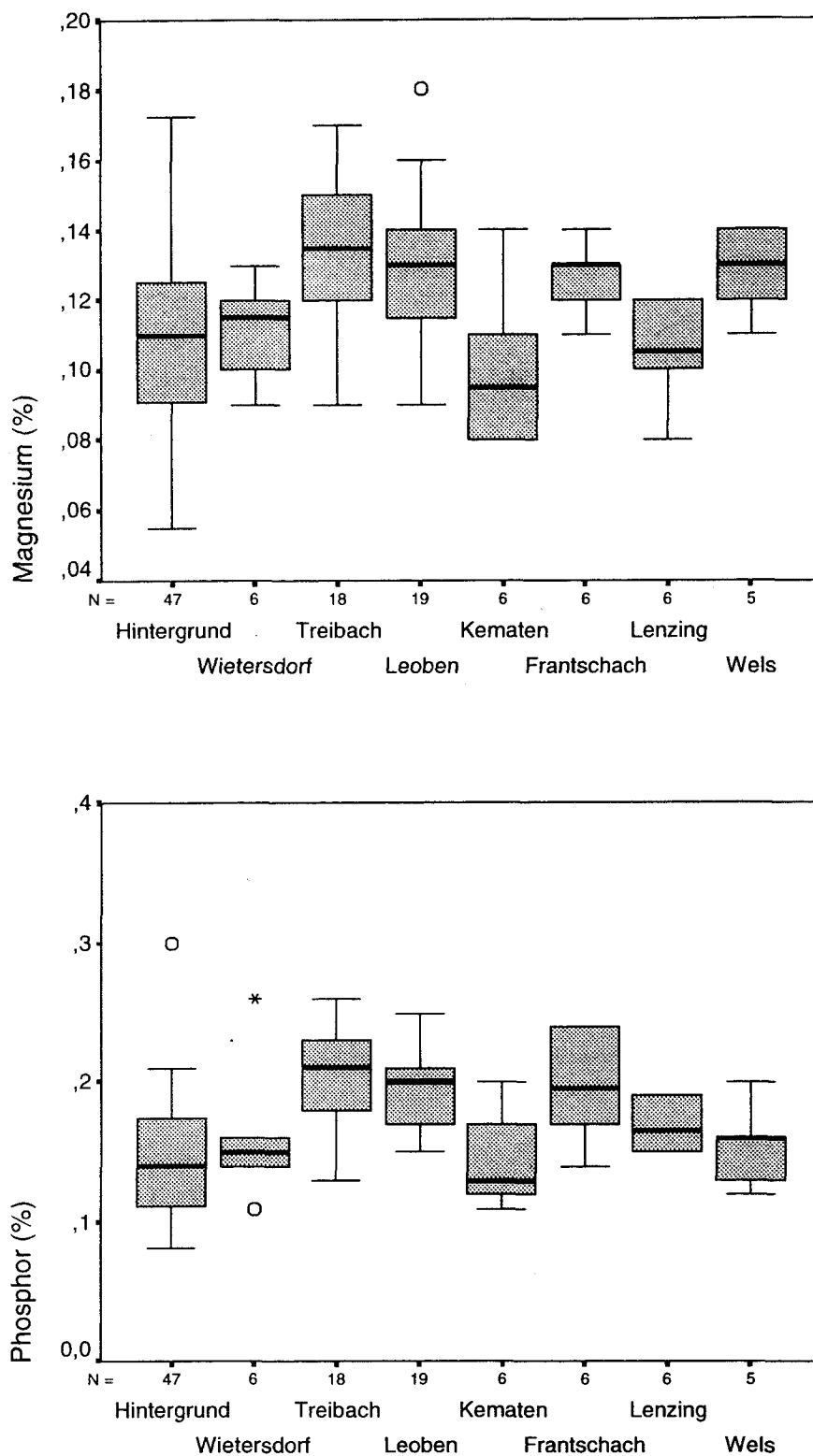


Abb. 44: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete (Fortsetzung nächste Seite!).

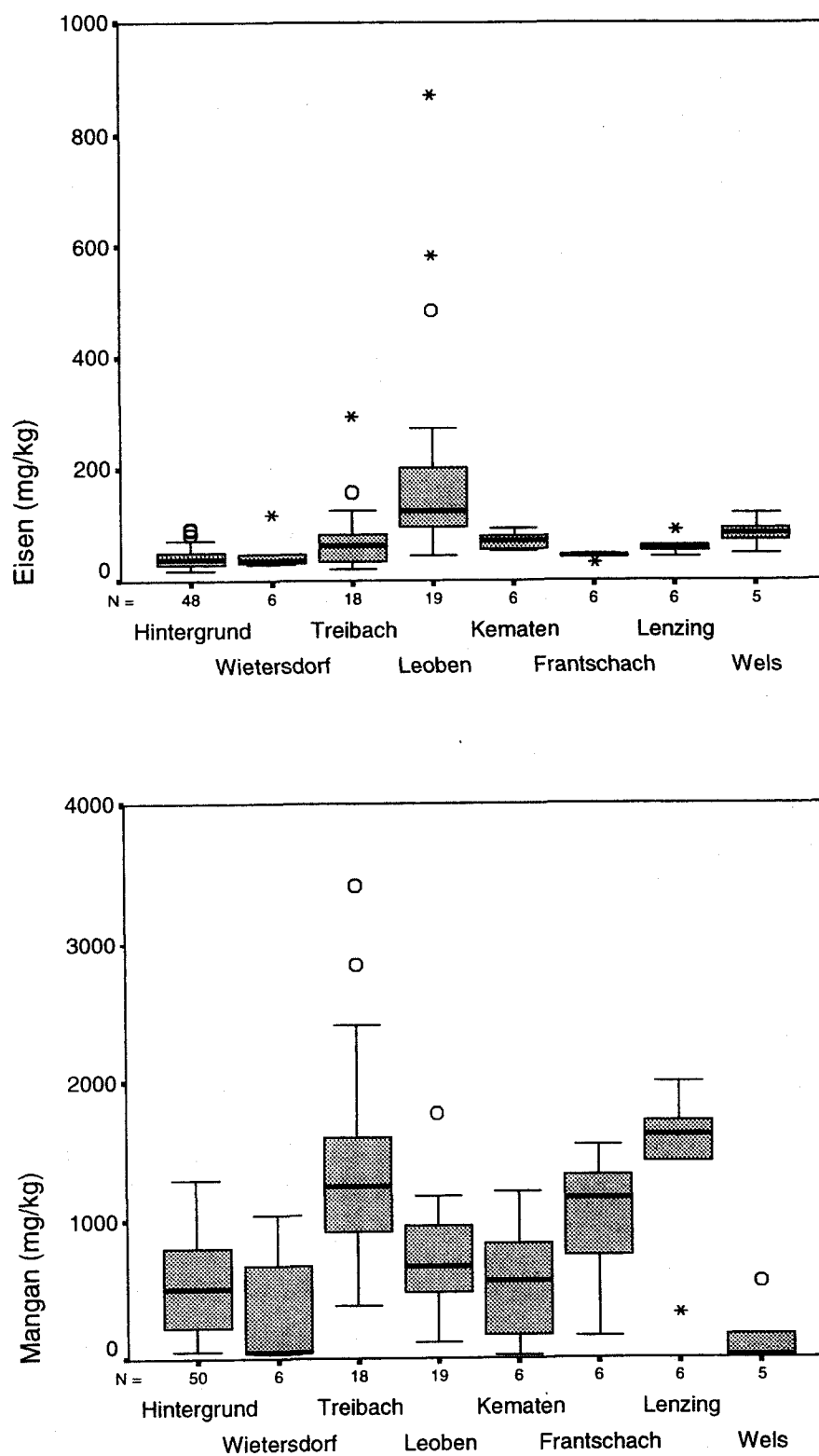


Abb. 44: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Nig.) der Untersuchungsgebiete (Fortsetzung nächste Seite!).

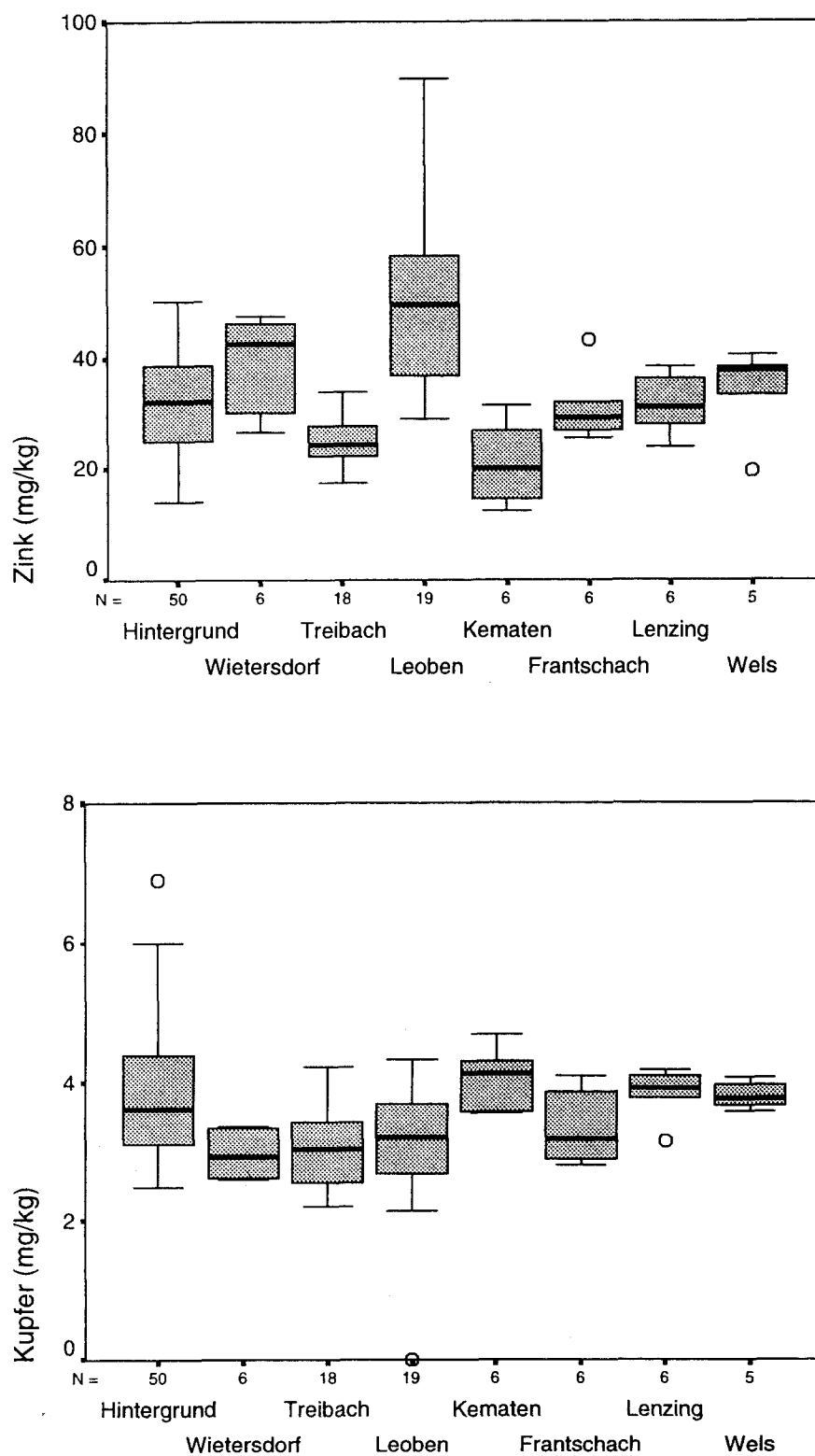


Abb. 44: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete (Fortsetzung nächste Seite!).

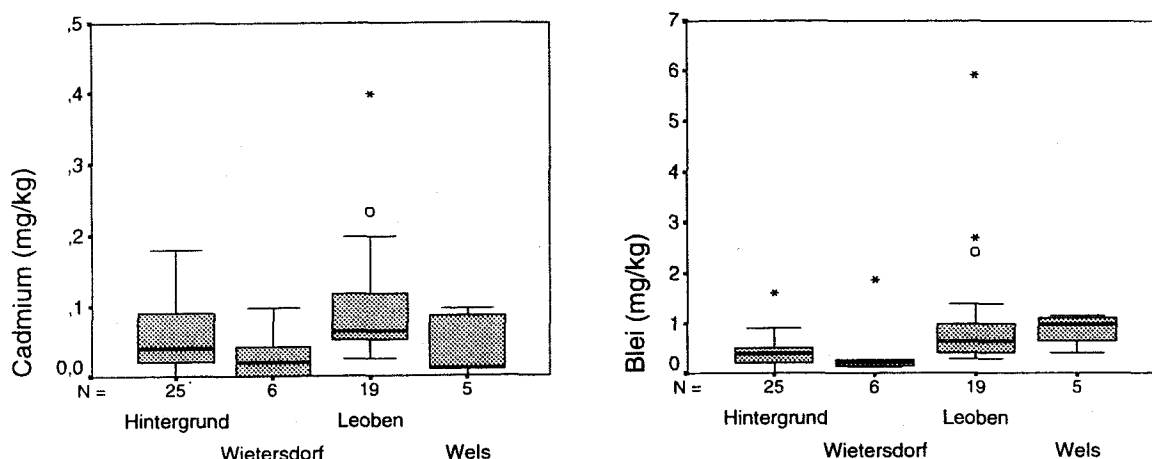


Abb. 44: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete.

4.9.2 Vergleiche nach Standortskategorien

In Anlehnung an eine frühere Studie zu Nadelparametern an Hintergrund- und emittentennahen Standorten (TRIMBACHER & WEISS, 1997) wurden die 1996 untersuchten Standorte aller Untersuchungsgebiete getrennt nach den Kategorien „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ zusammengefaßt. Die Ergebnisse dieser Standortgruppen wurden wiederum mit Daten von 25 österreichischen Hintergrundstandorten für die Jahre 1993 und 1995 (Gruppe „Hintergrund“) verglichen.

Trotz teilweise unterschiedlicher Untersuchungsgebiete konnten die Ergebnisse in TRIMBACHER & WEISS (1997) bestätigt werden, wonach die Gruppen „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ bei einer Reihe von Nähr- und Schadelementen signifikant höhere Nadelgehalte aufweisen als die Gruppe „Hintergrund“ (Abb. 45). Bei Schwefel konnte korrespondierend zu den Ergebnissen für 1995 (TRIMBACHER & WEISS, 1997) ein signifikanter, sukzessiver Anstieg der Gehalte in der Reihenfolge „Hintergrund“ < „nahe Emittenten“ < „sehr nahe Emittenten“ festgestellt werden. Der Einfluß erhöhter Schwefelimmisionen im Nahbereich österreichischer Emittenten wird dadurch offenkundig. Diese Ergebnisse bestätigen somit auch Auswertungen im Rahmen des österreichweiten Bioindikatornetzes von STEFAN & FÜRST (1998), wonach europaweite und – trotz deutlicher Emissionsreduktionen bei Schwefel in Österreich nach wie vor – österreichische Maßnahmen angebracht sind, um die Schwefelbelastung des österreichischen Waldes zu senken. Bei den Elementen Stickstoff, Magnesium, Phosphor, Eisen und Mangan zeigten die Gruppen „nahe“ und „sehr nahe“ Emittenten signifikant höhere Gehalte als der Hintergrund, zwischen den beiden emittentennahen Standortgruppen bestanden jedoch keine absicherbaren Unterschiede. Bei den Elementen Kalzium und Kalium weist jeweils nur die Gruppe „sehr nahe“ Emittenten statistisch absicherbar, höhere Gehalte als der Hintergrund auf. In den Kapiteln zu den einzelnen Untersuchungsgebieten, Kapitel 4.9.4 sowie in TRIMBACHER & WEISS (1997) wurde gezeigt, daß die vergleichsweise höheren Nährelementgehalte emittentennaher Standorte teilweise auf anlagernden Staub zurückzuführen sind und nicht ausschließlich die Gehalte in den Nadeln repräsentieren. Für die Beurteilung der Ernährungssituation von emittentennahen Waldbeständen anhand von Nadeln ist dieses Ergebnis von besonderer Bedeutung, da Nährelementgehalte ungewaschener Nadeln von solchen Standorten eine bessere Nährelementversorgung als die tatsächliche vortäuschen können. Bei Blei, wo eine Trennung in „nahe“ und „sehr nahe“ Emittenten aufgrund der geringeren Stichprobenanzahl nicht vorgenommen wurde, wiesen ebenfalls emittentennahe Standorte signifikant höhere Gehalte auf.

Bei Zink und Cadmium konnten keine Unterschiede zwischen Standortskategorien nachgewiesen werden. Lediglich bei Kupfer zeigten sich „nahe“ und „sehr nahe“ Emittenten signifikant geringere Gehalte als im Hintergrund. Bei den 1995 untersuchten Standorten war dies umgekehrt, weshalb anzunehmen ist, daß dieses Ergebnis auf unterschiedliche Gebietscharakteristika und nicht auf die Nähe zu Emittenten zurückzuführen ist (TRIMBACHER & WEISS, 1997).

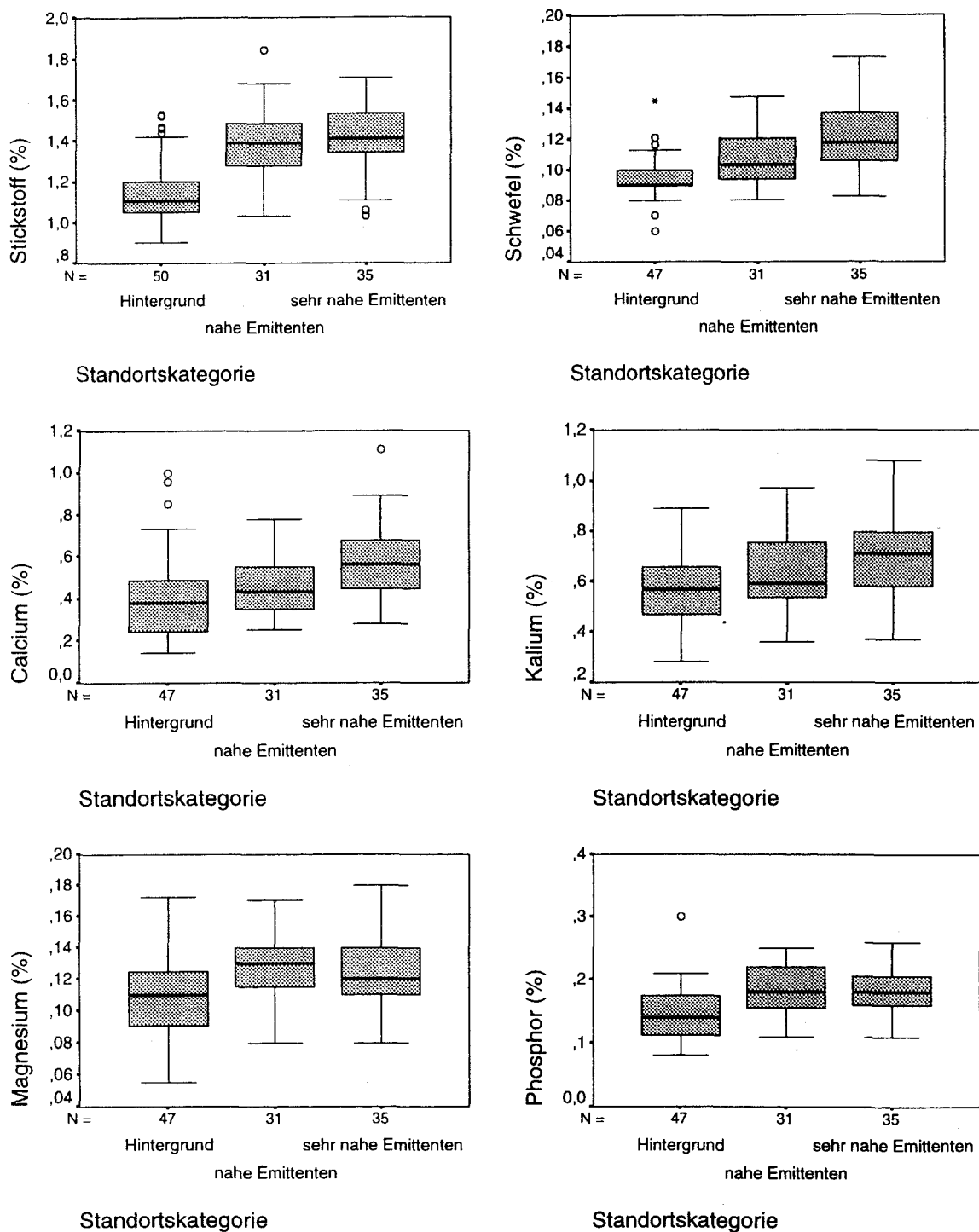


Abb. 45: Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsstandorte eingeteilt nach Standortskategorien (Fortsetzung nächste Seite!).

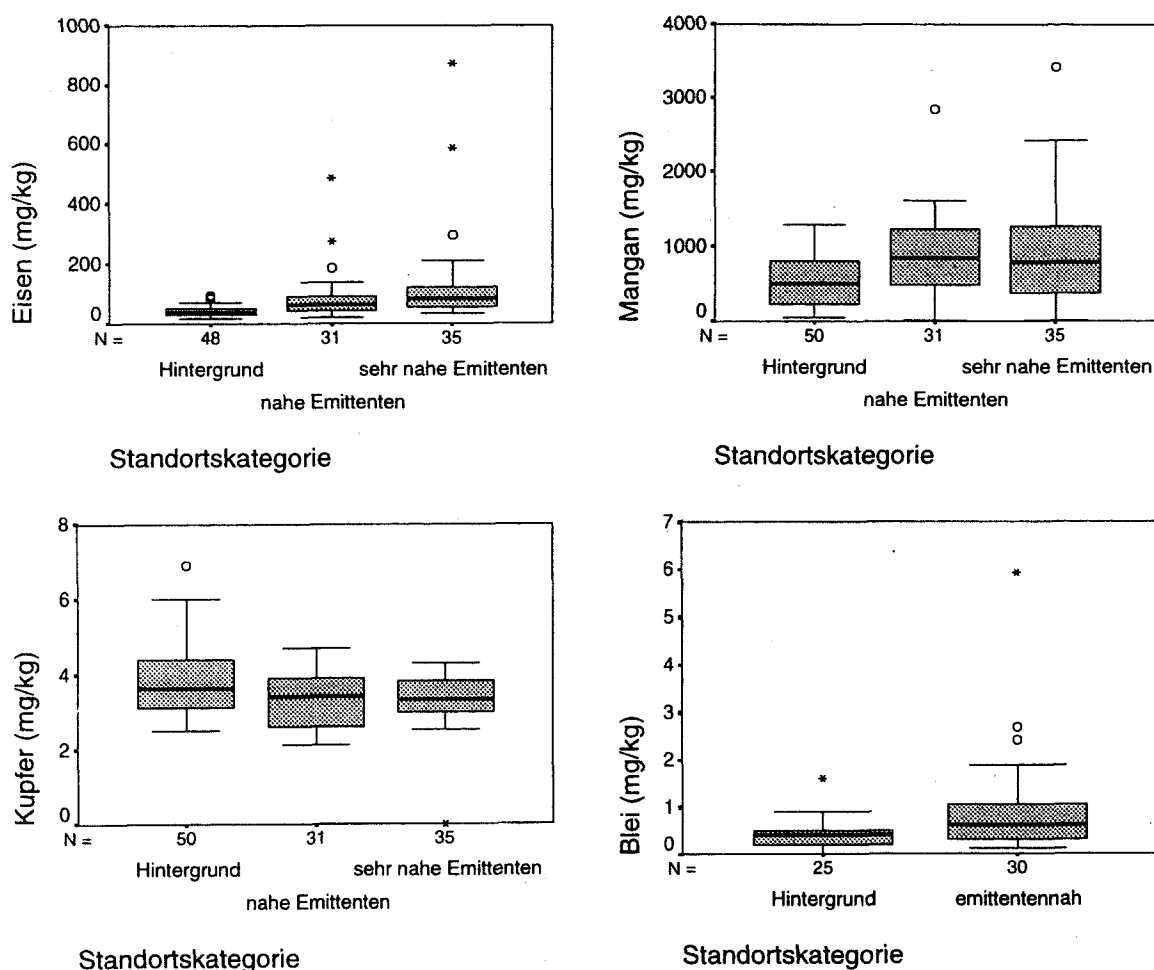


Abb. 45: (Fortsetzung) Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsstandorte eingeteilt nach Standortskategorien.

4.9.3 Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern

Zwischen zahlreichen Parametern konnten signifikante Korrelationen zwischen den Wertebereichen identifiziert werden. In den meisten Fällen waren diese Korrelationen jedoch nicht sehr ausgeprägt (Tab. 31). Nachfolgend werden für jene Parameter, die noch vergleichsweise straffer korrelieren, Scatterplots dargestellt. Dabei wurden jene Korrelationen ausgewählt, die nach Pearson berechnet einen Korrelationskoeffizienten (r) von größer 0,5 und eine Irrtumswahrscheinlichkeit (p) von kleiner 0,001 aufweisen (nicht normalverteilte Variablen wurden vor Berechnung des Pearson Korrelationskoeffizienten log-transformiert, was anhand der logarithmischen Skalierung in den Scatterplots erkennbar ist). Es ist sichtbar, daß die Zusammenhänge zwischen den Elementen Schwefel und Eisen, Schwefel und Zink, Zink und Eisen sowie Mangan und Cadmium nicht sehr straff sind (Abb. 46).

Eine vergleichsweise straffe positive Korrelation konnte zwischen den Elementen Eisen und Blei nachgewiesen werden (Abb. 46 links). Dieses Ergebnis kann nicht alleine darauf zurückgeführt werden, daß 19 der 30 Standorte, für die Werte für jeweils beide Elemente vorliegen, auf das Untersuchungsgebiet Leoben entfallen. In Kapitel 4.4 (Abb. 19) wurde dargestellt, daß in Leoben bedingt durch den Einfluß der Stahlhütte vergleichsweise starke Korrelationen bei diesen Elementen auftreten. In Abbildung 47 (rechts) zeigt sich nämlich, daß für die verbleibenden elf Standorte mit Eisen- und Bleiwerten der Untersuchungsgebiete Wels

und Wietersdorf ebenfalls eine signifikante, straff positive Korrelation vorliegt. Somit scheint eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente bei allen drei Untersuchungsgebieten und deren unterschiedlichen Hauptemittenten (Stahlwerk, Müllverbrennungsanlage und Zementwerk) vorzuliegen.

Bemerkenswerte Ergebnisse bringt eine getrennte Berechnung von Korrelationen für die Standortskategorien „nahe Emittenten“ und „sehr nahe Emittenten“ (dargestellt werden wiederum nur signifikante Korrelationen mit einem $r > 0,5$ und $p < 0,001$). Es zeigt sich nämlich, daß in der Kategorie „nahe Emittenten“ eine signifikante negative Korrelation zwischen der Wachsqualität und den Phosphorgehalten sowie signifikant positive Korrelationen zwischen Schwefel und Stickstoff, Cadmium und Blei vorliegen, während in der Kategorie „sehr nahe Emittenten“ keine signifikanten Korrelationen zwischen diesen Parametern vorliegen (Abb. 48). Umgekehrt wurde nachgewiesen, daß Schwefel und Cadmium sowie Mangan und Cadmium nur in der Kategorie „sehr nahe Emittenten“ signifikant positiv korreliert sind. Zwischen allen diesen Parametern konnten auch ohne Teilung in Kategorien signifikante Zusammenhänge abgesichert werden (Tab. 31), allerdings lassen sich diese Korrelationen bei einer Trennung nach Standortskategorien klarer darstellen. Folgende Möglichkeiten einer Erklärung bieten sich an: Korrelationen in der Kategorie „nahe Emittenten“ sind generell kennzeichnend für Regionen mit vergleichsweise höheren Immissionen, diese resultieren jedoch aus einem Mix aus verschiedenen Quellen (Betriebe, Kfz-Verkehr, häusliche und gewerbliche Quellen, etc.). Dies könnte etwa den Zusammenhang zwischen Schwefel und Stickstoff, der sich auch in der Untersuchung 1995 (TRIMBACHER & WEISS, 1997) zeigte, sowie zwischen Cadmium und Blei erklären. Im Unterschied dazu ist die Korrelation zwischen Schwefel und Cadmium sowie Mangan und Cadmium der Kategorie „sehr nahe Emittenten“ auf die spezifische Situation nahe den betrachteten Hauptemittenten der Untersuchungsgebiete, für die Daten zu beiden Parametern vorliegen (Leoben, Wels und Wietersdorf), zu erklären. Bei Betrachtung jener Standorte „sehr nahe Emittenten“ aus diesen Gebieten fällt auf, daß mehrere Standorte aus Leoben („Leo“) vergleichsweise hohe Schwefel-, Cadmium- und Mangangehalte aufweisen (Abb. 48). Ein Zusammenhang zwischen den Gehalten in Leoben, der mit der Nähe zur Hütte Donawitz erklärt werden kann, wurde bereits in Kapitel 4.4 dargestellt. Da ein Großteil der Standorte in den Scatterplots für die Elementpaare Schwefel und Cadmium sowie Mangan und Cadmium aus dem Raum Leoben stammt, ist verständlich, daß dieses Ergebnis wesentlich, durch die Ergebnisse für Leoben mitgeprägt wird. Beachtenswert ist dennoch die Einordnung von Standorten der anderen Untersuchungsgebiete in der Kategorie „sehr nahe Emittenten“: Während die Welser Standorte „We6“ und „We8“ vergleichsweise niedrigere Schwefel-, Cadmium und Mangangehalte aufweisen, zeigt der Welser Standort „We2“ in Hauptwindrichtung von der Abfallverbrennungsanlage eher höhere Mangan und Cadmiumgehalte. Der Wietersdorfer Standort „Wie18/1“ weist eher geringe Mangan- und Cadmiumgehalte, aber vergleichsweise hohe Schwefelgehalte, der Wietersdorfer Standort „Wie 6“ vergleichsweise höhere Mangan und Cadmiumgehalte auf. Es wäre demnach beispielsweise zu prüfen, inwieweit der gemeinsame Anstieg des Elementpaares Mangan und Cadmium von „We6“ und „We8“ zu „We2“ durch (frühere oder jetzige) Einflüsse der dortigen Abfallverbrennungsanlage mitgeprägt ist oder auf bodenchemische Unterschiede zurückzuführen ist. Weiters wäre zu klären, auf welche Ursachen die markant höheren Mangan- und Cadmiumgehalte von „Wie6“ im Vergleich zu „Wie18“ zurückzuführen sind, die beide in unmittelbarer Nähe der dortigen Zementwerke liegen, obwohl „Wie18“ deutlich höhere Schwefelgehalte aufweist. Auch hier bieten sich neben spezifischen Immissionseinflüssen bodenchemische Ursachen an. Eingehendere Untersuchungen an den Standorten Wels und Wietersdorf könnten dies klären.

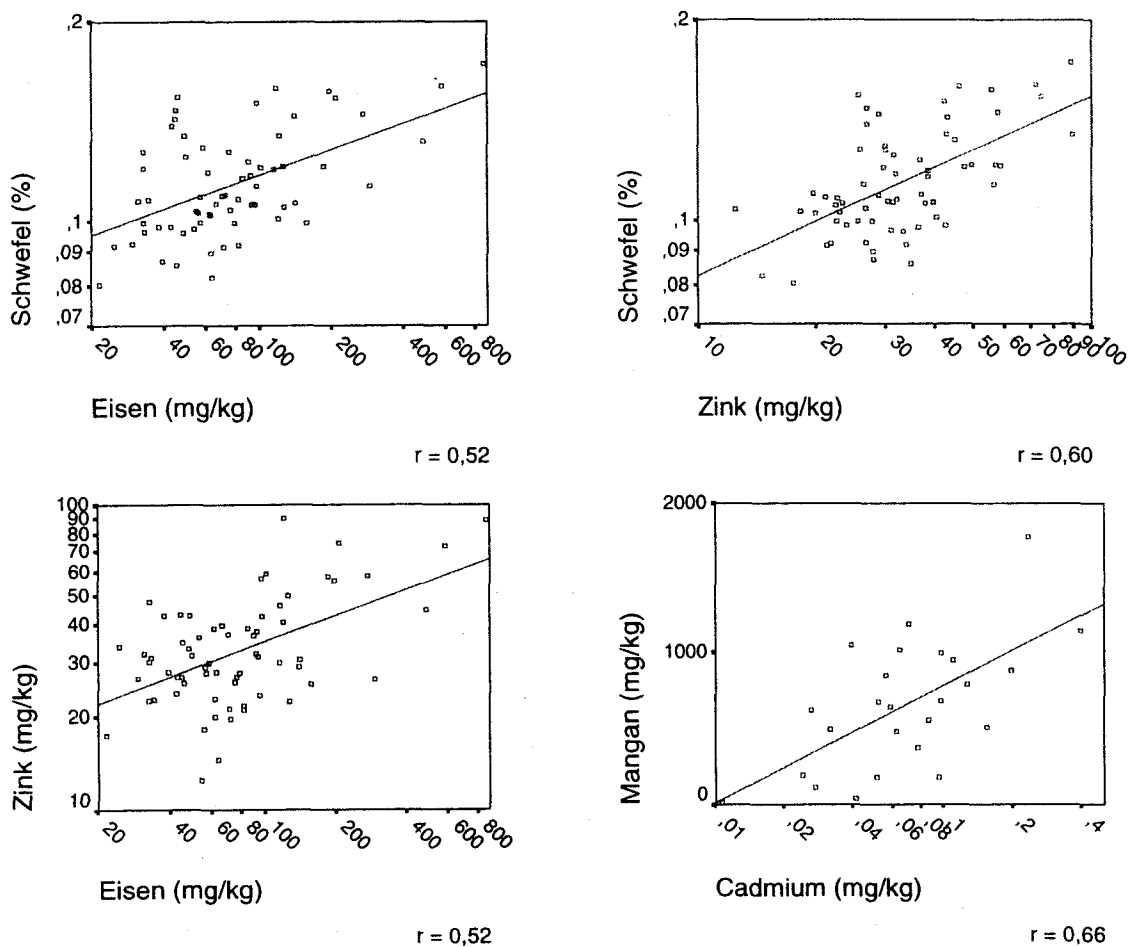


Abb. 46: Scatterplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittentennaher Standorte der Beprobung 1996 mit einem $r > 0,5$ und $p < 0,001$.

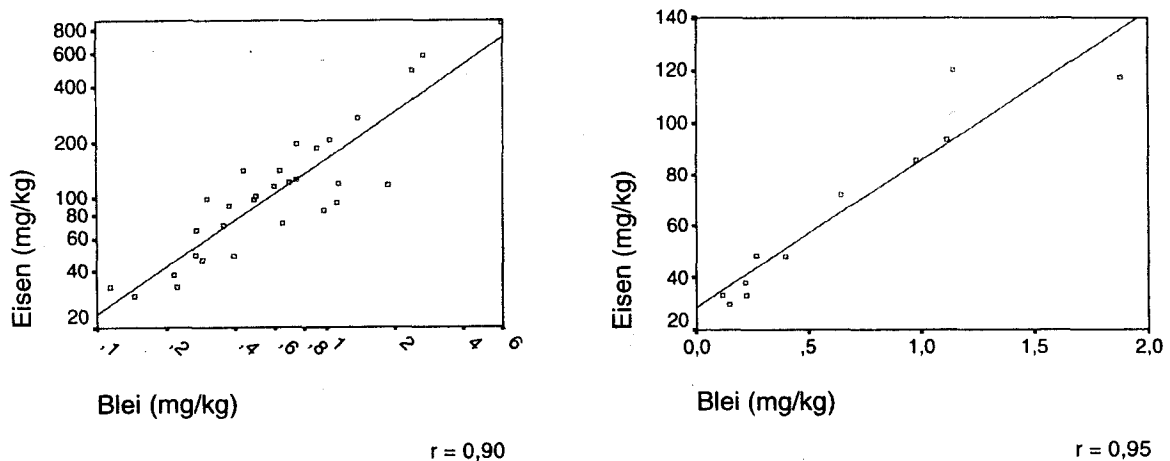


Abb. 47: Scatterplots zu den Eisen- und Bleigehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittentennaher Standorte der Beprobung 1996 für alle Untersuchungsgebiete (links) und die Untersuchungsgebiete Wels und Wietersdorf (rechts).

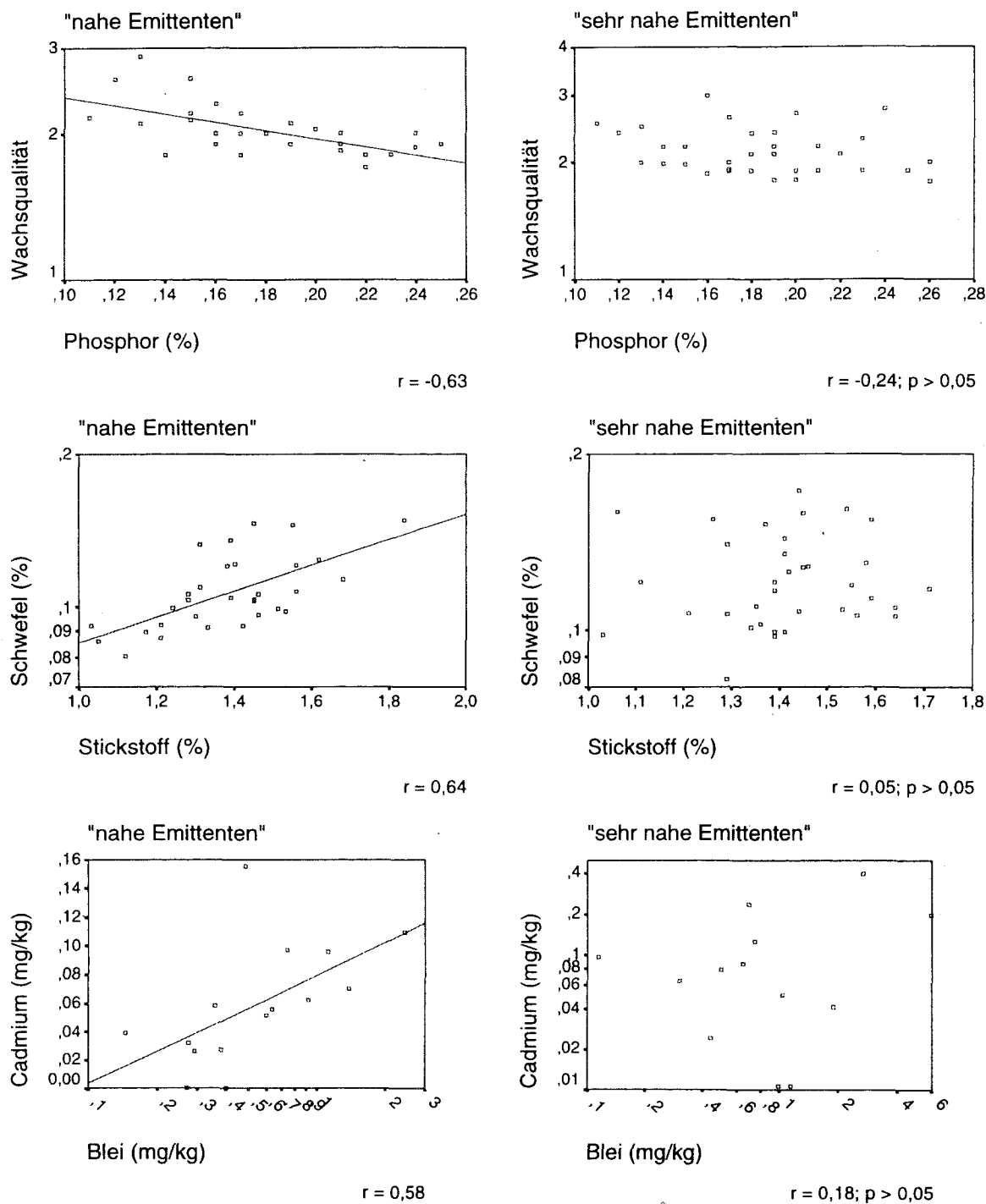


Abb. 48: Scatterplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittentennaher Standorte der Beprobung 1996 getrennt nach den Kategorien „nahe“ und „sehr nahe Emittenten“ (Fortsetzung nächste Seite!).

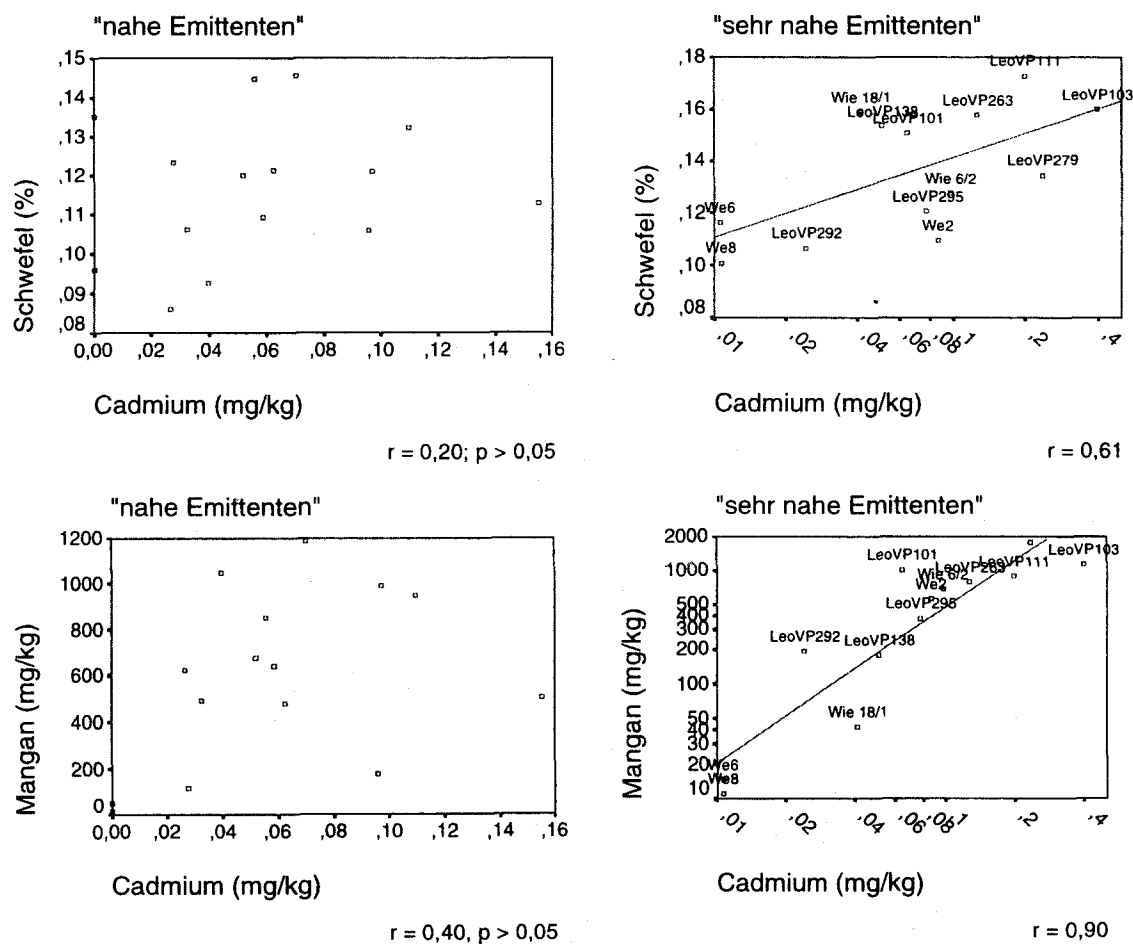


Abb. 48: (Fortsetzung) Scatterplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittenten-naher Standorte der Beprobung 1996 getrennt nach den Kategorien „nahe“ und „sehr nahe Emittenten“.

Tab. 31: Korrelationstabelle nach Spearman für die Ergebnisse der Nadelparameter im Jahr 1996 (WQ = Wachstumsqualität, EPI = Epibiontenbelegung)

Spearman. Rho	WQ	EPI	S	N	Ca	K	Mg	P	Cu	Zn	Mn	Fe	Cd	Pb
WQ	1,000	,261**	-,087	-,090	,182	-,064	-,185	-,433**	,332**	-,039	-,327**	,186	-,379*	,135
EPI	,261**	1,000	,091	,315**	,278*	-,070	,123	,042	,280*	,141	-,043	,149	-,401*	,494**
S	-,087	,091	1,000	,363**	,287*	,435**	,144	,222	,124	,536**	,010	,440**	,504**	,366**
N	-,090	,315**	,363**	1,000	,119	,040	,153	,345**	,432**	,056	,227	,318**	,572**	,085
Ca	,182	,278*	,287*	,119	1,000	,194	-,038	-,260*	,176	,343**	-,406**	,159	-,060	,043
K	-,064	,435**	,435**	,040	,194	1,000	,308*	,064	-,003	,373**	-,209	,057	,114	,176
Mg	-,185	,123	,144	,153	-,038	-,308*	1,000	,472**	-,251*	,075	,277*	,108	,338	,084
P	-,433**	,042	,222	,345**	-,260*	,064	,472**	1,000	-,147	,097	,300*	,122	,454*	,510**
Cu	,332**	,284*	,124	,432**	,176	-,003	-,251*	-,147	1,000	,027	-,121	,233	,242	,494**
Zn	-,039	,141	,536**	,056	,343**	,373**	,075	,097	,027	1,000	-,240	,373**	,424*	,158
Mn	-,327**	-,043	,010	,227	-,406**	-,209	,277*	,300*	-,121	-,240	1,000	-,136	,732**	,840**
Fe	,186	,280*	,440**	,318**	,159	,057	,108	,122	,233	,373**	-,136	1,000	,549**	,473**
Cd	-,379*	-,149	,504**	,572**	-,060	,114	,338	,454*	,242	,424*	,732**	,549**	1,000	,1,000
Pb	,135	,401*	,494**	,366*	,085	,043	,176	,084	,510**	,494**	,158	,840**	,473**	,1,000
Sign.	WQ	,005	,485	,474	,143	,607	,136	,000	,006	,755	,007	,134	,039	,476
EPI	,005	1,000	,465	,010	,024	,574	,326	,738	,021	,259	,729	,023	,433	,028
S	,485	,465	1,000	,003	,019	,000	,248	,073	,322	,000	,933	,000	,004	,006
N	,474	,010	,003	1,000	,342	,751	,220	,005	,000	,658	,067	,009	,001	,047
Ca	,143	,024	,009	,342	1,000	,119	,764	,035	,157	,005	,001	,202	,753	,853
K	,607	,574	,000	,751	,119	,012	,012	,612	,982	,002	,092	,647	,549	,822
Mg	,136	,326	,248	,220	,764	,012	,000	,000	,042	,549	,024	,388	,068	,353
P	,000	,738	,073	,005	,035	,612	,000	,238	,329	,440	,014	,329	,012	,658
Cu	,006	,021	,322	,000	,157	,982	,042	,238	,827	,827	,333	,060	,197	,004
Zn	,755	,259	,000	,658	,005	,002	,549	,440	,827	,052	,052	,002	,019	,006
Mn	,007	,729	,933	,067	,001	,092	,024	,014	,333	,002	,277	,277	,000	,405
Fe	,134	,023	,000	,009	,202	,647	,388	,329	,060	,002	,000	,002	,002	,000
Cd	,039	,433	,004	,001	,753	,549	,068	,012	,197	,019	,000	,002	,000	,008
Pb	,476	,028	,006	,047	,653	,822	,353	,658	,004	,006	,405	,000	,008	,008
n	WQ	113	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
EPI	113	113	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
S	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
N	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Ca	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
K	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Mg	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
P	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Cu	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Zn	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Mn	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Fe	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	30	30
Cd	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Pb	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

**, Correlation is significant at the .01 level (2-tailed).

*, Correlation is significant at the .05 level (2-tailed).

4.9.4 Unterschiede zwischen Standorten mit und ohne Staub- bzw. Gipskristallbelastung

Bei Heranziehung aller 1996 untersuchten Standorte zeigte sich lediglich bei Magnesium ein signifikanter Unterschied zwischen Standorten mit und ohne Staubbelastung. Die Gruppe von Standorten mit Staubbelastung wies signifikant höhere Magnesiumgehalte als die Gruppe ohne Staub auf (Abb. 49). Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, daß die Staubbelastung selbst die Ursache für diesen gehaltsmäßigen Unterschied darstellt. Auch dies stellt einen Hinweis dar, daß an emittentennahen Standorten eine Beurteilung der Ernährungssituation von Waldbeständen anhand von ungewaschenen Nadeln unter Umständen zu verfälschten Ergebnissen führt. Bei den Ergebnissen für die Untersuchungsgebiete des Jahres 1995 zeigte sich dieser Unterschied für eine Reihe weiterer Elemente (TRIMBACHER & WEISS, 1997).

Teilt man die Standorte in die Gruppen mit und ohne Gipskristallen auf den Nadeln, so zeigen sich folgende signifikante Unterschiede: Die Gruppe mit Gipskristallen weist eine schlechtere Wachsqualität sowie geringere Stickstoff-, Magnesium- und Phosphorgehalte in den Nadeln auf (Abb. 50). Bereits in der vorangegangenen Studie (TRIMBACHER & WEISS, 1997) wurde der Hinweis von Gipskristallen auf Nährstoffleaching aus den Nadeln durch höhere Schwefelbelastung dargestellt und diskutiert. Magnesium stellt u.a. eines jener Elemente dar, die bei erhöhter Schwefelbelastung aus den Nadeln ausgewaschen werden (SEUFERT & EVERS, 1989). Der gehaltsmäßige Unterschied bei Magnesium zwischen Standorten mit und ohne Gips könnte damit in Zusammenhang stehen.

Schließlich zeigte sich auch für die Daten aus dem Jahr 1996 - gleich den Ergebnissen für 1995 (TRIMBACHER & WEISS, 1997) - daß das Auftreten von Staub und der Nachweis von Gipskristallen auf den Spaltöffnungen nicht voneinander unabhängig sind. 40% der Standorte, die eine Staubbelastung aufwiesen, hatten auch Gipskristalle auf den Spaltöffnungen. Während nur bei 17% der Standorte ohne Staub Gipskristalle nachgewiesen werden konnten (Tab. 32).

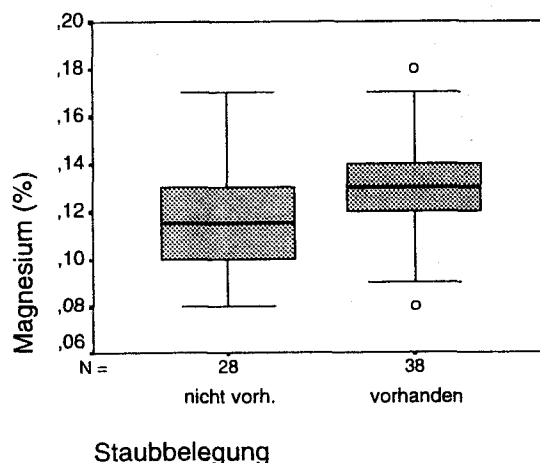


Abb. 49: Boxplots zu den Magnesiumgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) getrennt nach Gruppen mit und ohne Staub auf den Spaltöffnungen.

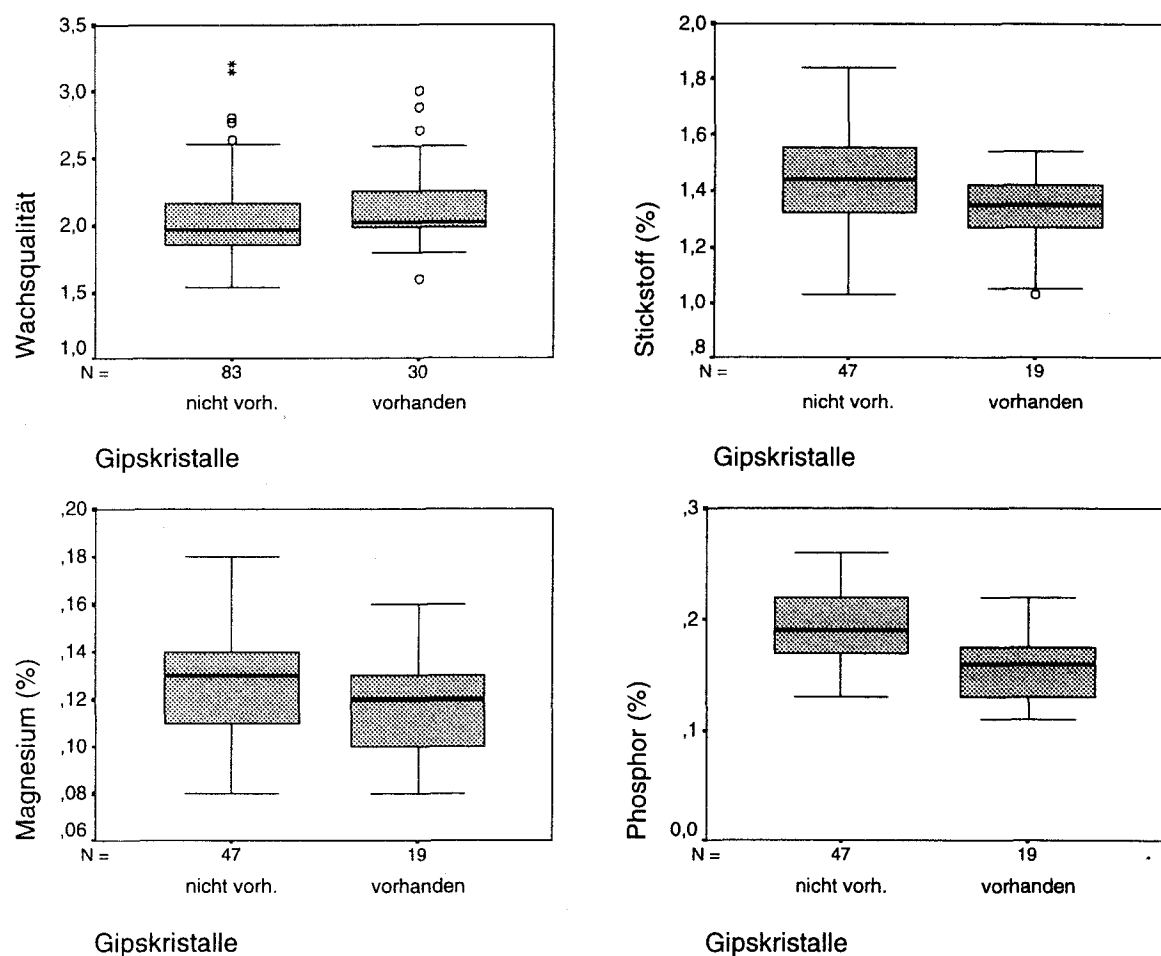


Abb. 50: Boxplots zur Wachsqualität und zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) getrennt nach Gruppen mit und ohne Gipskristallen auf den Spaltöffnungen.

Tab. 32: Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten mit und ohne Staub bzw. mit und ohne Gipskristallen auf den Spaltöffnungen.

			Gipskristalle		Total
			nicht vorhanden	vorhanden	
Staub	nicht vorhanden	n % innerhalb Staubkategorie	55 83,3%	11 16,7%	66 100,0%
	vorhanden	n % innerhalb Staubkategorie	28 59,6%	19 40,4%	47 100,0%
Total		n % innerhalb Staubkategorie	83 73,5%	30 26,5%	113 100,0%

5 TABELLEN- / ABBILDUNGSVERZEICHNIS

1	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Frantschach	8
2	Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen, sphärischen Silikatpartikeln und Rußpartikeln.	9
3	Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht	13
4	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	13
5	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Kematen.....	16
6	Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen, sphärischen Silikatpartikeln	16
7	Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht	18
8	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	19
9	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Lenzing.....	21
10	Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht	22
11	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	23
12	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung, Belegung der Nadeln mit Epibionten, Gipskristallen und eisenhaltigen Partikeln im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz	27
13	Schwefel-, Fluor- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11%; GW für F im 1. Njg.: 0,8 mg%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.....	30
14	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	31
15	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staub- und Epibiontenbelegung der Nadeln im Untersuchungsgebiet Linz	44
16	Belegung der Nadeln mit Gipskristallen, div. Flugaschepartikeln (sphärische Eisenpartikel, Aluminiumsilikatpartikel, cenosphärische Rußpartikel) und amorphen Staub- aggregaten im Untersuchungsraum Linz	46
17	Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Linzer Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Gipskristalle auf den Spaltöffnungen der Fichtennadeln (1. Njg.) nicht bzw. vorhanden waren	50
18	Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Linzer Standorten innerhalb der einzelnen Standortskategorien, wo Staub auf den Spaltöffnungen der Fichtennadeln (1. Njg.) nicht bzw. vorhanden war	50
19	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Treibach	54

20	Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Treibach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	58
21	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Treibach. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	59
22	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wels	72
23	Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln	74
24	Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wels. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	74
25	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wels. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	74
26	Massenströme 93-96 absolut in t/Jahr. Quelle: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH, 1997.	77
27	Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf	79
28	Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln	79
29	Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	80
30	Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.	81
31	Korrelationstabelle nach Spearman für die Ergebnisse der Nadelparameter im Jahr 1996 (WQ = Wachsqualität, EPI = Epibiontenbelegung)	99
32	Kreuztabelle zu der Anzahl und den Prozentanteilen von Standorten mit und ohne Staub bzw. mit und ohne Gipskristallen auf den Spaltöffnungen	101
1	PP.SF 1/Frantschach, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen und einem sphärischen Flugaschepartikel in der linken, oberen Bildhälfte	10
2	PP.F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit organischem Material und Gipsnadeln	10
3	PP.F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Gips, erkennbar an den charakteristischen Peaks von Schwefel (S) und Kalzium (Ca)	11
4	PP.F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Aluminiumsilikatteilchen und einem Rußpartikel	11
5	PP.F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Aluminium (Al) – und Silizium (Si)-haltigen Flugaschepartikeln	12
6	PP.WO 16/Frantschach, REM-Aufnahme von Gipskristallen auf einer Spaltöffnung	12
7	Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Frantschach und von Hintergrundstandorten	14
8	PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen	17
9	PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme eines Spaltöffnungsbereiches mit Wachsdegradationen und einem anhaftenden Gipskristall	17

10	PP. 10/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit schlechterer Wachsgüte und Fremdstaub, der sphärische Flugaschepartikel enthält.....	18
11	Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Kematen und von Hintergrundstandorten.....	19
12	PP. 8/Lenzing, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit weitgehend unbeeinträchtigten Wachsstrukturen.....	21
13	PP. 18/Lenzing, REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche.....	22
14	Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Lenzing und von Hintergrundstandorten.....	24
15	PP.VP 138/Leoben, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zwei anhaftenden, eisenhaltigen Flugaschepartikeln.....	28
16	PP.VP 138/Leoben, EDX-Spektrum der Fe-hältigen Flugaschepartikel in Abb. 15.....	29
17	PP.VP 103/Leoben, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftenden Gipskristallen.....	29
18	Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Leoben/Donawitz.....	33-34
19	Zusammenhänge zwischen Nadeloberflächenparametern und Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz.....	36
20	Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz.....	36-39
21	Boxplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Leoben/Donawitz getrennt nach Gruppen mit und ohne Staubebelegung auf den Spaltöffnungen.....	40
22	PP.L 38/Kürnberger Wald bei Linz, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit mechanisch beeinträchtigten Wachsstrukturen.....	47
23	PP.L 140/Stadtgebiet Linz, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Gipsrosen.....	47
24	PP.L 140/Stadtgebiet Linz, Detail aus Abb. 21, Nadelbereich mit Gipskristallen und einem cenosphärischen Rußpartikel.....	48
25	PP.L 142/Stadtgebiet Linz, REM-Aufnahme eines Spaltöffnungsbereiches mit massiver Staubebelegung. Neben amorphem Staub treten auch Glasphasen und sphärische Eisenpartikel auf.....	48
26	Boxplots zur Wachsgüte der Fichtennadeln (1. Njg.) von österreichischen Hintergrundstandorten und von Linzer Standorten (links) und von Linzer Standorten getrennt nach Standortskategorien (rechts).....	49
27	Boxplots zur Wachsgüte der Fichtennadeln (1. Njg.) von Linzer Standorten getrennt nach Standorten mit und ohne Gipskristallen auf den Nadeln.....	51
28	Boxplots zur Epibiontenbelegung der Fichtennadeln (1. Njg.) von österreichischen Hintergrundstandorten und von Linzer Standorten (links) und Zusammenhang zwischen Epibiontenbelegung und Wachsgüte Linzer Standorte (rechts).....	51
29	PP.Tr 44/Treibach, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen.....	55
30	PP.Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftendem Fremdstaub.....	56
31	PP.Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme von Staub, Detail.....	56
32	PP.Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, EDX-Spektrum der Staubaufgabe.....	57

33	Boxplots zu den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) österreichischer Hintergrundstandorte sowie nahe und sehr nahe Emittenten aus dem Raum Treibach	61-62
34	Zusammenhänge zwischen Nadeloberflächenparametern und Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach	64-65
35	Zusammenhänge zwischen den Elementgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach.....	65-69
36	Boxplots zur Wachsqualität der Fichtennadeln (1. Njg.) aus dem Raum Treibach getrennt nach Gruppen mit und ohne Staubbelegung auf den Spaltöffnungen	69
37	PP.W 8/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Gipskristallen	73
38	PP.W 5/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Pilzhypen und einem sphärischen Flugaschepartikel.....	73
39	Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wels und von Hintergrundstandorten.....	75-76
40	PP.Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit massiver Belegung durch Gipskristalle.....	80
41	Boxplots zu Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) aus Wietersdorf und von Hintergrundstandorten.....	81-82
42	Boxplots zur Wachsqualität der Untersuchungsgebiete.....	84
43	Boxplots zur Staub- und Epibiontenbelegung der Untersuchungsgebiete	84-85
44	Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsgebiete	87-92
45	Boxplots zu den Elementgehalten in Fichtennadeln (1. Njg.) der Untersuchungsstandorte eingeteilt nach Standortskategorien	93-94
46	Scatterplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittenten-naher Standorte der Beprobung 1996 mit einem $r > 0,5$ und $p < 0,001$	96
47	Scatterplots zu den Eisen- und Bleigehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittentennaher Standorte der Beprobung 1996 für alle Untersuchungsgebiete (links) und die Untersuchungsgebiete Wels und Wietersdorf (rechts).....	96
48	Scatterplots zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) emittenten-naher Standorte der Beprobung 1996 getrennt nach den Kategorien „nahe“ und „sehr nahe“ Emittenten.....	97-98
49	Boxplots zu den Magnesiumgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) getrennt nach Gruppen mit und ohne Staub auf den Spaltöffnungen	100
50	Boxplots zur Wachsqualität und zu den Elementgehalten in den Fichtennadeln (1. Njg.) getrennt nach Gruppen mit und ohne Gipskristallen auf den Spaltöffnungen	101

5.1 INDEX OF TABLES AND FIGURES

1	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Frantschach area.....	8
2	Covering of needles with gypsum crystallites, spherical fly ash particles and soot particles	9
3	Sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Frantschach area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C.....	13
4.	Metal contents of spruce needles in the Frantschach area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.	13
5	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Kematen area	16
6	Covering of needles with gypsum crystallites and spherical silicon-rich particles.....	16
7	Sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Kematen area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C.....	18
8	Metal contents of spruce needles in the Kematen area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.....	19
9	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Lenzing area	21
10	Sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Lenzing area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C.....	22
11	Metal contents of spruce needles in the Lenzing area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.....	23
12	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with microorganisms, gypsum crystallites and iron-rich particles in the Leoben/Donawitz area	27
13	Sulphur, fluorine and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for S in current-year needles: 0,11%, limit value for F in current-year needles: 0,8mg%) in the Leoben/Donawitz area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C	30
14	Metal contents of spruce needles in the Leoben/Donawitz area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C	31
15	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Linz area	44
16	Covering of needles with gypsum crystallites, various fly ash particles (spherical iron-rich, spherical aluminium-silicon-rich, cenospherical soot) and amorphous dust aggregates in the Linz area	46
17	Crosstabulation of the number and percentage of sites in the Linz area in the three site categories, where gypsum crystallites were not detected or were detected on stomata of current-year spruce needles.....	50
18	Crosstabulation illustrating the number and percentage of sites in the Linz area in the three site categories, where dust particles were not detected or were detected on stomata of current-year spruce needles	50
19	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Treibach area.....	54

20	Chlorine, sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for Cl in current-year needles: 0,10%, limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Treibach area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C.....	58
21	Metal contents of spruce needles in the Treibach area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.....	59
22	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Wels area.....	72
23	Covering of needles with gypsum crystallites and spherical silicon-rich particles.....	74
24	Chlorine, sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for Cl in current-year needles: 0,10%, limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Wels area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C.....	74
25	Metal contents of spruce needles in the Wels area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.....	74
26	Mass flows 93-96 absolut in t/year; source: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH, 1997.	77
27	Needle wax quality (mean value and standard deviation), covering with dust particles and microorganisms in the Wietersdorf area	79
28	Covering of needles with gypsum crystallites and spherical silicon-rich particles.....	79
29	Chlorine, sulphur and nutrient elements in Norway spruce needles (limit value for Cl in current-year needles: 0,10%, limit value for S in current-year needles: 0,11%) in the Wietersdorf area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105 °C	80
30	Metal contents of spruce needles in the Wietersdorf area; element contents were calculated on a dry weight basis of 105°C.	81
31	Correlationtab according to Spearman illustrating the results of needle parameters from 1996 (WQ = wax quality, EPI = covering with microorganisms)	99
32	Crosstabulation illustrating the number and percentage of sites with and without dust particles and gypsum crystallites respectively on stomata.....	101
1	PP.SF 1/Frantschach, SEM-micrograph of a stoma with well developed wax structures and one spherical fly ash particle in the upper left corner of the picture	10
2	PP.F 9/Frantschach, SEM-micrograph of a needle area with biological materials and gypsum crystallites	10
3	PP.F 9/Frantschach, EDX spectrum of gypsum with characteristic peaks of S and Ca	11
4	PP.F 9/Frantschach, SEM-micrograph of a needle area with adhering Al-Si-rich particles and one soot particle.....	11
5	PP.F 9/Frantschach, EDX spektrum Al-Si-rich fly ash particles.....	12
6	PP.WO 16/Frantschach, SEM-micrograph of epistomatal waxes with adhering gypsum crystallites.....	12
7	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Frantschach area and from background sites.....	14
8	PP. 8/Kematen, SEM-micrograph of a stoma with slightly affected wax structures.....	17
9	PP. 8/Kematen, SEM-micrograph of an epistomatal area with wax degradations and one adhering gypsum crystallite	17
10	PP. 10/Kematen, SEM-micrograph of a stoma with poorer wax quality and adhering dust with scattered fly ash particles.....	18

11	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Ke-maten area and from background sites	19
12	PP. 8/Lenzing, SEM-micrograph of largely unaffected epistomatal waxes	21
13	PP. 18/Lenzing, SEM-micrograph of a gypsum crystallite on a spruce needle	22
14	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Len-zing area and from background sites	24
15	PP.VP 138/Leoben, SEM-micrograph of a needle area with two adhering iron-rich fly ash particles	28
16	PP.VP 138/Leoben, EDX spektrum of the Fe-rich particles in fig. 15	29
17	PP.VP 103/Leoben, SEM-micrograph of a needle area with adhering gypsum crystalli-tes	29
18	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Leoben/Donawitz area and from background sites and from sites „close“ and „very clo-se to sources“ from the Leoben/Donawitz area	33-34
19	Correlations between needle surface characteristics and element contents of current-year spruce needles from the Leoben/Donawitz area	36
20	Correlations between the element contents of current-year spruce needles from the Leoben/Donawitz area	36-39
21	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Leoben/Donawitz area divided into groups with and without dust on stomata	40
22	PP.L 38/Kürnberger Wald near Linz, SEM-micrograph with mechanically abraded epi-stomatal needle waxes	47
23	PP.L 140/urban area of Linz, SEM-micrograph of a needle area with numerous gyp-sum crystallites	47
24	PP.L 140/urban area of Linz, detail from fig. 21, needle area with gypsum crystallites and one cenosphere	48
25	PP.L 142/urban area of Linz, SEM-micrograph of an epistomatal area with a dense dust layer containing amorphous particles, Al-Si-rich sphericals particles and iron-rich spheres	48
26	Boxplots illustrating the needle way quality of current-year spruce needles from back-ground sites and from sites in the Linz area (left) and from sites in the Linz area divi-ded into site categories (right)	49
27	Boxplots illustrating the needle wax quality of current-year spruce needles from the Linz area divided into groups with and without gypsum crystallites on the needles	51
28	Boxplots illustrating the covering of current-year spruce needles with microorganisms from Austrian background sites and from sites in the Linz area (left) and correlation between microorganisms and wax quality from sites in the Linz area (right)	51
29	PP.Tr 44/Treibach, SEM-micrograph of a stoma with well developed wax structures	55
30	PP.Tr 42/Treibach-land fill St. Kosmas, SEM-micrograph of a needle area covered by a dense dust layer	56
31	PP.Tr 42/Treibach-land fill St. Kosmas, SEM-micrograph of dust, detail	56
32	PP.Tr 42/Treibach-land fill St. Kosmas, EDX spektrum of the dust layer	57

33	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from Austrian background sites and sites from the Treibach area categorized as „close“ and „very close to sources“	61-62
34	Correlations between needle surface characteristics and element contents of current-year spruce needles from the Treibach area	64-65
35	Correlations between the element contents of current-year spruce needles from the Treibach area	65-69
36	Boxplots illustrating the needle wax quality of current-year spruce needles from the Treibach area divided into groups with and without dust on stomata.....	69
37	PP.W 8/Wels, SEM-micrograph of a needle area with numerous gypsum crystallites	73
38	PP.W 5/Wels, SEM-micrograph of a needle area with fungal hyphae and one spherical fly ash particle	73
39	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Wels area and from background sites	75-76
40	PP.Wie 18/Wietersdorf, SEM-micrograph of a needle area with numerous gypsum crystallites.....	80
41	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from the Wietersdorf area and from background sites	81-82
42	Boxplots illustrating the wax quality of all study sites	84
43	Boxplots illustrating the covering with dust and microorganisms at all study sites	84-85
44	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles at all study sites	87-92
45	Boxplots illustrating the element contents of current-year spruce needles at all study sites divided into the three site categories	93-94
46	Scatterplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from near emission sites of the sampling year 1996 with $r > 0,5$ and $p < 0,001$	96
47	Scatterplots illustrating the iron and lead contents of current-year spruce needles from all near emission sites (sampling year 1996) and from the Wietersdorf and Wels areas (right)	96
48	Scatterplots illustrating the element contents of current-year spruce needles from all near emission sites of the sampling year 1996 divided into the categories „close“ and „very close to sources“	97-98
49	Boxplots illustrating the magnesium contents of current-year spruce needles divided into groups with and without dust on stomata	100
50	Boxplots illustrating the needle wax quality and the element contents of current-year spruce needles divided into groups with and without gypsum crystallites on stomata	101

6 LITERATUR

- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, ABT. 15 - UMWELTSCHUTZ (1994): Kärntner Umweltbericht 1994.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1994): Der Zustand des steirischen Waldes 1993. Graz.
- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1998): Der Zustand des steirischen Waldes 1996/97. Graz.
- 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.
- DIN 38 406, Teil 6 (1981): Kationen (E) Bestimmung von Blei.
- DIN 38 406, Teil 19 (1993): Kationen (E) Bestimmung von Cadmium mittels AAS.
- DEL MONTE, M. & SABBIONI, C. (1984): Morphology and mineralogy of fly ash from a coal-fired power plant. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B* 35, 93-104.
- 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.
- 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. (1996): 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.
- GULDER, H. J. & KÖLBEL, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, 132.
- HAFNER, L. (1986): Zur Feinstruktur der geschädigten Kiefernadel. *AFZ* 45, 1119-1121.
- 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-Informa-94, Band 5, Umweltmonitoring und Bioindikation, Umweltbundesamt Wien, 161-170.
- 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.
- KARHU, M. & HUTTUNEN, S. (1986): Erosion effects of air pollution on needle surfaces. *Water, Air & Soil Pollut.* 31, 417-423.
- KATZENSTEINER, K. (1992): Mineralstoffernährung, Bodenzustand und Baumvitalität in Fichtenwaldökosystemen des Böhmerwaldes. FIW-Forschungsbericht 1992/1, Institut für Waldökologie, Univ. f. Bodenkultur, Wien.

- KAZDA, M. & ZVACEK, L. (1989): Aluminium and manganese and their relation to Kalzium in soil solution and needles in three Norway spruce (*Picea abies*, L., Karst) stands of Upper Austria. *Plant and Soil* 114, 257-267.
- KOFLER, W., TEUTSCH, H., KOHLMAIER, 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., KOHLMAIER, U., WASSERMANN, G., SCHÖNEGGER, J. & HOFFMANN, G. (1992): Lufthygienische Schwerpunktstudie Treibach-Althofen, Amt der Kärntner Landesregierung.
- LASKUS, L., STRUNK, G., VÖGTLIN, R. & WEIHERER, G. (1981): Untersuchungen des Rauchgasstaubes von Kraftwerken bei nicht-isokinetischer Probenahme. *Staub-Reinhalt. Luft* 41, 248-253.
- MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. 2. Auflage, Academic Press, London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto.
- MERIAN, E. (1984): Metalle in der Umwelt. Verlag Chemie, Weinheim, Deerfield Beech, Basel.
- NEBE, W. (1967): Zur Manganernährung der Fichte. *Arch. Forstwes.* 16, 109-118.
- NEINAVAIE, H. (1998): pers. Mitteilung. Geoöko, Eisenerz.
- 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.
- SEUFERT G. & EVERS F.H. (1989): Schadgasausschluß-Experiment bei Fichte am Edelmannshof: Konzeption und erste Ergebnisse zum Stoffhaushalt. In: ULRICH B. (Hrsg.): Internationaler Kongreß Waldschadensforschung: Wissenstand und Perspektiven. Bd. II, Kern-forschungszentrum Karlsruhe, 649-666.
- STEFAN, K. & FÜRST, A. (1998): Indication of S and N inputs by means of needle analyses based on the Austrian Bio-indicator Grid. *ESPR- Environ. Sci. & Pollut. Res., Special Issue No. 1*, 63-69.
- 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-R-039, Umweltbundesamt Wien.
- TRIMBACHER, C. (1991): REM-Untersuchungen an Fichtennadeln besonders exponierter Standorte. VDI Berichte 901, 285-289.
- TRIMBACHER, C., ECKMÜLLNER, O. & WEISS, P. (1995): Die Wachsqualität von Fichtennadeln österreichischer Hintergrundstandorte. UBA-M-057, Umweltbundesamt Wien,.
- TRIMBACHER, C. (1997): Fichtennadeluntersuchungen in der Steiermark. Rasterelektronenmikroskopische und chemisch-analytische Ergebnisse. Zwischenbericht. UBA-BE-082, Umweltbundesamt Wien.
- TRIMBACHER, C. & ECKMÜLLNER, O. (1997): A method for quantifying changes in the epicuticular wax structure of Norway spruce needles. *Eur. J. For. Path.* 27, 83-93.
- TRIMBACHER, C. & WEISS, P. (1997): Wachsqualität, Nähr- und Schadstoffkonzentrationen von Fichtennadeln an belasteten und unbelasteten Standorten in Österreich. UBA-M-090, Umweltbundesamt Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1992): Bericht über die Umweltsituation an ausgewählten langjährigen Industriestandorten. Bericht gemäß EntschlieÙung des Nationalrates vom 26. Juni 1992, Umweltbundesamt Wien.
- VOGEL, W. R., KIENZL, K. & RISS, A. (1991): Die Treibacher Chemischen Werke – Wirkungen auf die Umwelt. UBA-M-026, Umweltbundesamt Wien.
- WEISS, P., RISS, A. & TRIMBACHER, C. (1992): Schadstoffe im Raum Linz. UBA-M-020, Umweltbundesamt Wien.

- WEISS, P. (1998): Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. UBA-M-097, Umweltbundesamt Wien.
- WIMMER, J. (1998): pers. Mitteilung. Oberösterreichische Umweltschutzbehörde, Linz. Umweltbundesamt-Monographie in Erstellung.
- WOHANKA, E. & STÜRZENBECHER, K. (1989): Forstgesetz 1975 in der Fassung der Forstgesetznovelle 1987. Verlag der Österreichischen Staatsdruckerei, Wien.
- WYTENBACH, A., TOBLER, L., BAJO, S. & CONRADIN, S. (1991): Chemischer Bodenzustand und Einfluß von Bodenparametern auf den Elementgehalt von Fichtennadeln. In: PANKOW, W. (Hrsg.): Belastung von Waldböden. VDF, Zürich, 73-84.
- ZÖTTL, H. W. (1990): Ernährung und Düngung der Fichte. Forstw. Cbl. 108, 233-243.
- ZVACEK, L. (1988): Mikronährstoffe und toxische Metalle an Waldstandorten. Universität Wien, Dissertation.