

**BE-174**

**BERICHTE**



**NADELOBERFLÄCHENPARAMETER  
UND ELEMENTGEHALTE  
VON FICHTENNADELN  
AUSGEWÄHLTER INDUSTRIESTANDORTE**

**Gesamtergebnisse 1997**



**NADELOBERFLÄCHENPARAMETER  
UND ELEMENTGEHALTE  
VON FICHTENNADELN  
AUSGEWÄHLTER INDUSTRIESTANDORTE**

Cristina Trimbacher & Peter Weiss

**BE-174**

Wien, Juli 2000

## **Autoren**

Cristina Trimbacher, Peter Weiss

## **MitarbeiterInnen**

**Analytik:** Zentrallabor des Umweltbundesamtes

**GIS:** Edwin Baumgartner-Riegler, Felix, Lux

**Übersetzung:** Cristina Trimbacher

**Fotoausarbeitung:** Bernhard Gröger

**Layout:** Cristina Trimbacher, Evelyn Neuhold

*Wir danken den Mitarbeitern der Landesforstdirektionen bzw. Landesforstinspektionen in den Bundesländern für die Organisation und Durchführung der Nadelprobenahmen und für die freundliche Unterstützung.*

## **Impressum**

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

Eigenvervielfältigung

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, Juli 2000  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-549-1

# INHALTSVERZEICHNIS

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
|          | <b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>                          | <b>5</b>  |
|          | <b>SUMMARY .....</b>                                  | <b>8</b>  |
| <b>1</b> | <b>EINLEITUNG .....</b>                               | <b>11</b> |
| 1.1      | Nadeloberflächenparameter.....                        | 11        |
| 1.2      | Parameterauswahl und Standorte .....                  | 12        |
| <b>2</b> | <b>PROBENAHME .....</b>                               | <b>13</b> |
| <b>3</b> | <b>UNTERSUCHUNGSMETHODEN .....</b>                    | <b>13</b> |
| 3.1      | Rasterelektronenmikroskopie.....                      | 13        |
| 3.1.1    | Bestimmung der Wachsqualität .....                    | 13        |
| 3.1.2    | Bestimmung der Staub- und Epibiontenbelegung.....     | 15        |
| 3.2      | Chemisch-analytische Methoden.....                    | 15        |
| 3.2.1    | Fluorid.....  | 15        |
| 3.2.2    | Chlorid .....   | 15        |
| 3.2.3    | Stickstoff.....                                       | 15        |
| 3.2.4    | Weitere Nährelemente und Schwermetalle .....          | 15        |
| 3.3      | Statistische Methoden .....                           | 16        |
| <b>4</b> | <b>ARNOLDSTEIN .....</b>                              | <b>17</b> |
| 4.1      | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet ..... | 17        |
| 4.2      | Ergebnisse der Nadelanalysen .....                    | 18        |
| <b>5</b> | <b>FROHNLEITEN.....</b>                               | <b>21</b> |
| 5.1      | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet ..... | 21        |
| 5.2      | Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....              | 21        |
| <b>6</b> | <b>KNITTELFELD.....</b>                               | <b>27</b> |
| 6.1      | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet ..... | 27        |
| 6.2      | Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....              | 28        |
| <b>7</b> | <b>RANSHOFEN .....</b>                                | <b>33</b> |
| 7.1      | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet ..... | 33        |
| 7.2      | Ergebnisse der Nadelanalysen .....                    | 34        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>8</b>  | <b>ST. VEIT AN DER GLAN</b> .....   | <b>41</b> |
| 8.1       | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....   | 41        |
| 8.2       | Ergebnisse der Nadelanalysen .....  | 42        |
| <b>9</b>  | <b>ZEMENTWERKE</b> .....  | <b>47</b> |
| 9.1       | Allgemeine Hinweise.....  | 47        |
| 9.2       | Kirchdorf an der Krems.....   | 48        |
| 9.2.1     | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....   | 48        |
| 9.2.2     | Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....  | 49        |
| 9.3       | Retznei .....   | 52        |
| 9.3.1     | Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....   | 52        |
| 9.3.2     | Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....  | 53        |
| 9.4       | Klein St. Paul – Wietersdorf .....  | 57        |
| 9.4.1     | Umweltrelevante Angaben zum Standort .....  | 57        |
| 9.4.2     | Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....  | 57        |
| <b>10</b> | <b>LITERATUR</b> .....  | <b>65</b> |
| <b>11</b> | <b>TABELLEN- SKIZZEN-UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....  | <b>68</b> |
| <b>12</b> | <b>ANHANG</b> .....   | <b>71</b> |
| 12.1      | Vergleich zwischen den Untersuchungsgebieten.....   | 71        |
| 12.2      | Korrelationstabellen nach Spearman-Rank und Pearson für die Untersuchungsgebiete Frohnleiten, Knittelfeld, Ranshofen, St. Veit und Wietersdorf..... | 81        |

## 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 (pflanzliche und tierische Mikroorganismen) 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 besonderes 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 nachgewiesen 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 der vorliegenden Studie gilt, dass ausschließlich Nadeln des jeweils 1. Nadeljahrganges 1997 untersucht wurden.

### ***Untersuchungsergebnisse 1. Nadeljahrgang 1997***

***Arnoldstein.*** Im Raum Arnoldstein (Kärnten) wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten in der Umgebung des Industrie- und Recyclingparks untersucht. Die Wachsqualität war unbeeinträchtigt. Die Stickstoffgehalte der Nadeln lagen im Mangelbereich. Die Gehalte an Zink, Blei und Cadmium der Nadeln waren deutlich erhöht. Da die Nadeln weitestgehend staubfrei waren, wird vermutet, dass die erhöhten Nadelgehalte bei diesen Elementen auf Aufnahmen aus dem Boden aufgrund des früheren, langfristigen Eintrages dieser Elemente zurückzuführen sind. Aufgrund der Höhe der Gehalte sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden, um Aufschluß über potentielle waldökosystemare Wirkungen der historisch verursachten Schwermetallbelastungen zu erhalten.

***Frohnleiten.*** In Frohnleiten in der Steiermark wurden Fichtennadeln von acht Probepunkten im Nahbereich der dort befindlichen Hausmülldeponie untersucht. Die Wachsqualität war an allen Probepunkten leicht beeinträchtigt, wobei aber an drei Stellen in erster Linie mechanische Beeinträchtigungen vorlagen. Die Staubbelegung war bis auf einen Probepunkt vergleichsweise gering. Im Staub wurden regelmäßig anthropogene Flugaschepartikel, wie globulare Glasphasen, Eisenoxid- und Manganoxidphasen detektiert. Die Schwefelgehalte der

Nadeln lagen an einigen Standorten über dem Grenzwert von 0,11% im 1. Nadeljahrgang der „2. Verordnung gegen fortschädliche Luftverunreinigungen“. Sowohl die Blei- als auch die Quecksilbergehalte der Nadeln waren teilweise leicht erhöht. Ein Probepunkt wies deutlich erhöhte Eisen- und Bleigehalte auf.

**Kirchdorf an der Krems.** In der Umgebung des in Kirchdorf an der Krems in Oberösterreich angesiedelten Zementwerkes wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität war leicht bis mittelstark beeinträchtigt. An einem einzigen Probepunkt war die schlechtere Wachsqualität mechanisch bedingt. Kirchdorf zeigt im Vergleich zu nahezu allen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 vergleichsweise schlechtere Wachsqualitäten. Nur auf den Nadeln des direkt neben dem Zementwerkes befindlichen Probepunktes wurden staubförmige Fremdpartikel, darunter vereinzelt aus industriellen Prozessen stammende globulare Glas- und Eisenoxidphasen, detektiert. Alle Standorte wiesen Chloridwerte in den Nadeln auf, die deutlich über dem Grenzwert von 0,10% im 1. Nadeljahrgang der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ lagen. Dieses Ergebnis verlangt weiterführende Untersuchungen der Chlorgehalte in den Nadeln in diesem Gebiet sowie orientierende Untersuchungen auf chlororganische Verbindungen, die im Zuge des Abfalleinsatzes bei der Zementherstellung ebenfalls emittiert werden könnten. Bei Mangan wurden vereinzelt Gehalte im Mangelbereich nachgewiesen. Ein Untersuchungspunkt wies erhöhte Cadmiumgehalte auf.

**Knittelfeld.** In der Umgebung eines südlich von Knittelfeld in der Steiermark befindlichen Ziegelwerkes wurden Fichtennadeln von insgesamt zehn Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität war leicht beeinträchtigt. An zwei Punkten war die leichte Beeinträchtigung nicht auf Immissionen sondern auf mechanische Einflüsse zurückzuführen. Die Staubbelegung der Nadeln war vergleichsweise gering. Ein Probepunkt nahe des Werks wies fluorhaltige Staubpartikel auf den Nadeloberflächen auf. Bei Schwefel, vor allem aber bei Fluor wurden massive Überschreitungen der Grenzwerte der „2. Verordnung gegen fortschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt. Laut Auskunft der zuständigen Behörden wurde jedoch mittlerweile durch die rasche Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen seitens des Anlagenbetreibers ein Rückgang der Nadelgehalte erreicht. Die Aluminiumgehalte der Nadeln waren ebenfalls deutlich erhöht, was vermutlich auf Aufnahmen aus dem Boden (z.B. aufgrund des Bodensäurestatus) zurückzuführen ist. Diesen Vermutungen sollte in weiterführenden Untersuchungen nachgegangen werden.

**Ranshofen.** Im Umkreis um das Sekundäraluminiumwerk in Ranshofen in Oberösterreich wurden Fichtennadeln von 19 Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von „unbeeinträchtigt“ bis „mittelstark beeinträchtigt“, wobei an zwei Standorten vorwiegend mechanische Einflüsse wirksam waren. Die Staubbelegung der Nadeln war vergleichsweise sehr hoch und wurde durch aluminiumhaltige Partikel verursacht. Zahlreiche Probepunkte wiesen auch deutlich erhöhte Aluminiumgehalte in den Nadeln auf. Die signifikant positiven Korrelation zwischen Staubbelegung der Nadeln (mit Aluminium als Hauptkomponente) und den Aluminiumgehalten der Nadeln lassen sich daher sehr wahrscheinlich auf diese partikelförmigen Ablagerungen auf den Nadeln zurückführen. Deutliche Grenzwertüberschreitungen bei Fluor, wie sie in früheren Jahren in diesem Untersuchungsgebiet regelmäßig festgestellt wurden, treten nur mehr vereinzelt auf. Emissionsmindernde Maßnahmen haben die Eintragssituation bei diesem Element offensichtlich deutlich entspannt. Bei Kalium zeigten sich vereinzelt Gehalte, die auf Mangelversorgung hindeuten. Weiters zeigte sich ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Eisen und Blei, der Ergebnisse früherer Untersuchungen (WEISS & TRIMBACHER 1998) und in anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (Frohnleiten, St. Veit a. d. Glan) bestätigt und auf eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente im Nahbereich von unterschiedlichen Emissionsquellen hindeutet.



**Retznei.** In Retznei in der Südsteiermark befindet sich ein Zementwerk mit einer eigenen Bruchanlage, in dessen Umgebung Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht wurden. Die Wachsqualität war unbeeinträchtigt bis leicht beeinträchtigt. Die stärksten Wachsdegradationen und die dichteste Staubbelegung wiesen die Nadeln zweier Standorte nahe der Bruchanlage auf. Es wurden im Staub regelmäßig Gipskristalle und globulare Glasphasen (industrielle Hochtemperaturprozesse) detektiert. An einigen Probepunkten lagen die Schwefelgehalte der Nadeln über dem in der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgelegten Grenzwert. An einem Standort wurden sehr hohe Quecksilbergehalte in den Nadeln gemessen, welcher um ein Vielfaches über Richtwerten unbelasteter Gebiete liegt. Dieser gehaltsmäßige „Ausreißer“ liegt in einer Höhe, die eine weitere Untersuchung der Quecksilbergehalte an diesem Standort und in dessen näherer Umgebung erfordert. Bestätigt sich dabei die Quecksilberbelastung, wären landwirtschaftliche Nutzpflanzen ebenfalls auf Quecksilber zu untersuchen, um zu prüfen, ob hier Grenz- oder Richtwerte für Futtermittel bzw. den menschlichen Verzehr eventuell überschritten werden. Weiters wären in diesem Fall die verantwortlichen Quellen ausfindig zu machen und deren Quecksilberemissionen zu reduzieren.

**St. Veit an der Glan.** Im Gebiet St. Veit an der Glan in Kärnten wurden in der Umgebung des dort ansässigen Faserplattenwerks Fichtennadeln von insgesamt zehn Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen war mit Ausnahme eines Standortes (unbeeinträchtigt) leicht beeinträchtigt. Die Staubbelegung war vergleichsweise gering. Im Staub wurden anthropogene Flugaschepartikel, wie etwa globulare Glasphasen, detektiert. Vereinzelt wurden bei Schwefel und bei Chlor geringfügige Grenzwertüberschreitungen gemäß „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt. Bei Blei wurden an zwei werksnahen Standorten deutlich erhöhte Gehalte in den Nadeln festgestellt. Wie in anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (Frohnleiten, Ranshofen) wurde eine signifikant positive Korrelation zwischen Eisen- und Bleigehalten der Nadeln nachgewiesen.

**Wietersdorf.** In der Umgebung des in Klein St. Paul/Wietersdorf in Kärnten befindlichen Zementwerks und der Bruchanlage wurden Fichtennadeln von acht Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität war unbeeinträchtigt bis leicht beeinträchtigt. Die Staubbelegung war vergleichsweise sehr hoch, besonders an dem nahe der Bruchanlage gelegenen Standort. Im Staub wurden regelmäßig globulare Glasphasen (industrielle Hochtemperaturprozesse) und Gipskristalle, die in diesem Untersuchungsgebiet möglicherweise auch geogenen Ursprungs sind, detektiert. Bei Schwefel und Fluor wurden an einigen Probepunkten Grenzwertüberschreitungen gemäß „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“, festgestellt. Bei Stickstoff und Mangan wurden vereinzelt Gehalte im Mangelbereich festgestellt. Im Unterschied dazu waren die Calcium- und Kaliumgehalte einzelner Standorte vergleichsweise hoch, was teilweise auch durch den den Nadeln anlagernden Staub verursacht sein dürfte. Einige Bleigehalte der Nadeln waren erhöht und deuten auf Immissionseinfluß hin.

## **SUMMARY**

### ***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 influence 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".

Additionally, the present study 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, where they can be detected on 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.

The element contents of Norway spruce needles, representing essential data to characterize the nutritional status of trees, have been analysed in addition to the needle surface characteristics. In some cases these data may help assess the ambient air pollution level for single elements. In the present programme at all sites only current-year spruce needles from the sampling year 1997 were used for analysis.

### ***Summarized results of the needle investigations from selected Austrian industrial sites***

#### ***Arnoldstein***

Norway spruce needles of six sampling sites in the vicinity of the industrial and recycling park in Arnoldstein (Carinthia) were investigated. The wax quality was unaffected. The low nitrogen contents, found in the needles, indicate nitrogen deficiency. The contents of zinc, lead and cadmium were clearly increased. As the needle surfaces were almost free of adhering dust particles, the higher contents of the needles with these elements may result from soil uptake due to previous longterm inputs of these elements in this area. Therefore, future investigations are required in order to get information about possible effects of historically caused heavy metal contaminations on forest ecosystems.

#### ***Frohnleiten***

In Frohnleiten, Styria, spruce needles of eight sampling sites near a domestic refuse land fill were analyzed. At all sites the wax quality was slightly affected. At three sites it was predominantly caused by mechanical abrasion. The covering of the investigated needles with dust particles was comparably low, except for one site. Anthropogenic fly-ash particles, as spherical aluminium-silicon-rich particles, iron- and manganese-rich particles, were regularly detected on the needles. At several sites, the sulphur contents of the needles exceeded the limit value of 0.11% sulphur for current-year needles according to the 2<sup>nd</sup> Ordinance against

Forest Growth-Damaging Air Contamination. Partly, the lead and the mercury contents of the needles were slightly increased. At one sampling site the iron and lead contents of the investigated needles were clearly elevated.

### ***Kirchdorf an der Krems***

In the proximity of a cement plant, situated in Kirchdorf an der Krems, Upper Austria, Norway spruce needles of six sampling sites were investigated. The wax quality was slightly to moderately affected. Only at one site the poorer wax quality was caused by mechanical abrasion. Compared to the other areas investigated in the present programme, Kirchdorf showed the poorest wax qualities. Dust particles with scattered spherical aluminium-silicon-rich and iron-rich particles, both types forming during high temperature combustion processes, were only detected at the site closest to the plant. All sites showed chlorine contents of the needles clearly exceeding the limit value of 0.10% chlorine for current-year needles according to the 2<sup>nd</sup> Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination. The elevated chlorine contents in this area may be due to emissions of chlorine-organic compounds, that form during combustion processes when waste is burnt. At one sampling site the needles showed elevated concentrations of cadmium.

### ***Knittelfeld***

Spruce needles from ten sampling sites around a brickworks, located south of Knittelfeld, Styria, were investigated. The wax quality was slightly affected. At two sites the wax degradations were not caused by immission influences but were more likely due to mechanical abrasion. The covering of the investigated needles with dust particles was comparably low. At the site situated closest to the works fluorine-rich particles were detected on needle surfaces. At all sites exceedances of the limit value of fluorine in the needles according to the 2<sup>nd</sup> Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination could be stated.

### ***Ranshofen***

Spruce needles from 19 sampling sites surrounding a secondary aluminium plant near Ranshofen, Upper Austria, were analyzed. The wax quality of the investigated needles ranged between unaffected and moderately affected. At two sites predominantly mechanical effects caused the observed wax degradations. The covering of the needles with dust was high, containing mainly aluminium-rich particles. At numerous sampling sites also the aluminium contents of the needles were increased. The significantly positive correlation between dust covering of the needles and higher aluminium contents in the needles most probably can be referred to the aluminium-rich particulate matter deposited on the needle surfaces.

### ***Retznei***

In Retznei, Styria, spruce needles from six sampling sites near a cement plant and a quarry were investigated. The wax quality was unaffected to slightly affected. At two sites, situated close to the quarry, the needles showed the most distinct wax degradations and the most dense dust layer. Gypsum crystallites and spherical aluminium-silicon-rich particles, forming during industrial high temperature combustion processes, were regularly detected in the dust. At some sites the sulphur contents of the needles exceeded the limit value of 0.11% sulphur for current-year needles according to the 2<sup>nd</sup> Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination. At one sampling site, very high mercury contents were measured in the needles.

### ***St. Veit an der Glan***

Near St. Veit an der Glan, Carinthia, Norway spruce needles of ten sampling sites in the vicinity of a chipboard-production were analyzed. The wax quality of the investigated needles was slightly affected, except for one site that showed unaffected wax microstructures. The covering of the needles with dust particles was comparatively low. Scattered fly-ash particles were observed on needle surfaces. At two sites close to the works increased lead contents of the needles were found.

**Wietersdorf**

Norway spruce needles from eight sampling sites around a cement plant and a quarry in Klein St. Paul/Wietersdorf, Carinthia, were investigated. The wax quality ranged between unaffected and slightly affected. The covering with dust was comparably high, especially on the needle surfaces of one site situated close to the quarry. Spherical aluminium-silicon-rich particles from industrial high temperature combustion processes and gypsum crystallites were regularly detected on the spruce needles in this area. At some sites the sulphur as well as the fluorine contents of the needles exceeded the limit values according to the 2<sup>nd</sup> Ordinance against Forest Growth-Damaging Air Contamination. Some lead contents of the needles were elevated.

# 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 beobachtet 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, ...) und finden sich in allen Umweltkompartimenten. Sie werden auch in Waldökosysteme eingetragen und können u.a. auf Fichtennadeloberflächen detektiert werden. Partikuläre Aerosole 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 Wachschmelzung in Prozent der Gesamtstomatafläche) in fünf Qualitätsklassen. Die Standardisierung der Methode ermöglicht vergleichbare Ansprachen der Wachqualität von Fichtennadeln. Neben dem baumphysiologi-

schen Parameter der Wachsqualität wird auch die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Staub und Epibionten (pflanzliche und tierische Mikroorganismen) semi-quantitativ bestimmt. 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.

Mit dieser Methode wurden 1995 und 1996 im Rahmen zweier umfangreicher Untersuchungsprogramme Fichtennadeln von industriell beeinflussten Standorten, von städtischen Ballungsräumen, von Autobahnprofilen und auch von vergleichsweise unbeeinflussten Hintergrundstandorten analysiert (TRIMBACHER & WEISS, 1997; WEISS & TRIMBACHER, 1998).

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 1997 die Untersuchungen von Fichtennadeln hinsichtlich Wachsqualität, Nähr- und Schadstoffkonzentrationen an ausgewählten Standorten im Einflußbereich österreichischer Emittenten fortgesetzt.

Die vorliegende Studie beinhaltet die Untersuchungsergebnisse zu den Nadeloberflächenparametern und zu den Gehalten einer Reihe von Elementen des 1. Nadeljahrganges 1997 sowie die Ergebnisse der statistischen Auswertungen zu diesen Parametern und Daten.

## 1.2 Parameterauswahl und Standorte

In der gegenständlichen Studie wurden Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1997 folgender Untersuchungsgebiete für die Analysen der Nadeloberflächenparameter, der Schadstoff- und Nährelementgehalte ausgewählt:

- Arnoldstein / Kärnten – metallverarbeitende und –recycling Betriebe
- Frohnleiten / Steiermark – Hausmülldeponie
- Kirchdorf an der Krems / Oberösterreich – Zementwerk
- Knittelfeld / Steiermark – Ziegelwerk
- Ranshofen / Oberösterreich – Sekundäraluminiumproduktion
- Retznei / Steiermark – Zementwerk
- St. Veit an der Glan / Kärnten – Spanplattenwerk
- Wietersdorf / Kärnten – Zementwerk

Die Grundparameter bleiben in diesen jährlich fortlaufenden Erhebungen gleich. Es werden die Nadeloberflächenparameter (Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung), die Schwefelgehalte, die Gehalte der Nadeln an den Makronährstoffen Stickstoff, Kalzium, Kalium, Magnesium und Phosphor sowie die Gehalte der Nadeln an Kupfer, Zink, Mangan und Eisen bestimmt. Abhängig vom Untersuchungsgebiet und der Emissionsquelle werden zusätzlich die Fluorid- und Chloridgehalte der Nadeln sowie ausgewählte Schwermetalle, wie beispielsweise Blei, Kadmium oder Quecksilber untersucht.

## 2 PROBENAHEME

Die Probenahme von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1997 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 1997. 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-Trägertischchen montiert und mit einer leitenden Goldschicht versehen (5 Min.,  $1.8 \times 10^{-2}$  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 Wachstübli. 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 Wachstübli können in weiterer Folge an verschiedenen Stellen im Spaltöffnungsbereich zu kleinflächigen 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 Standortmittels 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 Standortmittel (= 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.

| Erhebungsdesign             |    |
|-----------------------------|----|
| Spaltöffnungen pro Nadel    | 3  |
| Nadeln pro Standort         | 24 |
| Spaltöffnungen pro Standort | 72 |

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 luftgetrockneten und gemahlene Nadelprobe mit einem Salpetersäure-Eisessig-Gemisch extrahiert. Nach dem Filtern 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 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 EN ISO 11885 (1998).

Die Cadmium- und Bleibestimmung erfolgte mittels elektrothermischer Atomisierung mittels AAS-Gerät SIMAA 6000 (Fa. Perkin-Elmer) anlehnend an ÖNORM EN ISO 5961 (Cd) und DIN 38 406, Tl. 6 (Pb).

Der Quecksilbergehalt wurde mittels Kaltdampf-Hydridtechnik mit Fließinjektionsspektrometer FIMS 400 (Fa. Perkin Elmer) laut ÖNORM EN 1483 (1997) bestimmt.

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

### **3.3 Statistische Methoden**

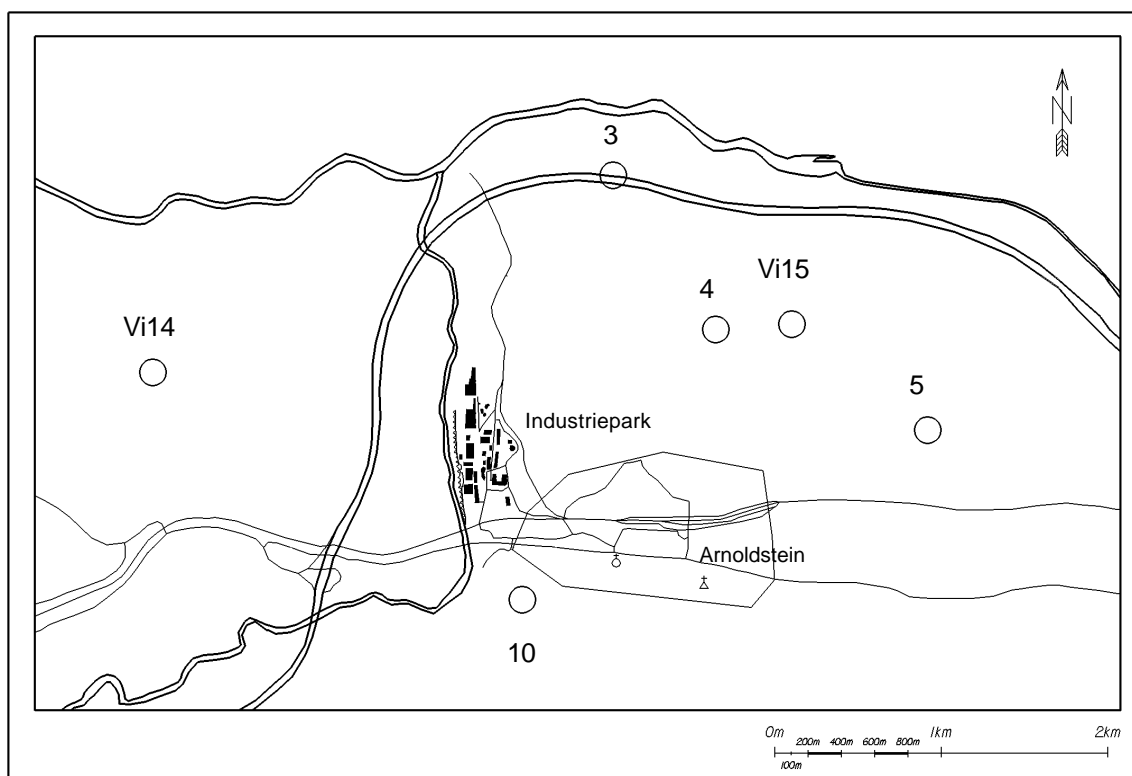
Für die Untersuchungsgebiete Frohnleiten, Knittelfeld, Ranshofen, St. Veit a.d. Glan und Wietersdorf, die einen vergleichsweise höheren Stichprobenumfang aufweisen, wurden Korrelationsanalysen nach Pearson (normalverteilte Variablen) und Spearman-Rank durchgeführt (siehe Anhang). Die vergleichsweise ausgeprägteren Korrelationen mit einem  $p < 0,01$  wurden in Form von Scatterplots in den Kapiteln zu den einzelnen Untersuchungsgebieten dargestellt, wobei nicht normalverteilte Variablen log-transformiert wurden, um Normalverteilung zu erreichen und die daraus resultierenden Pearson-Korrelationskoeffizienten in den Scatterplots dargestellt wurden. Log-Skalierungen in den Scatterplots sind zu beachten.

## 4 ARNOLDSTEIN / KÄRNTEN

### 4.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Bereits seit dem Mittelalter befinden sich im Gebiet Arnoldstein, im Süden Kärntens, Erzverhüttungs- und Verarbeitungsbetriebe. Im Jahre 1867 wurde die Bleiberger Bergwerks Union (BBU) gegründet und errichtete bald darauf in Arnoldstein/Gailitz eine Bleihütte. Durch die Inbetriebnahme einer Zinkrösthütte im Jahre 1951, deren Röstgase zur Schwefelsäureproduktion verwendet wurden, kam es damals zu einer erheblichen Verschlechterung der Immissionssituation durch erhöhte Schwefeldioxidkonzentrationen in der Umgebungsluft. Die mengenmäßig bedeutsamsten Schadstoffe, die von der BBU neben Schwefeldioxid freigesetzt wurden, waren Staub und Staubinhaltsstoffe, vor allem Schwermetalle. Die Errichtung und Inbetriebnahme einer Rauchgasentschwefelungsanlage im Jahre 1987 führte zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Belastungssituation. Durch weitere emissionsmindernde Maßnahmen (Schließung von Anlagenteilen, Umsetzung von behördlichen Vorgaben) verbesserte sich ab Sommer 1991 die Luftqualität in der Umgebung der BBU zusehends (UMWELTBUNDESAMT 1992).

Am Betriebsstandort Arnoldstein sind derzeit die *ABRG, Asamer Becker Recycling GmbH*, ein Sonderabfallentsorgungsunternehmen mit eigener Deponie, die *BMG Metall & Recycling GmbH*, in der jährlich rd. 30.000t Altbatterien zu Blei und Bleilegerungen verarbeitet werden sowie die *Chemson Polymer-Additive GmbH* angesiedelt, die Kunststoffadditive (zur Stabilisierung von Rohren, Fensterprofilen, Kabeln) und Bleioxide (Glas-, Keramik-, Batterierzeugung) und Reibbelagadditive für Bremsen und Kupplungen erzeugt (KÄRNTNER UMWELTBERICHT 1999).



Lageskizze der Probepunkte im Raum Arnoldstein

Vom Amt der Kärntner Landesregierung seit 1991 durchgeführte Schwermetalldepositions-messungen im Raum Arnoldstein nach dem Bergerhoff-Verfahren ließen für Blei bis 1998 einen Rückgang des Bleistaubeintrages erkennen, doch liegen die Werte an zwei werksnahen Meßstellen noch ca. zweifach über dem Grenzwert der TA-Luft von 250 µg/m<sup>3</sup>. An einer Meßstelle wird dieser Grenzwert sogar bis zum Vierfachen überschritten. Die Schwermetalldepositions-messungen für die Elemente Zink und Cadmium zeigten keine Grenzwertüberschreitungen im Jahre 1998 (KÄRNTNER UMWELTBERICHT, 1999).

Um festzustellen, ob aktuelle Schwermetalleinträge bzw. historische Belastungen in angrenzende Waldgebiete vorliegen, wurden vom Umweltbundesamt an einigen Standorten des Kärntner Bioindikatornetzes im Raum Arnoldstein Nadelanalysen durchgeführt. Neben den Grundparametern (siehe S. 10) wurden auch ausgewählte, für das Untersuchungsgebiet maßgebliche Schwermetalle in den Nadeln bestimmt.

## 4.2 Ergebnisse der Nadelanalysen

Die Wachsqualität der untersuchten Fichtennadeln an den sechs Probepunkten im Gebiet Arnoldstein lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,0 (leicht beeinträchtigt). Es wurden keine Staubpartikeln auf den untersuchten Spaltöffnungen detektiert. Sehr vereinzelt wurden auf der dazwischen liegenden Nadeloberfläche der Punkte Vi15 und 04 Gipskristalle und globulare Glasphasen beobachtet. Die Belegung mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen (Epibionten) lag im Bereich von 11 und 22% (s. Tab. 1).

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

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| Vi 14             | 2,0 ± 0,4     | 0       | 17           |
| Vi 15             | 1,9 ± 0,2     | 0       | 11           |
| 3                 | 1,8 ± 0,4     | 0       | 22           |
| 4                 | 1,8 ± 0,3     | 0       | 13           |
| 5                 | 1,8 ± 0,3     | 0       | 14           |
| 10                | 1,9 ± 0,4     | 0       | 14           |
| <i>Mittelwert</i> | 1,9           | -       | 15           |
| <i>Median</i>     | 1,9           | -       | 15           |
| <i>Minimum</i>    | 1,8           | -       | 11           |
| <i>Maximum</i>    | 2,0           | -       | 22           |

Die statistischen Auswertungen der Ergebnisse zeigen, dass vergleichsweise zu den anderen Untersuchungsgebieten der gegenständlichen Untersuchung (Jahr 1997) Arnoldstein die deutlich beste Qualität der epikutikulären Wachse aufweist. (Abb. 18 im Anhang). Wachs-schädigende Einflüsse dürften anhand dieser Ergebnisse, aber auch anhand eines Ver-gleichs mit Ergebnissen aus früheren Jahren von emittentenernen Standorten (TRIMBACHER ET AL. 1995, TRIMBACHER & WEISS 1997) in Arnoldstein kaum vorliegen. Ähnlich erfreulich sind die Ergebnisse zur Staubbelegung auf den Nadeln. Im Unterschied zu den anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 waren die Nadeln aller Standorte in Arnoldstein staubfrei (Abb. 19 im Anhang, Tab. 1). Angesichts der langjährigen und erhöhten

Eintragungssituation in diesem Untersuchungsgebiet in vergangenen Jahrzehnten ist dieses Ergebnis positiv hervorzuheben.

**Tab. 2:** Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für F im 1. Njg. 0,8 mg%, GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Arnoldstein. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP                | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|-------------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| Vi 14             | < 0,8    | < 0,08  | 0,10   | 1,2                        | 7833        | 5721       | 1114        | 1328       |
| Vi 15             | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,2                        | 7652        | 6864       | 1209        | 1334       |
| 3                 | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,2                        | 7717        | 7427       | 1300        | 1405       |
| 4                 | < 0,8    | 0,09    | 0,13   | 1,3                        | 10857       | 6820       | 1648        | 1170       |
| 5                 | < 0,8    | 0,13    | 0,09   | 1,3                        | 6179        | 12670      | 926         | 1706       |
| 10                | < 0,8    | < 0,08  | 0,09   | 1,2                        | 6076        | 5050       | 1429        | 1310       |
| <i>Mittelwert</i> | -        | -       | 0,10   | 1,2                        | 7719        | 7425       | 1271        | 1375       |
| <i>Median</i>     | -        | < 0,08  | 0,10   | 1,2                        | 7685        | 6842       | 1254        | 1331       |
| <i>Minimum</i>    | -        | < 0,08  | 0,09   | 1,2                        | 6076        | 5050       | 926         | 1170       |
| <i>Maximum</i>    | -        | 0,13    | 0,13   | 1,3                        | 10857       | 12670      | 1648        | 1706       |

**Tab. 3:** Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Arnoldstein. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP                | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg | Hg<br>mg/kg |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Vi 14             | 4,3         | 116,8       | 508         | 85          | 0,93        | 2,8         | 0,03        |
| Vi 15             | 3,6         | 123,0       | 198         | 97          | 0,18        | 10,3        | 0,04        |
| 3                 | 8,0         | 87,7        | 310         | 116         | 0,14        | 1,1         | 0,03        |
| 4                 | 8,8         | 165,8       | 219         | 131         | 0,18        | 9,6         | 0,03        |
| 5                 | 4,4         | 105,7       | 186         | 62          | 0,63        | 11,1        | 0,03        |
| 10                | 3,4         | 118,7       | 2473        | 55          | 0,71        | 4,1         | 0,03        |
| <i>Mittelwert</i> | 5,6         | 119,6       | 649         | 91          | 0,46        | 6,5         | 0,03        |
| <i>Median</i>     | 4,5         | 117,8       | 265         | 91          | 0,41        | 6,9         | 0,02        |
| <i>Minimum</i>    | 3,4         | 87,7        | 186         | 55          | 0,14        | 1,1         | 0,03        |
| <i>Maximum</i>    | 8,8         | 165,8       | 2473        | 131         | 0,93        | 11,1        | 0,04        |

Die durchgeführten Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen dürften für das Zustandekommen dieses Ergebnisses verantwortlich sein. Nur mehr einzelne Standorte in diesem

Untersuchungsgebiet zeigen bei Schwefel und Chlor Nadelgehalte, die die Grenzwerte der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997) überschreiten (Tab. 2).

Bei den Gehalten der Makronährstoffe (Stickstoff, Kalzium, Kalium, Magnesium, Phosphor) in den Nadeln zeigten sich mit Ausnahme von Stickstoff keine Auffälligkeiten. Die Stickstoffgehalte der Nadeln liegen gemäß Richtwerten von STEFAN (1992) sowie FOERST ET AL. (1987) im Mangelbereich (Abb. 21 im Anhang, Tab. 2).

Im Unterschied dazu sind die Nadelgehalte bei Kupfer teilweise (Abb. 30 im Anhang) und bei Zink durchwegs (Abb. 29 im Anhang) über Obergrenzen des Bereichs für eine optimale Versorgung nach FOERST ET AL. (1987). In ähnlicher Weise sind die Cadmium und Bleigehalte der Nadeln von Arnoldstein weit über Normalgehalten (Abb. 34 und 35 im Anhang). Im Vergleich zu Werten aus der internationalen Literatur (Zusammenstellung in WEISS 1999) zählen die derzeit in Arnoldstein nachweisbaren Maximalgehalte in den Nadeln bei diesen beiden Elementen zu den bisher festgestellten Spitzenwerten. Im Nahbereich von Emittenten Österreichs sind derart hohe Blei- und Cadmiumnadelgehalte bisher jedenfalls nicht nachgewiesen worden (LICK & DORFER 1998, TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS & TRIMBACHER 1998).

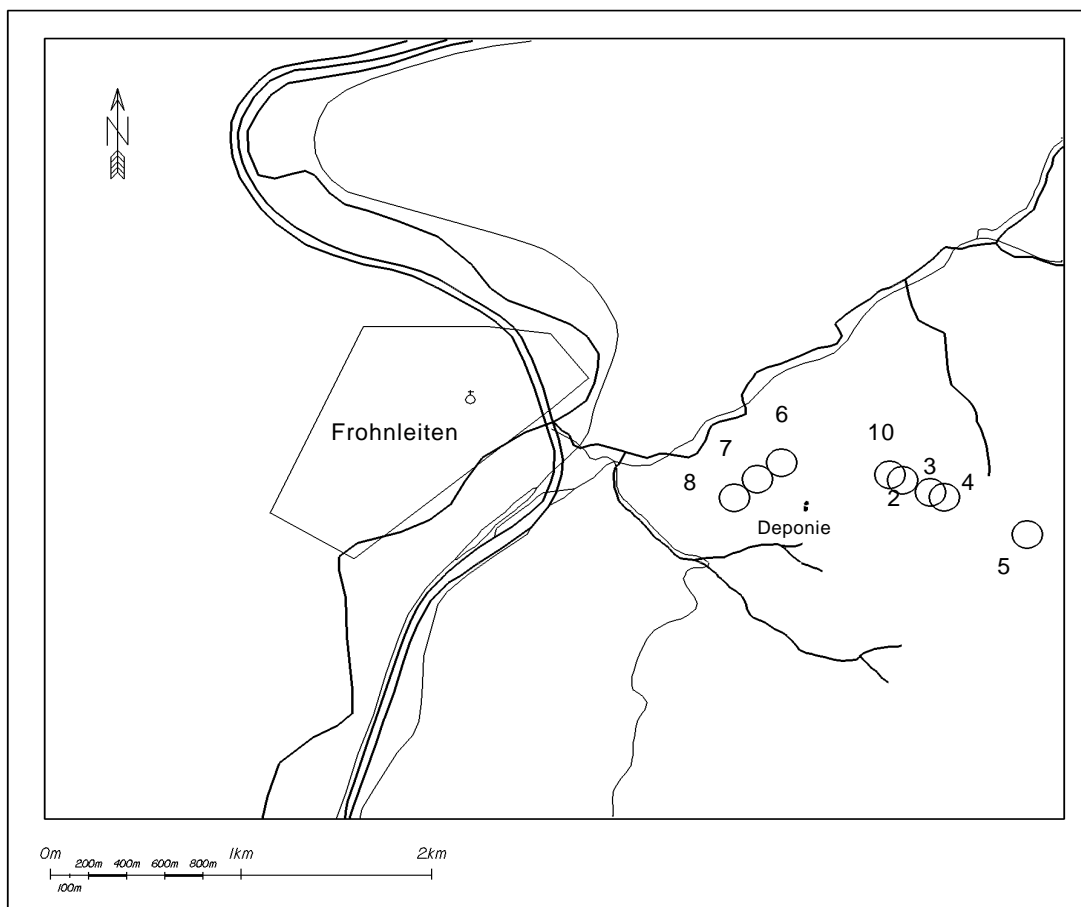
Da keine Staubbelegung auf den Nadeln festgestellt wurde, ist anzunehmen, dass die erhöhten Gehalte bei diesen Elementen nicht auf Staubablagerungen auf den Nadeln, sondern auf den Aufnahmepfad über die Wurzeln zurückzuführen sind. Die frühere Emissionssituation in Arnoldstein war für eine deutliche Aufstockung der Schwermetallgehalte in den Böden dieser Region verantwortlich (HALBWACHS 1982, KASPEROWSKI 1993), so dass mit einem erhöhten ökosystemaren Kreislauf dieser Elemente zu rechnen ist. Aufgrund dieses Umstandes und der Höhe der Gehalte sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden, um Aufschluß über potentielle waldökosystemare Wirkungen der historisch verursachten Schwermetallbelastungen zu erhalten. Quecksilber zeigt im Vergleich zu Blei, Cadmium und Zink keine Auffälligkeiten (Abb. 36 im Anhang).

**Fazit.** Die Wachsqualität der Fichtennadeln von sechs Probepunkten in der Umgebung des Industrie- und Recyclingparks war unbeeinträchtigt. Die Stickstoffgehalte der Nadeln lagen im Mangelbereich. Die Gehalte an Zink, Blei und Cadmium der Nadeln waren deutlich erhöht. Da die Nadeln weitestgehend staubfrei waren, wird vermutet, dass die erhöhten Nadelgehalte bei diesen Elementen auf Aufnahmen aus dem Boden aufgrund des früheren, langfristigen Eintrages dieser Elemente zurückzuführen sind. Aufgrund der Höhe der Gehalte sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden, um Aufschluß über potentielle waldökosystemare Wirkungen der historisch verursachten Schwermetallbelastungen zu erhalten.

## 5 FROHNLEITEN / STEIERMARK

### 5.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In Frohnleiten in der Steiermark befindet sich die zweitgrößte Hausmülldeponie Österreichs (Lunzer, 1998). Es werden jährlich mehr als 60.000 t Abfall abgelagert. 1995 wurden insgesamt 192.759 t Hausmüll deponiert. Zur Anlieferung der Abfälle werden in der Deponie Frohnleiten neben LKW auch Bahntransporte verwendet.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Frohnleiten

### 5.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Nahbereich der Deponie wurden Fichtennadeln von insgesamt acht Probepunkten hinsichtlich der Nadeloberflächenparameter und der Elementgehalte analysiert.

Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 2,0 (leicht beeinträchtigt) bis 2,9 (leicht beeinträchtigt). Die schlechtere Wachsqualität an den Probepunkten 3, 5 und 6 war zum Teil mechanisch bedingt. Die Staubbelegung lag im Bereich von 0 bis 24%. Im Staub fanden sich Gipskristalle, sphärische Aluminiumsilikatpartikel, sphärische Eisenoxidpartikel sowie manganhaltige Partikel (siehe Tab. 5). Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag zwischen 6 und 32%.

**Tab. 4:** Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Frohnleiten.

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| 2                 | 2,0 ± 0,5     | 6       | 11           |
| 3                 | 2,9 ± 1,4     | 4       | 14           |
| 4                 | 2,2 ± 0,6     | 0       | 6            |
| 5                 | 2,2 ± 0,8     | 0       | 6            |
| 6                 | 2,7 ± 1,0     | 0       | 7            |
| 7                 | 2,4 ± 0,8     | 1       | 25           |
| 8                 | 2,4 ± 0,9     | 1       | 13           |
| 10                | 2,5 ± 1,0     | 24      | 32           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,4           | 5       | 14           |
| <i>Median</i>     | 2,4           | 1       | 12           |
| <i>Minimum</i>    | 2,0           | 0       | 6            |
| <i>Maximum</i>    | 2,9           | 24      | 32           |

Die im Staub auf Nadeln des Probepunktes 2 regelmäßig gefundenen glatten, sphärischen Aluminiumsilikatpartikel enthielten auch Spuren von Kalzium und Eisen. Ist auch die Staubbelegung mit 6% vergleichsweise gering, so sind die im Staub detektierten Partikel aufgrund ihrer Form, Größe und chemischen Zusammensetzung anthropogenen Ursprungs. In Abb. 1 ist ein Nadelbereich mit Staubaufgabe dieses Probepunktes im Überblick dargestellt. Auf Fichtennadeln der Probepunkte 4 und 10 wurden ebenso globuläre Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von rd. 4 µm detektiert, die als Hauptkomponente Mangan enthielten (Abb. 2, 3). Es könnten sein, dass diese auf den Nadeln detektierten Partikel bei der Abfackelung der Deponiegase entstehen und emittiert werden.

**Tab. 5:** Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und verschiedenen globulären Partikeln. 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig, NO...Nadeloberfläche außerhalb der Spaltöffnungen

| Probepunkt | Gips | AlSi-Partikel | FeO-Partikel | Mn-Partikel |
|------------|------|---------------|--------------|-------------|
| 2          | 0    | xxx           | 0            | 0           |
| 3          | 0    | xx            | 0            | 0           |
| 4          | 0    | 0             | x NO         | x NO        |
| 5          | 0    | 0             | 0            | 0           |
| 6          | 0    | 0             | 0            | 0           |
| 7          | 0    | 0             | x NO         | 0           |
| 8          | x NO | 0             | 0            | 0           |
| 10         | 0    | xx            | xx NO        | x           |



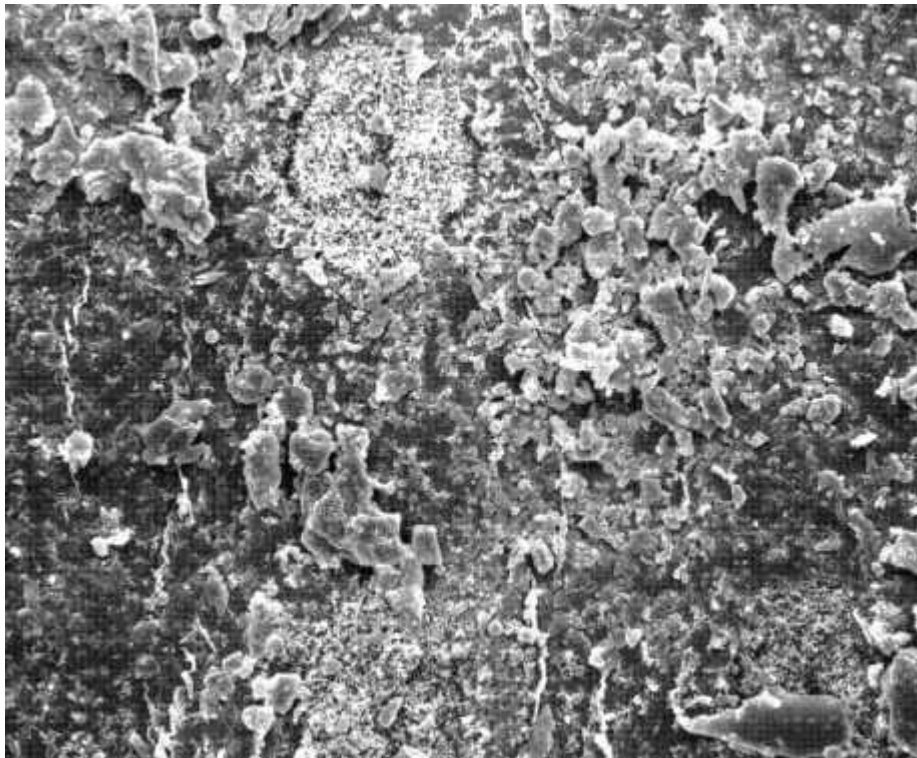


Abb. 1: PP 2/Frohnleiten, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit dichter Staubaufgabe. Vergrößerung: 750fach.

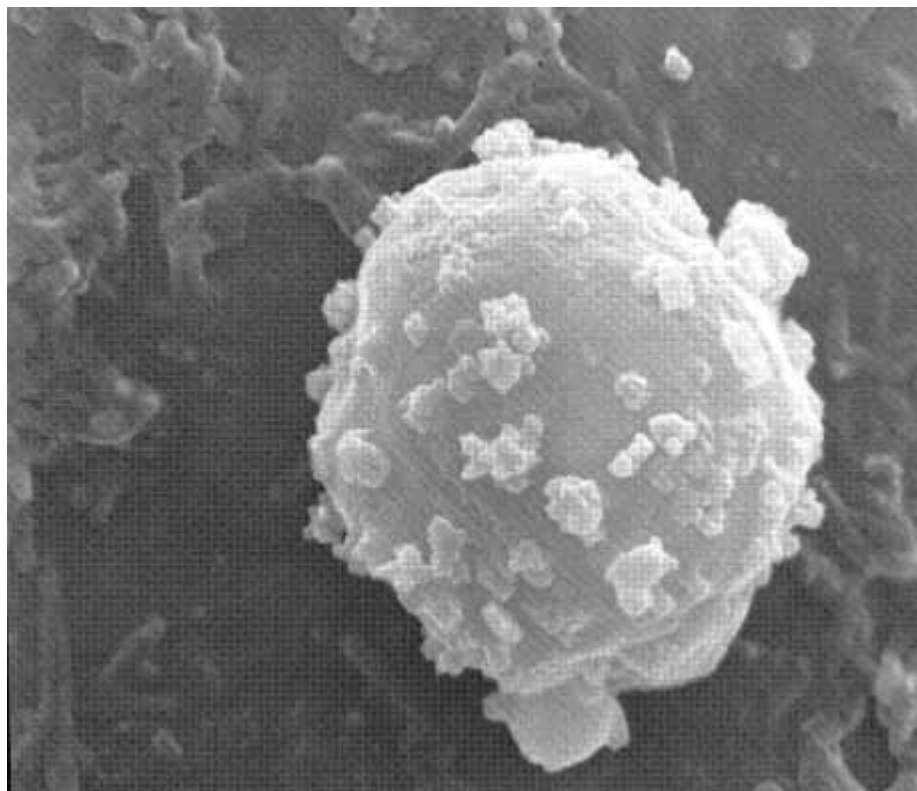


Abb. 2: PP 10/Frohnleiten, REM-Aufnahme eines globularen, manganhaltigen Partikels. Vergrößerung: 14000fach.

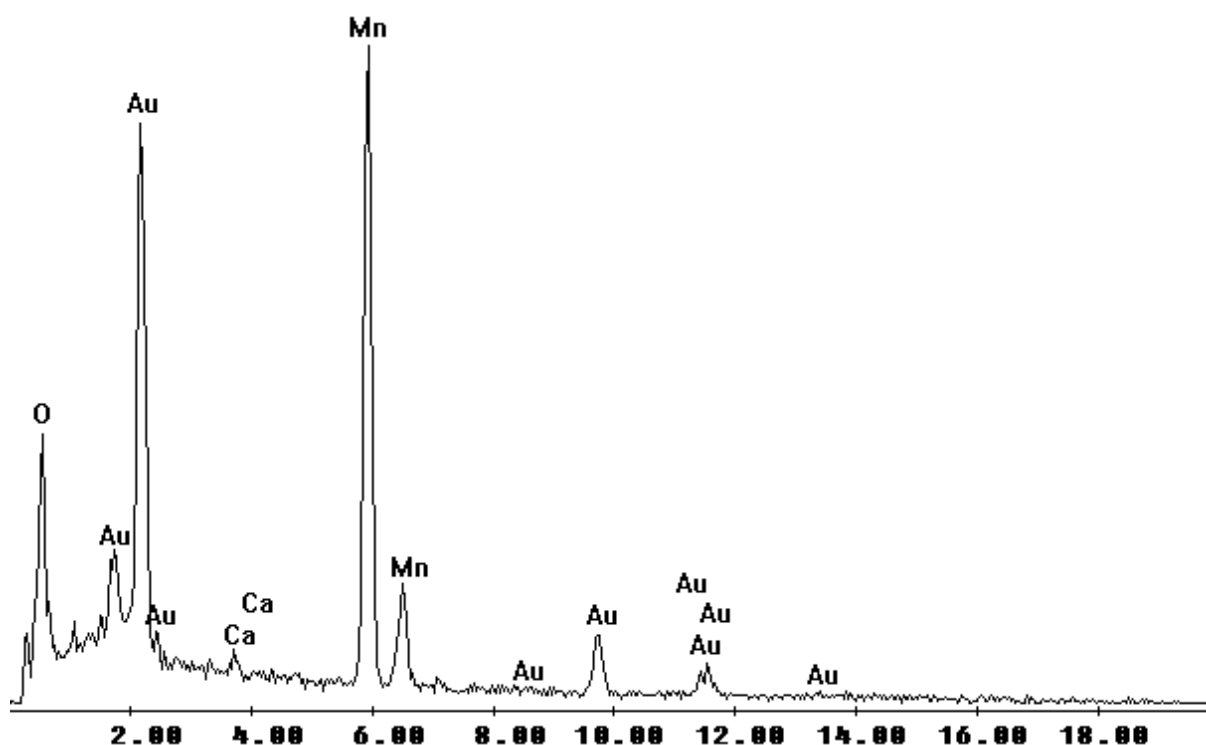


Abb. 3: PP 10/Frohnleiten, EDX-Spektrum des manganhaltigen Partikels in Abb. 2

Tab. 6: Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für F im 1. Njg. 0,8 mg%, GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frohnleiten. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 2          | < 0,8    | < 0,08  | 0,12   | 1,4                        | 5872        | 7893       | 996         | 1480       |
| 3          | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,4                        | 5760        | 6945       | 818         | 1226       |
| 4          | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,4                        | 6371        | 5745       | 894         | 1294       |
| 5          | < 0,8    | < 0,08  | 0,09   | 1,3                        | 6031        | 5007       | 1151        | 1484       |
| 6          | < 0,8    | 0,09    | 0,11   | 1,4                        | 7911        | 7174       | 1197        | 1073       |
| 7          | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,3                        | 7543        | 5689       | 1183        | 1116       |
| 8          | < 0,8    | 0,09    | 0,12   | 1,3                        | 7403        | 6227       | 1549        | 1262       |
| 10         | < 0,8    | < 0,08  | 0,10   | 1,3                        | 9241        | 7143       | 1142        | 1380       |
| Mittelwert | -        | -       | 0,11   | 1,4                        | 7017        | 6478       | 1116        | 1289       |
| Median     | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,4                        | 6887        | 6586       | 1147        | 1278       |
| Minimum    | -        | < 0,08  | 0,09   | 1,3                        | 5760        | 5007       | 818         | 1073       |
| Maximum    | < 0,8    | 0,09    | 0,12   | 1,4                        | 9241        | 7893       | 1549        | 1484       |

*Tab. 7: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frohnleiten. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.*

| PP                | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg | Hg<br>mg/kg |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2                 | 3,7         | 36,3        | 428         | 106         | 0,06        | 1,5         | 0,05        |
| 3                 | 4,0         | 36,9        | 485         | 127         | 0,03        | 2,0         | 0,06        |
| 4                 | 4,3         | 47,4        | 992         | 120         | 0,12        | 1,2         | 0,06        |
| 5                 | 3,7         | 50,6        | 347         | 84          | 0,03        | 0,8         | 0,04        |
| 6                 | 3,7         | 53,0        | 851         | 12          | 0,06        | 1,2         | 0,06        |
| 7                 | 2,8         | 46,4        | 834         | 94          | 0,06        | 0,9         | 0,08        |
| 8                 | 3,4         | 58,1        | 836         | 87          | 0,08        | 0,8         | 0,05        |
| 10                | 3,4         | 50,5        | 302         | 362         | 0,10        | 4,5         | 0,07        |
| <i>Mittelwert</i> | 3,6         | 47,4        | 634         | 137         | 0,07        | 1,6         | 0,06        |
| <i>Median</i>     | 3,7         | 49,0        | 659         | 109         | 0,06        | 1,2         | 0,06        |
| <i>Minimum</i>    | 2,8         | 36,3        | 302         | 12          | 0,03        | 0,8         | 0,04        |
| <i>Maximum</i>    | 4,3         | 58,1        | 992         | 362         | 0,12        | 4,5         |             |

Die Nährelementgehalte in den Nadeln der Standorte im Untersuchungsgebiet Frohnleiten sind nicht weiter auffällig. Während bei Fluor und Chlor keine Überschreitungen der Nadelgrenzwerte der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997) festgestellt wurden, wiesen bei Schwefel eine Reihe von Standorten Überschreitungen auf.

Bei den Schwermetallen Eisen und Blei weist der Standort Frohnleiten 10 auffällig über Normalgehalten erhöhte Werte auf (Tab. 7, Abb. 27, 34 im Anhang). Weiters sind Eisen und Blei signifikant positiv korreliert, was auch dann der Fall ist, wenn man den „Ausreißer“ Standort Frohnleiten 10 aus dem Datensatz eliminiert (Abb. 4). Ähnliche Ergebnisse wurden für Ranshofen und St. Veit an der Glan nachgewiesen (siehe unten). Bereits in einer früheren Studie wurden Hinweise auf die immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente dargestellt (WEISS & TRIMBACHER 1998). Eine Reihe von Untersuchungen belegt den Einfluß der Staubebelegung auf höhere Eisen- und Bleigehalte von Nadeln (KELLER ET AL. 1986, WYTTENBACH ET AL. 1989). Die vergleichsweise höhere Staubebelegung auf den Nadeln des Standorts Frohnleiten 10 (Tab. 4, Abb. 19 im Anhang) deutet darauf hin, dass auf den Nadeln anlagernder Staub für die höheren Gehalte dieser beiden Elemente verantwortlich sein könnte.

Auch die anderen Standorte Frohnleitens weisen bei Blei leicht erhöhte Nadelgehalte auf (Abb. 34 im Anhang, Tab. 7). Lt. HERMAN (1998) weisen entlegene Gebiete Nadelgehalte <0,80 mg Pb/kg auf, ländliche Gebiete mit Einfluß von Ballungsräumen zwischen 1,11 und 1,70 mg Pb/kg und Ballungsräume >1,70 mg Pb/kg. Ähnliche Ergebnisse für entlegene Gebiete zeigt eine Untersuchung von WEISS (1998). Anhand einer umfangreichen Untersuchung von LICK & DORFER (1998) an rd. 180 steirischen Standorten wurde eine Obergrenze des Normalbereichs ländlicher Gebiete in der Steiermark von 0,30 mg Pb/kg im 1. Nadeljahrgang errechnet (WEISS 1999).

Zur Einordnung der Quecksilbergehalte sei eine Untersuchung von ZVACEK (1988) zitiert, die im 1. Nadeljahrgang ländlicher Standorte durchwegs Gehalte unter 0,02 mg Hg/kg nachwies. Nach BERGMANN (1993) liegt der Quecksilber-Normalgehalt von Vegetationsproben unter 0,04 mg/kg. Demgegenüber sind die Gehalte der Fichtennadeln in Frohnleiten leicht erhöht (Abb. 36 im Anhang, Tab. 7).

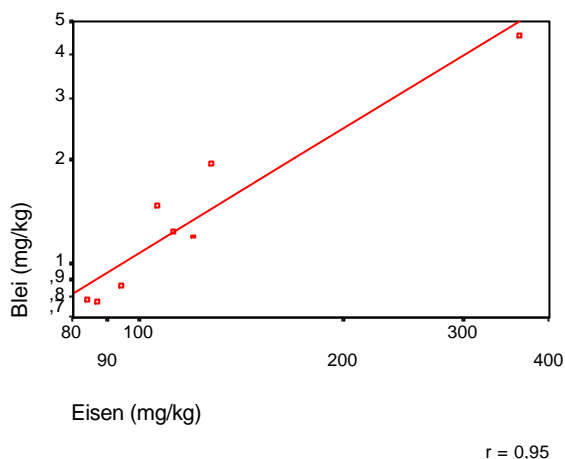


Abb. 4: Korrelation zwischen Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Frohnleiten ( $p < 0,01$ ).

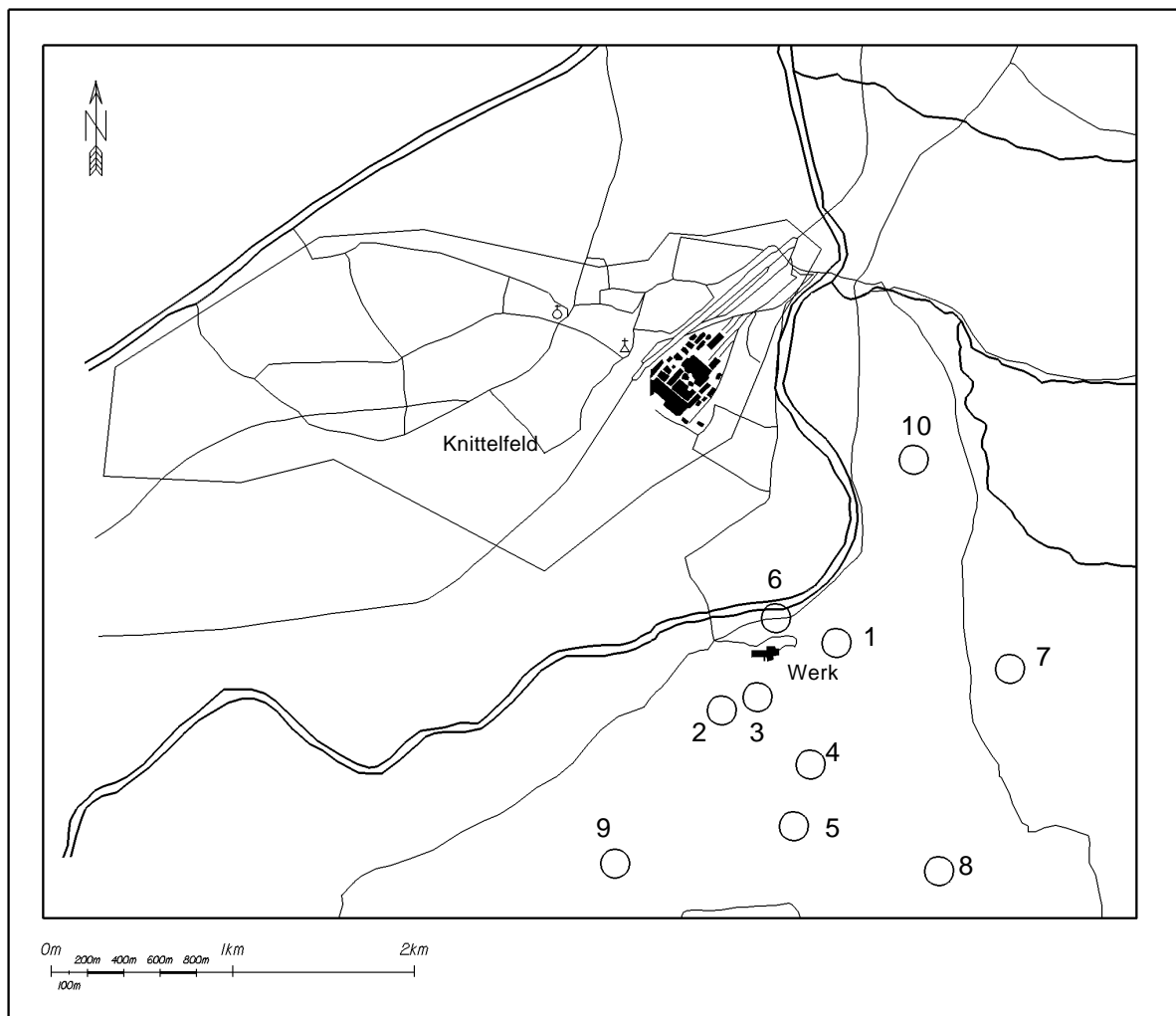
**Fazit.** In Frohnleiten wurden Fichtennadeln von acht Probepunkten im Nahbereich der dort befindlichen Hausmülldeponie untersucht. Die Wachsqualität war an allen Probepunkten leicht beeinträchtigt, wobei aber an drei Stellen in erster Linie mechanische Beeinträchtigungen vorlagen. Die Staubbelegung war bis auf einen Probepunkt vergleichsweise gering. Im Staub wurden regelmäßig anthropogene Flugaschepartikel, wie globulare Glasphasen, Eisenoxid- und Manganoxidphasen detektiert. Die Schwefelgehalte der Nadeln lagen an einigen Standorten über dem Grenzwert von 0,11% im 1. Nadeljahrgang der „2. Verordnung gegen fortschädliche Luftverunreinigungen“. Sowohl die Blei- als auch die Quecksilbergehalte der Nadeln waren teilweise leicht erhöht. Ein Probepunkt wies deutlich erhöhte Eisen- und Bleigehalte auf. Diese signifikant positive Korrelation zwischen den Gehalten dieser beiden Elemente wurde bereits in früheren Untersuchungen festgestellt (WEISS & TRIMBACHER, 1998). Auch in anderen Untersuchungsgebieten der vorliegenden Studie (Ranshofen, St. Veit a. d. Glan) zeigte sich diese Korrelation zwischen Eisen und Blei. Die Ergebnisse deuten auf eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente im Nahbereich von unterschiedlichen Emissionsquellen hin.

## 6 KNITTELFELD / STEIERMARK

### 6.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Südlich von Knittelfeld befindet sich ein Ziegelwerk der Fa. Lafarge, vormals Trost.

Für die Ziegelproduktion werden als Rohstoffe verschiedene Tonminerale, wie beispielsweise Kaolinit, Halloysit, Illit oder Montmorillonit verwendet. Nach dem Abbau wird das Material aufbereitet und entweder gleich direkt weiterverarbeitet oder zur weiteren Aufschließung bzw. Bevorratung in ein Sumpfhaus oder einen Maukturm transportiert. Zur Wärmedämmung der Ziegel erfolgt oftmals eine sog. Porosierung, d.h. es werden Kohle, Sägespäne, expandiertes Polystyrol oder Papierschlamm zugegeben, wodurch sich nach dem Brennen Luftporen ausbilden. Nach dem Trocknen der nassen Formlinge gelangen diese in den Brennofen (meist Tunnelofen), in denen die Ziegel bei 900°C bis 1200°C gebrannt werden. Vor allem beim Brennvorgang können Emissionen von Stäuben, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, HF, NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> und organischen Kohlenstoffverbindungen entstehen.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Knittelfeld

Im Frühjahr 1996 wurde seitens des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung mit Nadelanalysen im Rahmen eines Forstverfahrens begonnen, die erhebliche Grenzwertüberschreitungen bei Fluor gemäß 2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen ergaben. Mittlerweile steht das Forstverfahren vor dem Abschluß. Seitens der Anlagenbetreiber wurden bereits vorab emissionsmindernde Maßnahmen durchgeführt, wodurch es zu keinen Grenzwertüberschreitungen bei Fluor in den Nadeln im Einflußbereich des Ziegelwerkes mehr kommen dürfte (LICK, 1999, pers. Mitteilung).

## 6.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Nahbereich des Ziegelwerkes wurden 10 Probepunkte aus dem vorhandenen forstlichen Beweissicherungsnetz hinsichtlich der Nadeloberflächenparameter und der Nähr- und Schadstoffgehalte der Fichtennadeln untersucht. Die Nummerierung der Probepunkte in der vorliegenden Studie stimmt nicht mit derjenigen des forstlichen Beweissicherungsnetzes überein.

Die Wachsqualität der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Knittelfeld lag im Bereich von 2,0 bis 2,7, und war somit leicht beeinträchtigt (Tab. 8). An den beiden Probepunkten 3 und 6 waren die Beeinträchtigungen hauptsächlich mechanisch bedingt.

Die Staubelegung der untersuchten Nadeloberflächen war vergleichsweise gering und lag zwischen 0% und 4%. Im Staub, der auf den Nadeloberflächen des Probepunktes 2 detektiert wurde, fanden sich mehrere, amorph gestaltete, fluorhaltige Partikel (Abb. 5).

*Tab. 8: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Knittelfeld.*

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| 1                 | 2,2 ± 0,6     | 0       | 8            |
| 2                 | 2,0 ± 0,4     | 4       | 15           |
| 3                 | 2,7 ± 1,0     | 1       | 17           |
| 4                 | 2,3 ± 0,5     | 0       | 7            |
| 5                 | 2,1 ± 0,4     | 0       | 4            |
| 6                 | 2,3 ± 0,6     | 3       | 7            |
| 7                 | 2,1 ± 0,6     | 1       | 10           |
| 8                 | 2,0 ± 0,4     | 0       | 10           |
| 9                 | 2,1 ± 0,5     | 0       | 17           |
| 10                | 2,0 ± 0,7     | 1       | 21           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,2           | 1       | 12           |
| <i>Median</i>     | 2,1           | 0,5     | 10           |
| <i>Minimum</i>    | 2,0           | 0       | 4            |
| <i>Maximum</i>    | 2,7           | 4       | 21           |

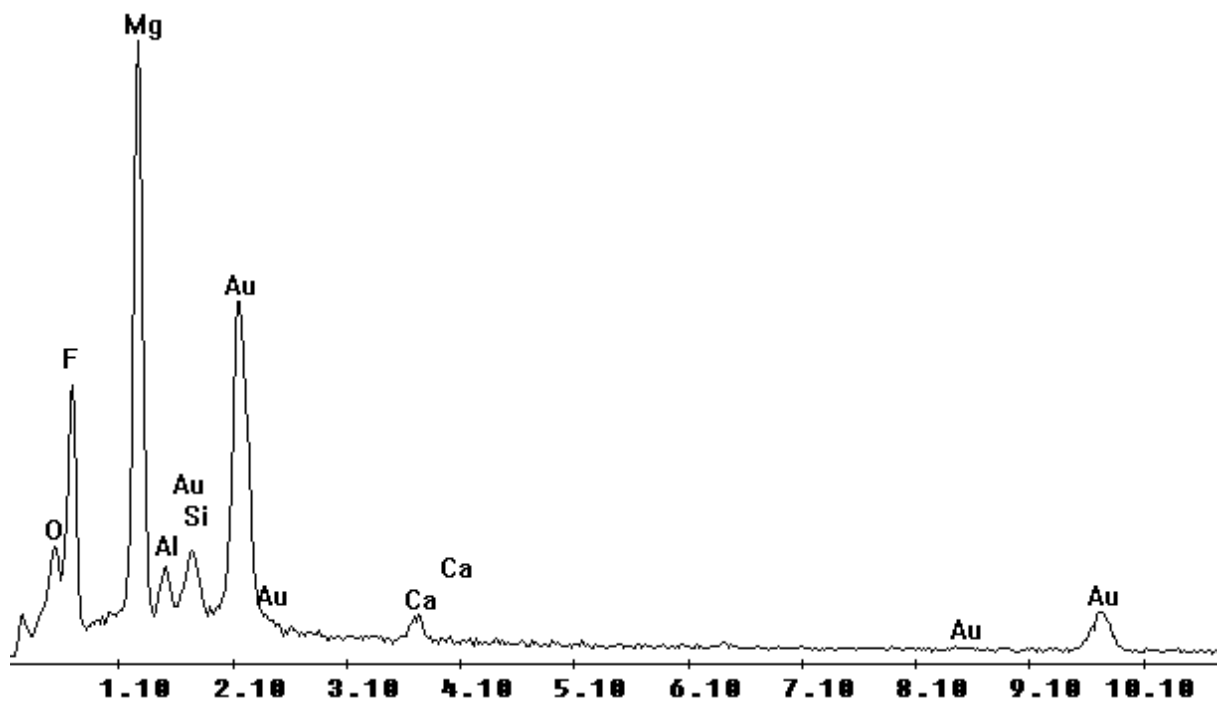


Abb. 5: PP 2/Knittelfeld, EDX-Spektrum von fluorhaltigen Partikeln.

Tab. 9: Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nahrelementgehalte (GW fur F im 1. Njg. 0,80 mg%, Cl im 1. Njg. 0,10%, GW fur S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Knittelfeld. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | F<br>mg% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1          | 2,8      | 0,12   | 1,5                        | 4622        | 7443       | 1271        | 2602       |
| 2          | 5,0      | 0,10   | 1,5                        | 6041        | 7477       | 1092        | 2360       |
| 3          | 2,2      | 0,13   | 1,8                        | 6832        | 10351      | 1662        | 3616       |
| 4          | 5,9      | 0,15   | 1,6                        | 5786        | 12556      | 1254        | 3247       |
| 5          | 1,6      | 0,11   | 1,6                        | 4938        | 6780       | 1750        | 2596       |
| 6          | 2,5      | 0,11   | 1,9                        | 6270        | 9555       | 1401        | 2127       |
| 7          | 1,2      | 0,13   | 1,7                        | 5619        | 9003       | 1634        | 3228       |
| 8          | 1,5      | 0,11   | 1,6                        | 9975        | 9132       | 1012        | 2225       |
| 9          | 1,7      | 0,12   | 1,5                        | 6295        | 9009       | 1187        | 2154       |
| 10         | 1,6      | 0,12   | 1,6                        | 6786        | 8140       | 1456        | 1965       |
| Mittelwert | 2,6      | 0,12   | 1,6                        | 6316        | 8954       | 1372        | 2612       |
| Median     | 2,0      | 0,12   | 1,6                        | 6156        | 9051       | 1336        | 2478       |
| Minimum    | 1,2      | 0,10   | 1,5                        | 4622        | 6780       | 1012        | 2127       |
| Maximum    | 5,9      | 0,15   | 1,9                        | 9975        | 12556      | 1750        | 3616       |

Tab. 10: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Knittelfeld. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | Al<br>mg/kg | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1          | 481         | 4,3         | 32,3        | 477         | 64          |
| 2          | 413         | 4,2         | 31,7        | 622         | 100         |
| 3          | 541         | 5,2         | 43,1        | 595         | 68          |
| 4          | 427         | 4,5         | 38,9        | 808         | 76          |
| 5          | 404         | 3,3         | 33,0        | 780         | 55          |
| 6          | 235         | 3,9         | 34,7        | 449         | 62          |
| 7          | 333         | 4,1         | 46,1        | 579         | 58          |
| 8          | 398         | 3,3         | 47,3        | 533         | 55          |
| 9          | 572         | 3,7         | 29,6        | 889         | 61          |
| 10         | 576         | 3,7         | 39,8        | 862         | 68          |
| 7          | 333         | 4,1         | 46,1        | 579         | 58          |
| 8          | 398         | 3,3         | 47,3        | 533         | 55          |
| 9          | 572         | 3,7         | 29,6        | 889         | 61          |
| 10         | 576         | 3,7         | 39,8        | 862         | 68          |
| Mittelwert | 429         | 4,0         | 37,7        | 659         | 67          |
| Median     | 420         | 4,0         | 36,8        | 609         | 63          |
| Minimum    | 235         | 3,3         | 29,6        | 449         | 55          |
| Maximum    | 576         | 5,2         | 47,3        | 889         | 100         |

Bei Schwefel, v.a. aber bei Fluor wurden deutliche Überschreitungen der Grenzwerte der „2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997) nachgewiesen (Tab. 9, Abb. 22, 31 im Anhang). Die Fluorgehalte einzelner Standorte (Knittelfeld 2 und 4) liegen bei einem Vielfachen dieses Grenzwertes. Auf Basis von umfangreichen Untersuchungen gibt HALBWACHS ET AL. (1995) einen phytotoxikologischen Schwellenwert („Wirkungsgrenze“) von 2 mg% Fluor in Nadeln an. Waldschädigende Einflüsse sind daher bei den vergleichsweise dazu höheren Fluorgehalten des Untersuchungsgebietes Knittelfeld nicht auszuschließen. Nachfolgende Untersuchungen, die vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung durchgeführt wurden, zeigten einen deutlichen Rückgang der Fluorbelastung in diesem Gebiet, welcher nicht zuletzt durch die rasche Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen seitens des Anlagenbetreibers realisiert werden konnte.

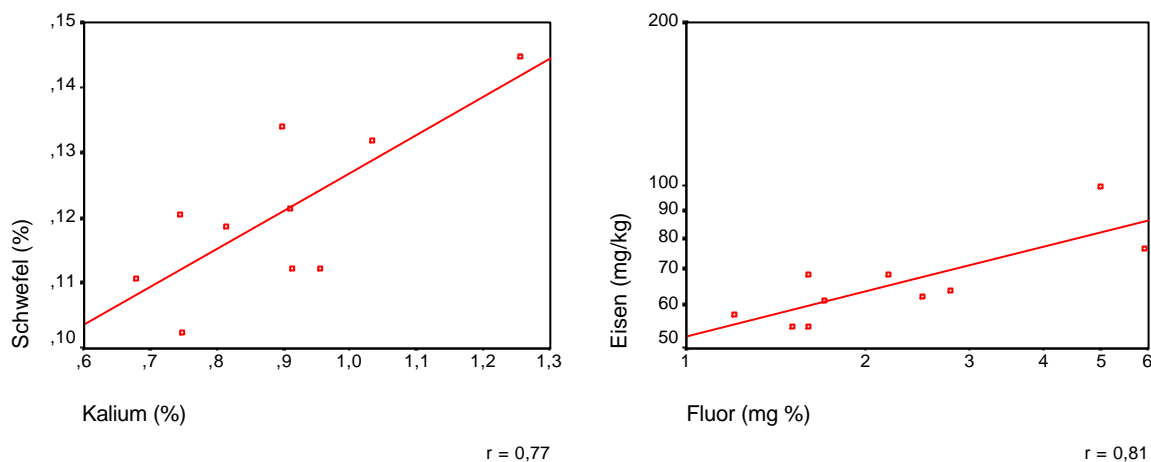
Bei Betrachtung der Nährstoffgehalte der Standorte im Untersuchungsgebiet Knittelfeld fällt die vergleichsweise gute Versorgung mit Stickstoff, Phosphor und Kalium auf (Abb. 21, 23 und 24 im Anhang). Es kann anhand dieser Daten nicht beurteilt werden, ob diese Nährelementgehalte auf Düngungsmaßnahmen (NPK-Dünger) im Untersuchungsgebiet zurückzuführen sind. Im Hinblick auf die Belastungssituation im Untersuchungsgebiet 1997 (Fluor-, Aluminiumgehalte in den Nadeln, siehe unten) ist die vergleichsweise gute Ernährungssituation



jedenfalls überraschend, grundsätzlich positiv hervorzuheben, wenngleich – sollte sie auf Düngungsmaßnahmen zurückzuführen sein – dies nicht als langfristige Strategie zur Verbesserung der Situation des Schadstoffeintrags dienen sollte.

Bei den Mikronährstoffen Eisen, Mangan, Zink und Kupfer zeigen die Gehalte der Fichtennadeln keine Auffälligkeiten (Tab. 10). Bei Aluminium, das zusätzlich analysiert wurde, zeigen sich vergleichsweise höhere Werte in Knittelfeld als an österreichischen Hintergrundstandorten, wo in den Jahren 1993 und 1995 Gehalte zwischen 4 und 175 mg Al/kg im 1. Nadeljahrgang nachgewiesen wurden (TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS 1998). Gehalte in einer ähnlichen Größenordnung werden von emittentennahen Standorten Österreichs berichtet, nämlich zwischen „nicht nachweisbar“ und 188 mg Al/kg (TRIMBACHER & WEISS 1997), und von einer landesweiten Inventur in Bayern, nämlich zwischen 10 und 181 mg Al/kg (GULDER & KÖLBEL 1993). Diese Gehaltsbereiche werden durch die nachgewiesenen Aluminiumgehalte in Knittelfeld deutlich überschritten (Abb. 33 im Anhang, Tab. 10). Aluminium ist eines jener Elemente, das mit Zunahme der Bodenversauerung deutlich stärker aus dem Boden aufgenommen wird (BERGMANN 1993, MARSCHNER 1995), weshalb Zunahmen der Nadelgehalte mit Abnahmen des Boden-pH-Wertes immer wieder nachgewiesen wurden (WYTTENBACH ET AL. 1991, WEISS 1998). Weiters ist die Möglichkeit der Freisetzung von Aluminium im Boden durch Fluor in Betracht zu ziehen (WENZEL 1990). Andererseits ist Aluminium eines jener Elemente, das häufig in dem den Nadeln anlagernden Staub nachweisbar ist (TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS & TRIMBACHER 1998), was sich in deutlichen Einflüssen der Staubbelegung auf analysierte Aluminiumnadelgehalte äußert (KELLER ET AL. 1986). Die Nadeln der Standorte Knittelfelds weisen eine vergleichsweise geringe Staubbelegung auf (Abb. 19 im Anhang, Tab. 8) in dessen Elementspektrum Aluminium nur unbedeutend vertreten ist (Abb. 5). Es wird daher vermutet, dass die erhöhten Aluminiumnadelgehalte in Knittelfeld auf Aufnahmen aus dem Boden zurückzuführen sind, was wiederum mit stark bodensauren Bedingungen und/oder Aluminiumfreisetzung im Boden durch Fluorbelastung in Zusammenhang stehen könnte. In diese Richtung deutet auch der signifikant positive Zusammenhang zwischen den Nadelgehalten von Aluminium und Mangan hin (Tabelle 31 im Anhang), einem weiteren Element dessen Aufnahme über die Wurzeln und Nadelgehalte stark vom Bodensäurestatus abhängig sind (KAZDA & ZVACEK 1989, WYTTENBACH ET AL. 1991, KATZENSTEINER 1992). Sowohl ungünstiger Bodensäurestatus als auch erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Aluminium sind dem Wald nicht zuträglich. Diesen vermuteten Ursachen für erhöhte Aluminiumnadelgehalte könnte in weiterführenden Untersuchungen nachgegangen werden.

Zwischen einzelnen Nadelparametern bzw. Elementen konnten signifikante Beziehungen identifiziert werden (Tab. 32 im Anhang). Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl ist die Signifikanz jedoch nicht sehr ausgeprägt, weshalb diese Ergebnisse nicht überbewertet werden sollten. Die ausgeprägteren Zusammenhänge ( $p < 0,01$ ) traten zwischen Schwefel und Kalium sowie zwischen Eisen und Fluor auf (Abb. 6). Bei Schwefel und Kalium dürfte es sich um versorgungsbedingte Zusammenhänge handeln, während der Zusammenhang zwischen Eisen und Fluor durch Immissionen verursacht sein könnte.



**Abb. 6:** Korrelationen zwischen Schwefel und Kalium sowie Eisen und Fluor in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Knittelfeld ( $p < 0,01$ ).

**Fazit.** In der Umgebung eines südlich von Knittelfeld in der Steiermark befindlichen Ziegelwerkes wurden Fichtennadeln von insgesamt zehn Probepunkten untersucht. Die Wachstumsqualität war leicht beeinträchtigt. An zwei Punkten war die leichte Beeinträchtigung nicht auf Immissionen sondern auf mechanische Einflüsse zurückzuführen. Die Staubbelegung der Nadeln war vergleichsweise gering. Ein Probepunkt nahe des Werks wies fluorhaltige Staubpartikel auf den Nadeloberflächen auf. Bei Schwefel, vor allem aber bei Fluor wurden massive Überschreitungen der Grenzwerte der „2. Verordnung gegen fortschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt. Laut Auskunft der zuständigen Behörden wurde jedoch mittlerweile durch die rasche Umsetzung von emissionsmindernden Maßnahmen seitens des Anlagenbetreibers ein Rückgang der Nadelgehalte erreicht. Die Aluminiumgehalte der Nadeln sind ebenfalls deutlich erhöht, was vermutlich auf Aufnahmen aus dem Boden (z.B. aufgrund des Bodensäurestatus) zurückzuführen ist. Diesen Vermutungen sollte in weiterführenden Untersuchungen nachgegangen werden.

## 7 RANSHOFEN / OBERÖSTERREICH

### 7.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Produktion von Sekundäraluminium beträgt in Österreich derzeit etwa 190.000 bis 195.000 t pro Jahr, wobei sich zwei der insgesamt vier österreichischen Hersteller in Ranshofen befinden. Die *ARHG-Ranshofen* erzeugt ca. 106.000 t Knetlegierungen und ca. 7.000 t Gußlegierungen pro Jahr. Einsatzmaterial für die fünf kippbaren Herdöfen ohne Metallumlauf sind Primärmetall und Neuschrotte. Profilabfälle, Späne und Altschrotte werden zusammen mit Primärmetall im Closed-well Ofen eingesetzt. Die ca. 5.000 t Krätze werden nach dem Kühlen und Sieben an die ASA weitergegeben. Weiters fallen etwa 20 t Filterstaub und 300 t Ofenausbruch pro Jahr an. Die *ASA-Ranshofen* betreibt zwei starre Drehtrommelöfen als Schmelzöfen und vier Herdöfen als Warmhalteöfen. Die Metallproduktion beträgt etwa 35.000 t Gußlegierungen. Einsatzmaterialien sind Neuschrotte, Kapseln, Späne, aufbereitete Altschrotte und Krätzen sowie geringe Mengen Aluminiumdosen. Die Späne werden vor dem Einsatz in einem direkt befeuerten Drehrohr getrocknet und gesiebt. Der Eisenanteil wird über Magnetscheider abgetrennt. Der Altschrott wird direkt eingesetzt. Die Krätzen werden gemahlen und gesiebt. Der Eisenanteil der Größe wird über einen Magnetscheider abgetrennt. Die ca. 18.000 t Salzschlacke werden zusammen mit den ca. 1.000 t Krätzestaub zur Aufbereitung exportiert (BOIN ET AL., 1998).

Der Einsatz von Aluminiumschrott in Sekundärschmelzwerken ist mit der Bildung von Emissionen von luftverunreinigenden Stoffen wie Staub, Schwefel- und Stickstoffoxiden, Kohlen- di- und -monoxid, unverbrannten Kohlenwasserstoffen, halogenierten Verbindungen (z.B. Dioxinen) sowie gasförmigen anorganischen Chlor- und Fluorverbindungen verbunden.

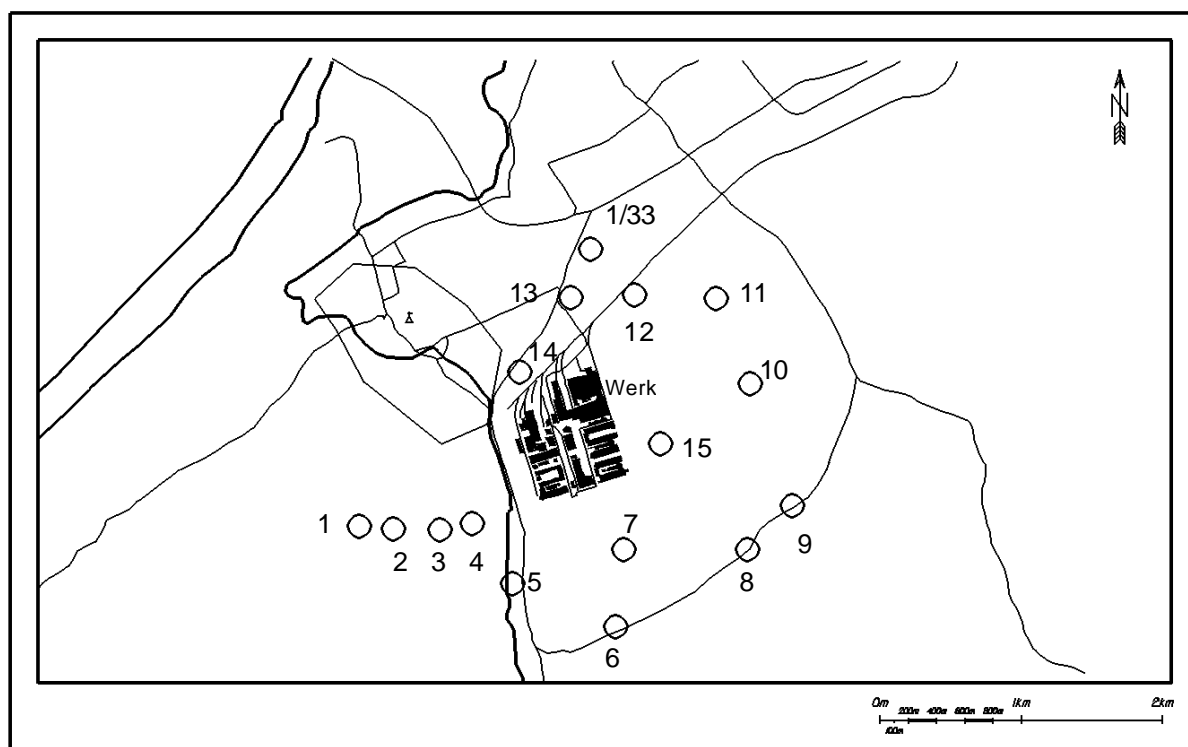
Hauptemissionsquellen von Staub sind die Schrott- und Krätzeaufbereitung sowie die Schmelz-, Warmhalte- und Raffinationsöfen.

Im Abgas von Drehtrommel- bzw. Herd- und Raffinationsöfen finden sich weiters Halogenverbindungen aus dem Schmelzsalz bzw. aus Anhaftungen von PVC und Teflon am Schrott. Emissionen von Fluorwasserstoff treten durch Hydrolyse der fluorhaltigen Schmelzsalzzusätze, wie  $\text{CaF}_2$  oder  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  im Abgas von Drehtrommelöfen auf.

Chloremissionen entstehen, wenn eine Spülgasbehandlung mit Chlorgas oder Chlorgas-abgebende Substanzen, z.B. zur Reduzierung des Magnesiumgehaltes, vorgenommen werden muß. Schwefeldioxid entsteht sowohl durch Verbrennung des Schwefelanteils im Brennstoff als auch durch Reaktionen schwefelhaltiger Verunreinigungen der Schrotte.

Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe (C-org) sind Produkte einer unvollständigen Verbrennung von Kohlenstoff und Kohlenstoffverbindungen. Stickoxide entstehen im wesentlichen bei Verbrennungsprozessen aus dem Stickstoffanteil des Brennstoffes und bei Temperaturen von über 1.000 °C auch aus dem Luftstickstoff.

Üblicherweise wird in Sekundäraluminiumschmelzwerken die Abluft aus der Spänetrocknung sowie die Abluft der Schmelz-, Warmhalte- und Raffinierungsöfen getrennt erfaßt und behandelt. Ebenso sind Krätzeaufbereitungsanlagen meist mit einer eigenen Abluftentstauungsanlage ausgestattet. Die Abluft der Gießeinrichtungen wird üblicherweise nicht behandelt.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Ranshofen

## 7.2 Ergebnisse der Nadelanalysen

Im Untersuchungsgebiet Ranshofen wurden im Umkreis um das Sekundärschmelzwerk 15 Probebäume in Zusammenarbeit mit der Landesforstdirektion für Oberösterreich neu eingerichtet und im Herbst 1997 erstmals beerntet. Weiters wurden noch vier bereits bestehende Bioindikatorbäume beprobt. Aufgrund der weiteren Entfernung dieser Bäume zum Werk sind sie nicht in der Lageskizze eingezeichnet.

Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 3,2 (mittelstark beeinträchtigt) und schwankt somit in einem weiten Bereich (Abb. 18 im Anhang, Tab. 11). Die schlechtere Wachsqualität der beiden Probepunkte 2 und 1/2 war großteils mechanisch bedingt und nicht auf Immissionseinflüsse zurückzuführen. Die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen war allgemein sehr hoch und lag im Bereich von 0% bis 38% (Abb. 19 im Anhang, Tab. 11). An den beiden Probepunkten 3 und 6 mußten aufgrund des massiven Auftretens von Aluminiumstaub 1% bzw. 5% der Spaltöffnungen mit Sonderklasse 6 beurteilt werden. Abbildung 7 zeigt einen Nadelbereich des Probepunktes 5 mit anhaftendem Aluminiumstaub (siehe auch Abb. 8). Einige Standorte Ranshofens zeigen auch eine deutliche Epibiontenbelegung der Nadeln (Abb. 20 im Anhang, Tab. 11).

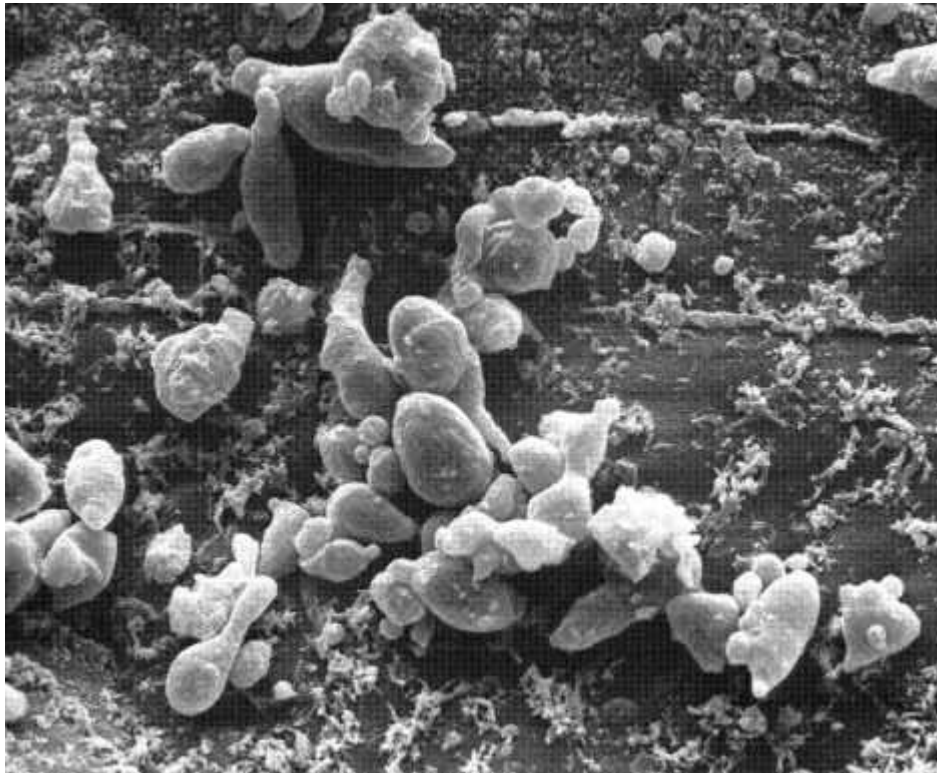


Abb. 7: PP 5/Ranshofen, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftendem Aluminiumstaub. Vergrößerung: 2200fach.

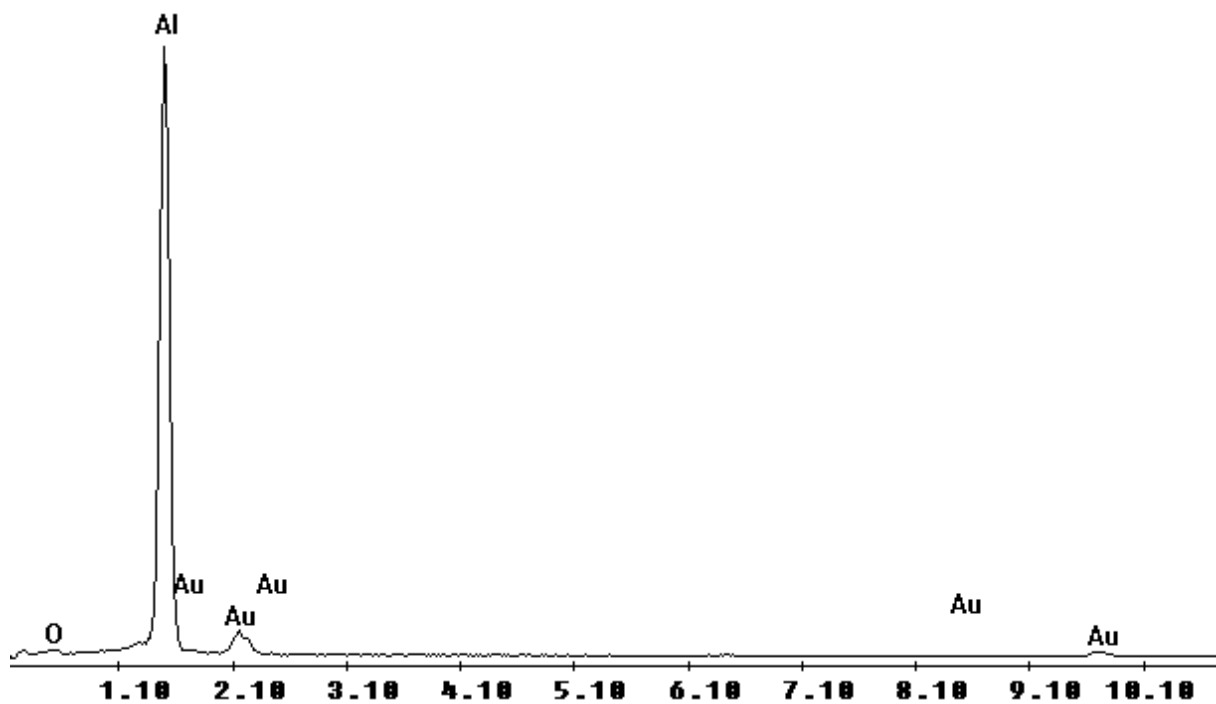


Abb. 8: PP 5/Ranshofen, EDX-Spektrum von Aluminiumstaub.

*Tab. 11: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Ranshofen.*

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| 1                 | 2,0 ± 0,6     | 17      | 8            |
| 2                 | 3,0 ± 1,3     | 11      | 22           |
| 3                 | 2,1 ± 0,9     | 28      | 25           |
| 4                 | 2,5 ± 0,8     | 22      | 19           |
| 5                 | 2,3 ± 0,7     | 36      | 56           |
| 6                 | 2,6 ± 1,2     | 28      | 30           |
| 7                 | 2,6 ± 1,0     | 36      | 10           |
| 8                 | 2,8 ± 1,1     | 31      | 24           |
| 9                 | 2,2 ± 0,9     | 8       | 14           |
| 10                | 2,5 ± 1,2     | 38      | 15           |
| 11                | 1,7 ± 0,9     | 10      | 13           |
| 12                | 2,5 ± 1,0     | 14      | 33           |
| 13                | 2,3 ± 1,0     | 24      | 40           |
| 14                | 2,1 ± 0,8     | 10      | 26           |
| 15                | 2,2 ± 0,5     | 14      | 11           |
| 1/2               | 3,2 ± 1,3     | 0       | 32           |
| 1/23              | 2,5 ± 0,9     | 0       | 36           |
| 1/26              | 2,5 ± 1,0     | 0       | 24           |
| 1/33              | 2,8 ± 1,1     | 1       | 40           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,4           | 17      | 25           |
| <i>Median</i>     | 2,5           | 14      | 24           |
| <i>Minimum</i>    | 1,7           | 0       | 8            |
| <i>Maximum</i>    | 3,2           | 38      | 56           |

Die Grenzwerte der 2. Forstverordnung für Schwefel, Fluor und Chlor werden nur von einzelnen Standorten überschritten (Tab. 12, Abb. 22, 31, 32 im Anhang). Seit Schließung des maßgeblichen Emittenten hat sich v.a. die Eintragssituation für Fluor in diesem Gebiet deutlich entspannt, was sich in den vergleichsweise niedrigeren Nadelgehalten an Fluor in jüngsten Jahren in entsprechender Weise niederschlägt (HALBWACHS ET AL. 1995). Bei den Nährelementgehalten ist v.a. die vergleichsweise schlechtere Kaliumversorgung auffällig (Abb. 24 im Anhang), Bereiche für Mangel nach den Richtwerten von STEFAN (1992) oder FOERST ET AL. (1987) werden vereinzelt erreicht. Bei den Mikronährstoffen Eisen, Mangan, Zink und Kupfer zeigte sich keine Mangelversorgung gemäß Richtwerten aus der internationalen Literatur (Datenzusammenstellung in WEISS 1999). Auffällig sind jedoch die relativ niedrigen Zinkgehalte sowie die relativ hohen Mangangehalte in Ranshofen (Abb. 28, 29 im Anhang), einem Element dessen Gehalte in Fichtennadeln allerdings auch natürlich in weiten Bereichen schwanken (Datenzusammenstellung in WEISS 1999).

Tab. 12: Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für F im 1. Njg. 0,8 mg%, GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Ranshofen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1          | --       | 0,09    | 0,11   | 1,4                        | 7460        | 5148       | 1173        | 2046       |
| 2          | 1,8      | < 0,08  | 0,10   | 1,5                        | 5104        | 5802       | 996         | 1744       |
| 3          | 1,6      | 0,09    | 0,10   | 1,5                        | 5076        | 4224       | 1286        | 1743       |
| 4          | --       | 0,09    | 0,09   | 1,4                        | 5523        | 4226       | 1175        | 1818       |
| 5          | < 0,8    | 0,10    | 0,09   | 1,3                        | 5652        | 3955       | 1189        | 1550       |
| 6          | 0,9      | < 0,08  | 0,10   | 1,2                        | 5974        | 6174       | 1569        | 1741       |
| 7          | --       | 0,10    | 0,11   | 1,3                        | 6442        | 6937       | 1338        | 1790       |
| 8          | < 0,8    | < 0,08  | 0,09   | 1,2                        | 6633        | 3999       | 1074        | 1798       |
| 9          | < 0,8    | 0,11    | 0,09   | 1,2                        | 5802        | 3830       | 1050        | 1648       |
| 10         | < 0,8    | 0,08    | 0,09   | 1,2                        | 8633        | 3674       | 1159        | 1682       |
| 11         | < 0,8    | < 0,08  | 0,11   | 1,4                        | 4510        | 4140       | 1592        | 2588       |
| 12         | < 0,8    | 0,08    | 0,12   | 1,4                        | 10563       | 6080       | 1204        | 2295       |
| 13         | < 0,8    | 0,08    | 0,09   | 1,3                        | 4372        | 3696       | 1052        | 1668       |
| 14         | < 0,8    | 0,10    | 0,10   | 1,4                        | 7391        | 4881       | 1265        | 2502       |
| 15         | 0,9      | < 0,08  | 0,09   | 1,5                        | 6450        | 3807       | 1433        | 1826       |
| 1/2        | < 0,8    | 0,10    | 0,08   | 1,2                        | 3995        | 4763       | 963         | 1161       |
| 1/23       | < 0,8    | 0,10    | 0,09   | 1,3                        | 7055        | 2990       | 1070        | 1458       |
| 1/26       | < 0,8    | 0,09    | 0,10   | 1,4                        | 4738        | 4722       | 1285        | 1429       |
| 1/33       | < 0,8    | 0,10    | 0,09   | 1,3                        | 6444        | 3151       | 1014        | 1423       |
| Mittelwert | -        | -       | 0,10   | 1,3                        | 6201        | 4537       | 1205        | 1785       |
| Median     | < 0,8    | ?       | 0,09   | 1,3                        | 5974        | 4224       | 1175        | 1743       |
| Minimum    | < 0,8    | < 0,8   | 0,08   | 1,2                        | 4372        | 2990       | 1014        | 1161       |
| Maximum    | 1,8      | 0,11    | 0,12   | 1,5                        | 10563       | 6937       | 1592        | 2588       |

Die zahlreichen statistisch signifikanten Zusammenhänge, die zwischen den Nadelgehalten bzw. mit der Staubbelegung der Nadeln identifiziert wurden, geben Hinweise auf die derzeit möglichen Ursachen der nachgewiesenen Gehalte. Zwischen einer Reihe von Nährelementen wurden signifikant positive Zusammenhänge identifiziert (Tab. 33, 34 im Anhang). Besonders Schwefel korrelierte mit zahlreichen anderen Nährelementen, u.a. vergleichsweise stärker mit Kalium und Phosphor (Abb. 9). Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass die derzeit im Raum Ranshofen nachgewiesenen Nadelgehalte von Schwefel eher ein Ausdruck der Versorgung mit diesem Nährelement sind als auf Immissionen zurückzuführen sind.

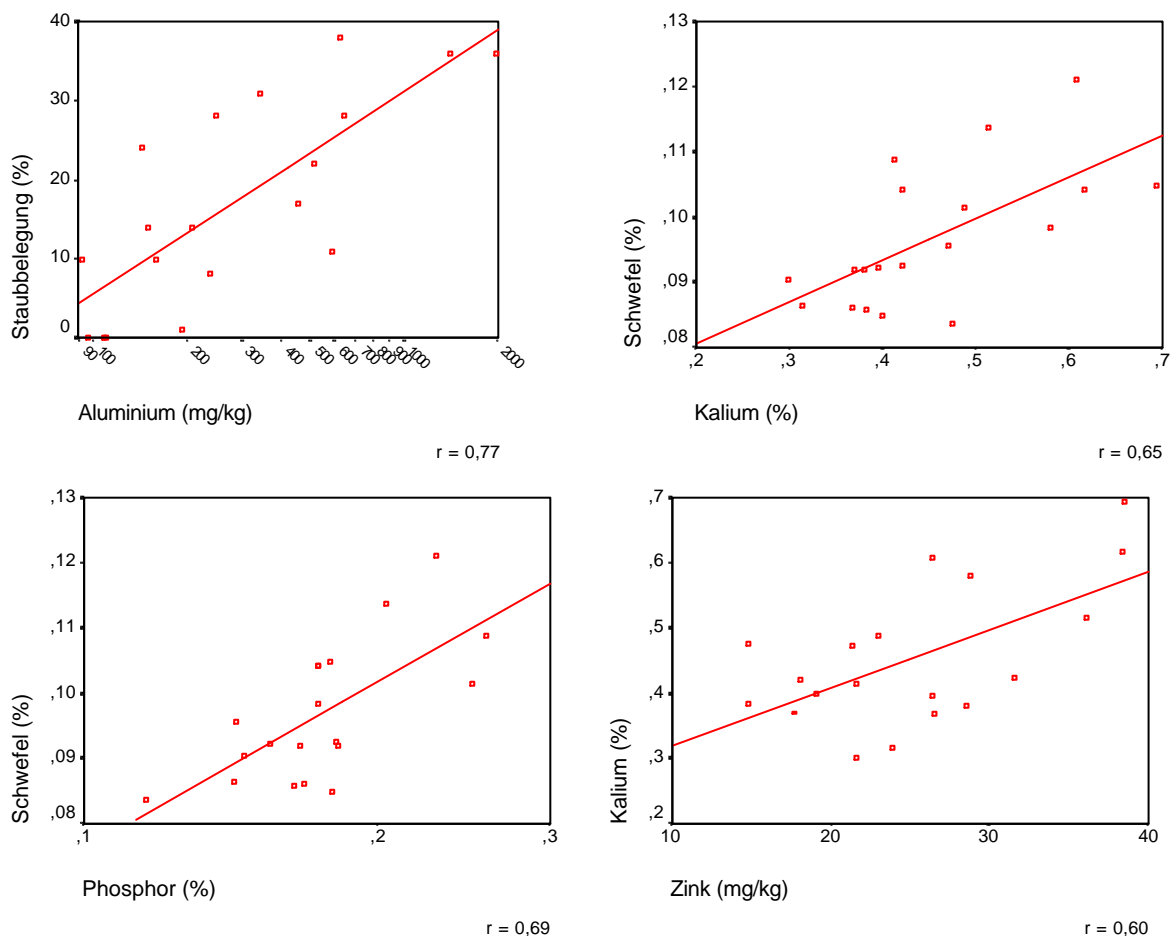
Tab. 13: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Ranshofen. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP                | Al<br>mg/kg | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1                 | 455         | 4,7         | 36,1        | 1058        | 85          | 0,12        | 1,3         |
| 2                 | 592         | 4,9         | 28,9        | 2291        | 76          | 0,14        | 1,3         |
| 3                 | 645         | 4,9         | 18,0        | 1720        | 72          | 0,11        | 1,3         |
| 4                 | 516         | 5,7         | 31,6        | 1882        | 66          | 0,17        | 1,4         |
| 5                 | 1978        | 4,9         | 26,5        | 637         | 49          | 0,09        | 0,8         |
| 6                 | 247         | 3,6         | 38,4        | 2205        | 54          | 0,13        | 0,3         |
| 7                 | 1401        | 4,4         | 38,6        | 1710        | 73          | 0,11        | 0,8         |
| 8                 | 344         | 3,0         | 19,0        | 933         | 75          | 0,06        | 0,8         |
| 9                 | 239         | 3,3         | 14,8        | 464         | 49          | 0,04        | 0,5         |
| 10                | 630         | 4,1         | 26,6        | 747         | 69          | 0,11        | 1,1         |
| 11                | 160         | 3,5         | 21,6        | 469         | 53          | 0,02        | 0,6         |
| 12                | 150         | 3,5         | 26,4        | 1032        | 72          | 0,10        | 2,3         |
| 13                | 144         | 3,2         | 17,7        | 2440        | 54          | 0,08        | 1,4         |
| 14                | 92          | 3,3         | 23,1        | 389         | 43          | 0,11        | 0,6         |
| 15                | 209         | 3,7         | 28,5        | 1806        | 46          | 0,24        | 0,5         |
| 1/2               | 97          | 2,7         | 14,8        | 2034        | 58          | 0,05        | 0,4         |
| 1/23              | 111         | 3,0         | 21,6        | 2530        | 44          | 0,13        | 0,3         |
| 1/26              | 108         | 3,2         | 21,3        | 1021        | 59          | 0,06        | 0,4         |
| 1/33              | 193         | 2,9         | 23,9        | 2892        | 91          | 0,10        | 2,3         |
| <i>Mittelwert</i> | 437         | 3,8         | 25,1        | 1487        | 63          | 0,10        | 1,0         |
| <i>Median</i>     | 239         | 3,5         | 23,9        | 1710        | 59          | 0,11        | 0,8         |
| <i>Minimum</i>    | 92          | 2,7         | 14,8        | 389         | 43          | 0,02        | 0,3         |
| <i>Maximum</i>    | 1978        | 5,7         | 38,6        | 2892        | 91          | 0,24        | 2,3         |

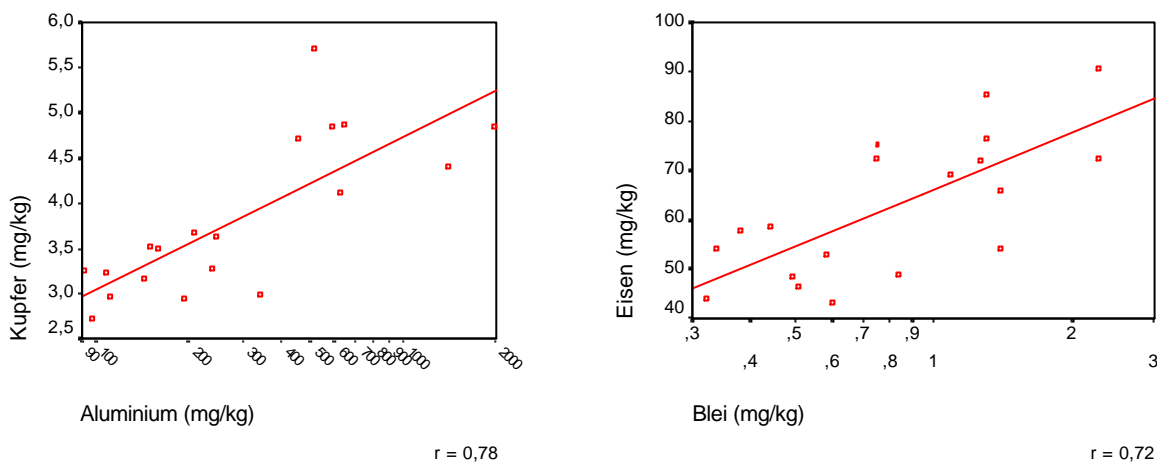
Die Staubbelegung auf den Nadeln zeigt signifikant positive Beziehungen mit Aluminium und Kupfer (Tab. 33, 34 im Anhang, Abb. 9). Aluminium ist jenes Element, das die Zusammensetzung des auf den Nadeln lagernden Staubes in Ranshofen dominiert (Abb. 8). Die Korrelation zwischen der Staubbelegung und den Aluminiumgehalten bestätigt dieses Ergebnis und zeigt, dass derzeit ein erhöhter Aluminiueintrag in Ranshofen auftreten dürfte. Die Aluminiumgehalte der Nadeln zahlreicher Standorte in Ranshofen liegen jedenfalls deutlich über jener Obergrenze von rund 180 mg Al/kg im 1. Nadeljahrgang (Abb. 33 im Anhang, Tab. 13), die bei einer Reihe von Untersuchungen festgestellt wurde (GULDER & KÖLBEL 1993, TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS 1998). In ähnlicher Weise könnte der Zusammenhang zwischen Staubbelegung und Kupfergehalten sowie Kupfer und Aluminium (Tab. 33, 34 im Anhang, Abb. 9) auf eine Eintragungssituation von Kupfer hindeuten. In diese Richtung weist auch, dass Staubbelegung, Aluminium- und Kupfergehalte bei jenen Standorten höher sind,



die näher dem Werksgelände liegen (Tab. 11, 13, Abb. 7). Bemerkenswert ist auch die signifikante Korrelation zwischen Eisen und Blei in den Nadeln (Abb. 9). Bereits in einer früheren Studie wurde dieser Zusammenhang in Untersuchungsgebieten mit unterschiedlichen Emitenten nachgewiesen (WEISS & TRIMBACHER 1998). Dieses Ergebnis aus Ranshofen ist ein weiterer Hinweis auf eine mögliche immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente. Anhand der Bleigehalte in den Nadeln des Untersuchungsgebietes Ranshofen und Vergleichen mit Richtwerten für Immissionseinfluß von HERMAN (1998) sowie Normalgehalten (Abb. 34 im Anhang) könnte ein – allerdings als relativ gering einzustufender – Immissionseinfluß bei Blei vorhanden sein. Hervorzuheben ist jedoch dabei, dass weder Eisen noch Blei mit der Staubbelegung und den Aluminiumgehalten signifikant korreliert sind, so dass hier unterschiedliche Einflußfaktoren auf die Nadelgehalte in Betracht zu ziehen sind.



**Abb. 9:** Korrelationen zwischen Staubbelegung und Aluminium, Schwefel und Kalium, Schwefel und Phosphor, Kalium und Zink, Kupfer und Aluminium sowie Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Ranshofen ( $p < 0,01$ ).



**Abb. 9ff:** Korrelationen zwischen Staubbelegung und Aluminium, Schwefel und Kalium, Schwefel und Phosphor, Kalium und Zink, Kupfer und Aluminium sowie Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Ranshofen ( $p < 0,01$ ).

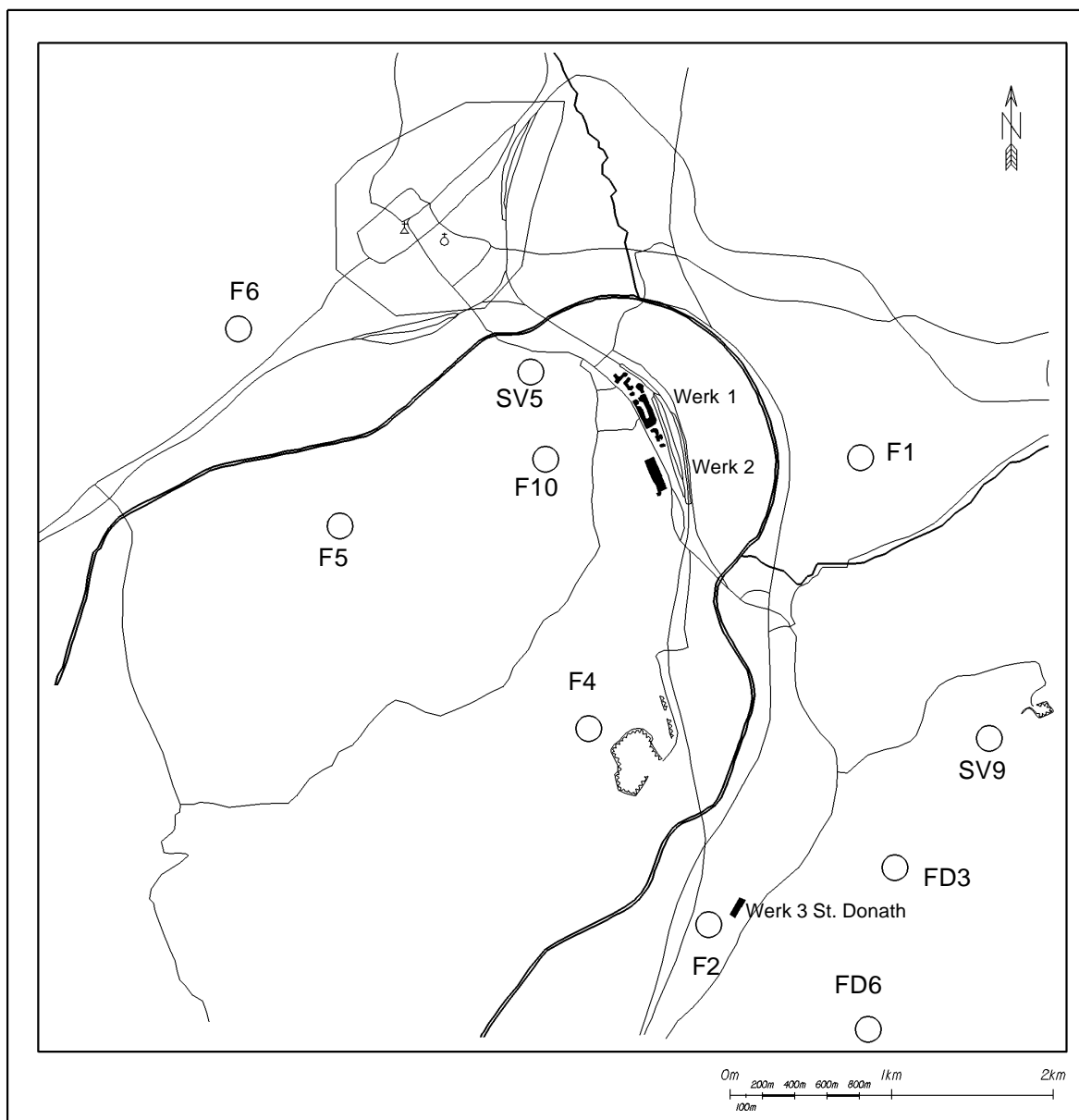
**Fazit.** Im Umkreis um das Sekundäraluminiumwerk in Ranshofen in Oberösterreich wurden Fichtennadeln von 19 Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von „unbeeinträchtigt“ bis „mittelstark beeinträchtigt“, wobei an zwei Standorten vorwiegend mechanische Einflüsse wirksam waren. Die Staubbelegung der Nadeln war vergleichsweise sehr hoch und wurde durch aluminiumhaltige Partikel verursacht. Zahlreiche Probepunkte wiesen auch deutlich erhöhte Aluminiumgehalte der Nadeln auf, die aufgrund der Staubbelegung und Aluminium als wesentliche Komponente darin sowie der signifikant positiven Korrelation zwischen Staubbelegung der Nadeln und den Aluminiumgehalten in den Nadeln sehr wahrscheinlich auf partikelförmige Ablagerungen auf den Nadeln zurückzuführen sind. Deutliche Grenzwertüberschreitungen bei Fluor, wie sie in früheren Jahren in diesem Untersuchungsgebiet regelmäßig festgestellt wurden, treten nur mehr vereinzelt auf. Emissionsmindernde Maßnahmen haben die Eintragsituation bei diesem Element offensichtlich deutlich entspannt. Bei Kalium zeigten sich vereinzelt Gehalte, die auf Mangelversorgung hindeuten. Weiters zeigte sich ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen Eisen und Blei, der Ergebnisse früherer Untersuchungen (WEISS & TRIMBACHER 1998) und in anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (Frohnleiten, St. Veit a. d. Glan) bestätigt und auf eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente im Nahbereich von unterschiedlichen Emissionsquellen hindeutet.

## 8 ST. VEIT AN DER GLAN / KÄRNTEN

### 8.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Funder, ein Tochterunternehmen der Constantia Isoholding AG, produziert in vier Werken Faserplatten, beschichtete Spanplatten, beharztes Dekorpapier, Schichtstoffplatten und verformbare Naturfasermatten (FUNDER UMWELTERKLÄRUNGEN 1997).

Am Standort St. Veit an der Glan sind Werk 1 und Werk 2 angesiedelt, welche sich im Süden an die Stadt anschließen. Das Werk 3 befindet sich rd. 2 km südlich von St. Donath.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet St. Veit an der Glan

Prozessbedingt sind Emissionen von Staub, Kohlendioxid, Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid möglich, die jedoch infolge umfassender Umweltmaßnahmen unter den Grenzwerten liegen (KÄRNTNER UMWELTBERICHT 1999).

## 8.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

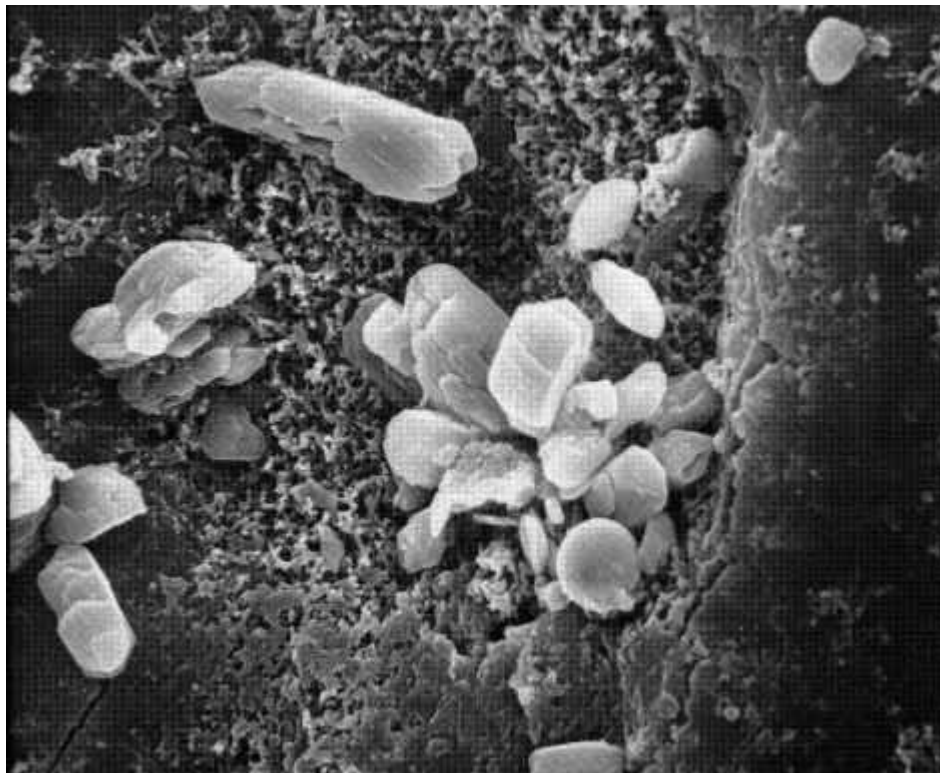
Im Untersuchungsgebiet Funder/St. Veit wurden Fichtennadeln von insgesamt 10 Probenpunkten hinsichtlich der Nadeloberflächenparameter und der Elementgehalte untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt). An drei Probenpunkten wurden staubförmige Partikel auf den Nadeloberflächen beobachtet. Am Probenpunkt F4 südlich des Werkes 1 und im Nahbereich eines aktiven Steinbruches, der auch die dichteste Staubbelegung in diesem Untersuchungsgebiet aufwies, fanden sich häufig glatte, globuläre Partikel im Größenbereich von 1-5 µm auf den Nadeln. Sie enthielten als Hauptelemente Silizium und Aluminium sowie Spuren von Magnesium, Kalzium und manchmal Natrium, Kalium, Titan und Eisen. Gipskristalle und glatte, globuläre Flugaschepartikel fanden sich auch auf Nadeln des Probenpunktes F10 westlich des Werkes1 (Abb. 10). Die Staubbelegung der Nadeln des Untersuchungsgebietes ist jedoch vergleichsweise gering (Abb. 19 im Anhang).

*Tab. 14: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Funder/St. Veit.*

| Probenpunkt       | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| F1                | 2,3 ± 0,6     | 0       | 26           |
| F2                | 2,3 ± 0,7     | 0       | 17           |
| F4                | 2,2 ± 0,7     | 14      | 19           |
| F5                | 2,0 ± 0,6     | 0       | 15           |
| F6                | 2,3 ± 0,7     | 0       | 18           |
| F10               | 2,1 ± 0,3     | 1       | 28           |
| FD3               | 1,8 ± 0,3     | 0       | 7            |
| FD6               | 2,3 ± 0,6     | 3       | 17           |
| St.V.9            | 2,2 ± 0,7     | 0       | 15           |
| St.V.5            | 2,1 ± 0,4     | 0       | 25           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,2           | -       | 18           |
| <i>Median</i>     | 2,2           | ?       | 18           |
| <i>Minimum</i>    | 1,8           | 0       | 7            |
| <i>Maximum</i>    | 2,3           | 14      | 28           |

*Tab. 15: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln.  
0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig*

| Probepunkt | Gips | Si-Partikel |
|------------|------|-------------|
| F1         | 0    | 0           |
| F2         | 0    | 0           |
| F4         | 0    | xx          |
| F5         | 0    | 0           |
| F6         | 0    | 0           |
| F10        | x    | xx          |
| FD3        | 0    | 0           |
| FD6        | 0    | X           |
| St.V.9     | x NO | 0           |
| St.V.5     | 0    | x NO        |



*Abb. 10: PP F10/Funder-St. Veit, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit angelagerten Gipskristallen und glatten, globularen Flugaschepartikeln. Vergrößerung: 2800fach.*

**Tab. 16:** 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 Funder/St. Veit. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP                | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|-------------------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| F1                | < 0,08  | 0,12   | 1,3                        | 9967        | 5337       | 1671        | 1878       |
| F2                | 0,09    | 0,10   | 1,1                        | 8044        | 6936       | 1680        | 2363       |
| F4                | 0,11    | 0,10   | 1,2                        | 5706        | 5785       | 1633        | 1766       |
| F5                | < 0,08  | 0,11   | 1,4                        | 6615        | 6519       | 1687        | 2432       |
| F6                | < 0,08  | 0,12   | 1,5                        | 7014        | 4005       | 1673        | 2175       |
| F10               | 0,08    | 0,10   | 1,2                        | 4276        | 5374       | 1394        | 1773       |
| FD3               | < 0,08  | 0,12   | 1,5                        | 6730        | 6615       | 1239        | 1874       |
| FD6               | 0,09    | 0,11   | 1,3                        | 7096        | 5266       | 1697        | 1252       |
| St.V.9            | < 0,08  | 0,09   | 1,3                        | 5985        | 4878       | 1465        | 1880       |
| St.V.5            | < 0,08  | 0,09   | 1,3                        | 6113        | 3629       | 1475        | 1220       |
| <i>Mittelwert</i> | -       | 0,10   | 1,3                        | 6755        | 5435       | 1561        | 1861       |
| <i>Median</i>     | < 0,08  | 0,11   | 1,3                        | 6672        | 5356       | 1652        | 1876       |
| <i>Minimum</i>    | < 0,08  | 0,09   | 1,1                        | 4276        | 3629       | 1239        | 1220       |
| <i>Maximum</i>    | 0,11    | 0,12   | 1,5                        | 9967        | 6936       | 1697        | 2432       |

Lediglich vereinzelt wurden bei Schwefel und Chlor leichte Grenzwertüberschreitungen gemäß „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt. Bei Schwefel, Chlor und Staubbelegung weisen die Untersuchungsstandorte in St. Veit a.d. Glan somit kaum einen Hinweis auf Belastungen auf (Tab. 16, Abb. 19, 22, 32 im Anhang).

Bei den Nährelementen zeigt sich eine vergleichsweise schlechtere Versorgung bei Kalium, ohne dass jedoch Richtwerte für Mangel nach STEFAN (1992) oder FOERST ET AL. (1987) unterschritten werden, und vergleichsweise hohe Magnesiumgehalte (Abb. 24, 26 im Anhang).

*Tab. 17: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Funder/St. Veit. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.*

| PP                | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| F1                | 3,2         | 36,9        | 1857        | 82          | 0,13        | 0,6         |
| F2                | 2,6         | 42,3        | 363         | 75          | 0,03        | 0,8         |
| F4                | 3,3         | 27,5        | 1237        | 145         | 0,11        | 3,8         |
| F5                | 2,8         | 25,0        | 1378        | 48          | 0,09        | 0,4         |
| F6                | 3,1         | 25,0        | 2210        | 55          | 0,12        | 0,6         |
| F10               | 2,8         | 31,5        | 2172        | 100         | 0,08        | 1,6         |
| FD3               | 3,5         | 26,9        | 442         | 66          | 0,06        | 0,2         |
| FD6               | 3,5         | 25,2        | 180         | 43          | 0,02        | 0,3         |
| St.V.9            | 3,4         | 37,6        | 854         | 58          | 0,07        | 0,3         |
| St.V.5            | 3,9         | 25,5        | 910         | 56          | 0,05        | 0,6         |
| <i>Mittelwert</i> | 3,2         | 30,3        | 1160        | 73          | 0,08        | 0,9         |
| <i>Median</i>     | 3,3         | 27,2        | 1074        | 62          | 0,08        | 0,6         |
| <i>Minimum</i>    | 2,6         | 25,0        | 180         | 43          | 0,02        | 0,2         |
| <i>Maximum</i>    | 3,9         | 42,3        | 2210        | 145         | 0,13        | 3,8         |

Die Gehalte von Eisen, Kupfer, Zink und Cadmium sind eher unauffällig (Abb. 27, 29, 30, 35 im Anhang). Mangan, dessen Gehalte in einem weiten Bereich streuen (Abb. 28 im Anhang), korreliert mit den Cadmiumgehalten (Abb. 11). Es wird vermutet, dass hier Einflüsse des Bodens für dieses Ergebnis in Betracht zu ziehen sind, da die Mobilität im Boden sowie der ökosystemare Kreislauf beider Elemente stark vom Bodensäurestatus abhängig sind. Zwischen Kupfer und Phosphor wurde ein signifikant negativer Zusammenhang zwischen den Gehalten festgestellt (Abb. 11). Eine Erklärungsmöglichkeit dafür bietet sich nicht an, so dass es sich möglicherweise um ein zufälliges Ergebnis handeln dürfte.

Bei Blei wurden vereinzelt Gehalte festgestellt, die auf deutlichen Immissionseinfluß hinweisen. Dies betrifft die beiden Standorte F4 und F10 (Abb. 34 im Anhang, Tab. 17). Bemerkenswert ist weiters, dass F4 eine vergleichsweise höhere Staubbelegung und einen höheren Eisengehalt in diesem Untersuchungsgebiet aufweist (Abb. 19, 27 im Anhang, Tab. 14, 17). Gemeinsame immissionsseitige Ursachen könnten für dieses Ergebnis wahrscheinlich sein.

In diese Richtung weist auch die signifikant positive Korrelation zwischen Eisen und Blei (Abb. 11) – eine mit den ähnlichen Ergebnissen für Frohnleiten und Ranshofen (siehe oben) sowie für andere Untersuchungsgebiete in früheren Jahren (WEISS & TRIMBACHER 1998) weitere Bestätigung, dass eine immissionsmäßige Vergesellschaftung dieser beiden Elemente gegeben sein dürfte. Dies ist um so bemerkenswerter, als in all diesen Untersuchungsgebieten unterschiedliche Arten von Industriebetrieben vorhanden sind.

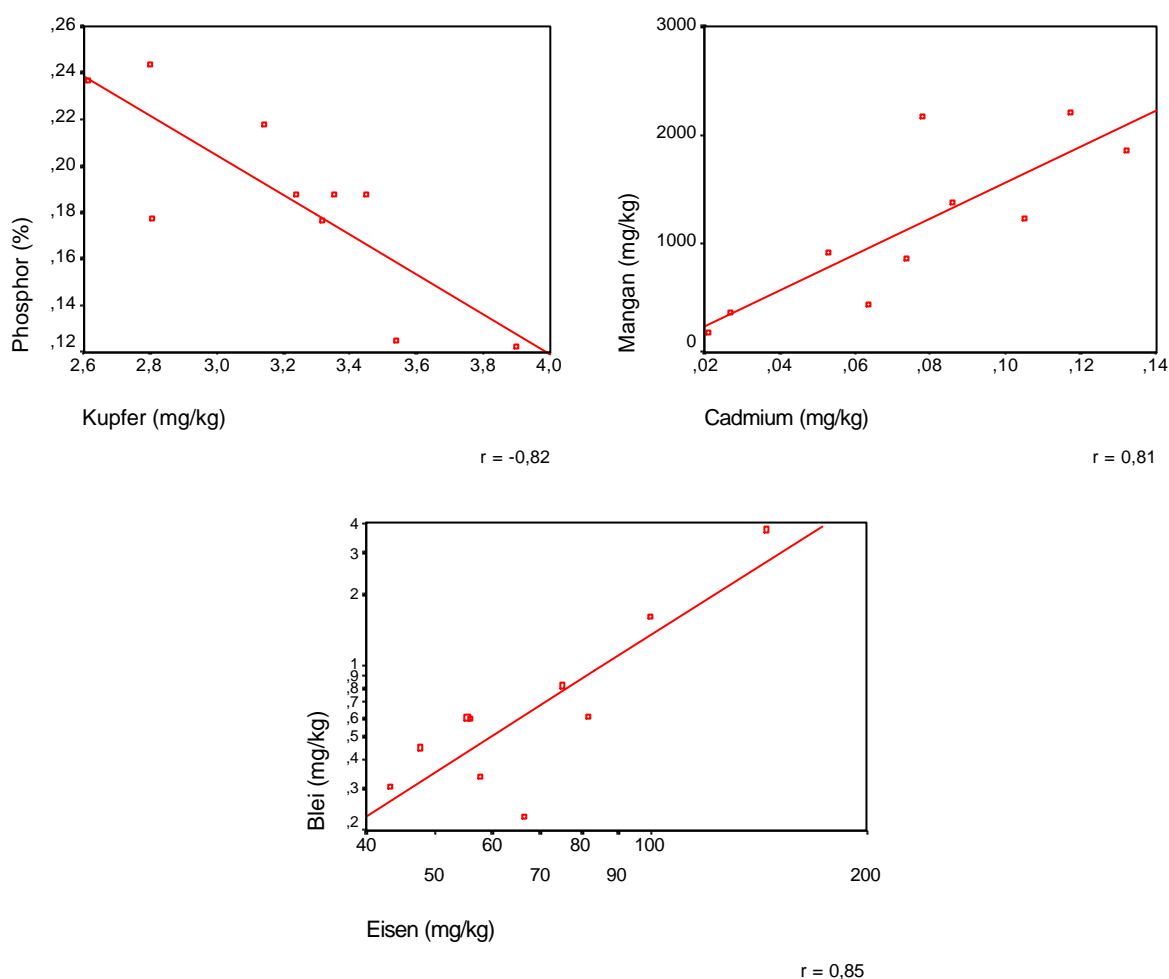


Abb. 11: Korrelationen zwischen Phosphor und Kupfer, Mangan und Cadmium sowie Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet St. Veit a.d. Glan ( $p < 0,01$ ).

**Fazit.** Im Gebiet St. Veit an der Glan in Kärnten wurden in der Umgebung des dort ansässigen Faserplattenwerks Fichtennadeln von insgesamt zehn Probepunkten analysiert. Die Wachstumsqualität der untersuchten Spaltöffnungen war mit Ausnahme eines Standortes (unbeeinträchtigt) leicht beeinträchtigt. Die Staubbelegung war vergleichsweise gering. Im Staub wurden anthropogene Flugaschepartikel, wie etwa globulare Glasphasen, detektiert. Vereinzelt wurden bei Schwefel und bei Chlor geringfügige Grenzwertüberschreitungen gemäß „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt. Bei Blei wurden an zwei werksnahen Standorten deutlich erhöhte Gehalte in den Nadeln festgestellt. Wie in anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (Frohnleiten, Ranshofen) wurde eine signifikant positive Korrelation zwischen Eisen- und Bleigehalten der Nadeln nachgewiesen.



## 9 ZEMENTWERKE

### 9.1 Allgemeine Hinweise

Zement wird als hydraulisches Bindemittel für die Herstellung von Mörtel und Beton in der Bauindustrie verwendet, besteht im Wesentlichen aus Verbindungen von Kalziumoxid (CaO), Siliziumdioxid (SiO<sub>2</sub>), Aluminiumoxid (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) und Eisenoxid (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) und erhärtet selbständig bei Zugabe von Wasser.

Das *Rohmaterial*, meist geogener Kalkstein, Ton und Mergel, wird zu *Rohmehl* zerkleinert, welches bei sehr hohen Temperaturen (ca. 1450°C) bevorzugt in Drehrohröfen zu Portlandzementklinker gebrannt wird. Gegebenenfalls werden zu den geogenen Rohstoffen *Sekundärrohstoffe*, wie Kiesabbrand, Stahlwerkschlacke oder Bleicherde beigemischt. Nach dem Brennen im Drehrohröfen wird der *Klinker* schnell abgekühlt und dann vermahlen. Dabei werden dem *Zement* noch Zusätze zugemahlen, die – zusammen mit der Mahlfineinheit – den verschiedenen Zementsorten ihre charakteristischen Eigenschaften verleihen. Bei österreichischem *Portlandzement* (ca. 70% der Gesamtproduktion), dürfen Hüttensand (granulierte Hochofenschlacke aus der Roheisenerzeugung in Linz und Donawitz), Flugasche aus Staubfiltern von kalorischen Kraftwerken, Kalkstein, Kalziumsulfat aus der Rauchgaswäsche der Entschwefelungsanlagen kalorischer Kraftwerke (Gips oder Anhydrit als Erstarrungsregler) und Füller (natürliche oder künstliche anorganische mineralische Stoffe zur Verbesserung der physikalischen Eigenschaften verschiedener Zemente) zugemahlen werden. Abhängig von diesen Zuschlagstoffen enthält der Zement neben den Hauptbestandteilen Kalzium, Silizium, Aluminium und Eisen eine Reihe von weiteren Elementen wie Blei, Zink, Nickel, Chrom und Kobalt im Spurenbereich (KRATZ 1996).

In Österreich sind derzeit 13 Produktionsanlagen in Betrieb. Der Einsatz von oft kostengünstigeren Ersatzbrennstoffen (z.B.: Altreifen, Altöl, Kunststoffe, Lösemittel, Papierschlämme) in der Zementindustrie wird forciert, u.a. um mit Billigimporten aus Osteuropa konkurrieren zu können. Im allgemeinen sind die Schwermetalleinträge dieser Sekundärbrennstoffe gegenüber Regelbrennstoffen (fossile Brennstoffe wie Kohle, Heizöl, Erdgas) erhöht. Das bedeutet, dass im Einflusbereich von Anlagen mit einer Abfallmitverbrennung eine erhöhte Umweltbeeinträchtigung, abhängig von der Art und Zusammensetzung der bei der Zementherzeugung eingesetzten Abfälle, zu erwarten ist.

Die Staubemissionen entstehen in erster Linie beim Umgang mit Rohmaterialien, bei der Verbrennung von Klinker, beim Mahlen und beim Transport. Die Zusammensetzung der Staubemissionen ist abhängig vom Ausgangsmaterial, welches für die Herstellung von Zement verwendet wird sowie von der Art der Brennstoffe. Vor allem bei der Verwendung von Ersatzbrennstoffen können verschiedene Schwermetalle, wie Arsen (As), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Blei (Pb), Quecksilber (Hg), Nickel (Ni), Selen (Se) und Zink (Zn) freigesetzt werden.

Gasförmige Primäremissionen bei der Herstellung von Portlandzement sind Stickstoffoxide, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid und in geringeren Mengen flüchtige organische Kohlenwasserstoffe, Methan, Lachgas und Ammoniak.

Aufgrund der hohen Verbrennungstemperaturen im Drehrohröfen entstehen aus dem Luftstickstoff hohe Konzentrationen an NO<sub>x</sub>. In Österreich wird gegenwärtig die Ausrüstung von Zementwerken mit sog. SCR-Katalysatoren (selectiv catalytic reduction) getestet, um die NO<sub>x</sub>-Emissionen zu reduzieren. Mit diesem Verfahren ist eine Stickoxidemissionsminderung von ca. 90% technisch möglich.

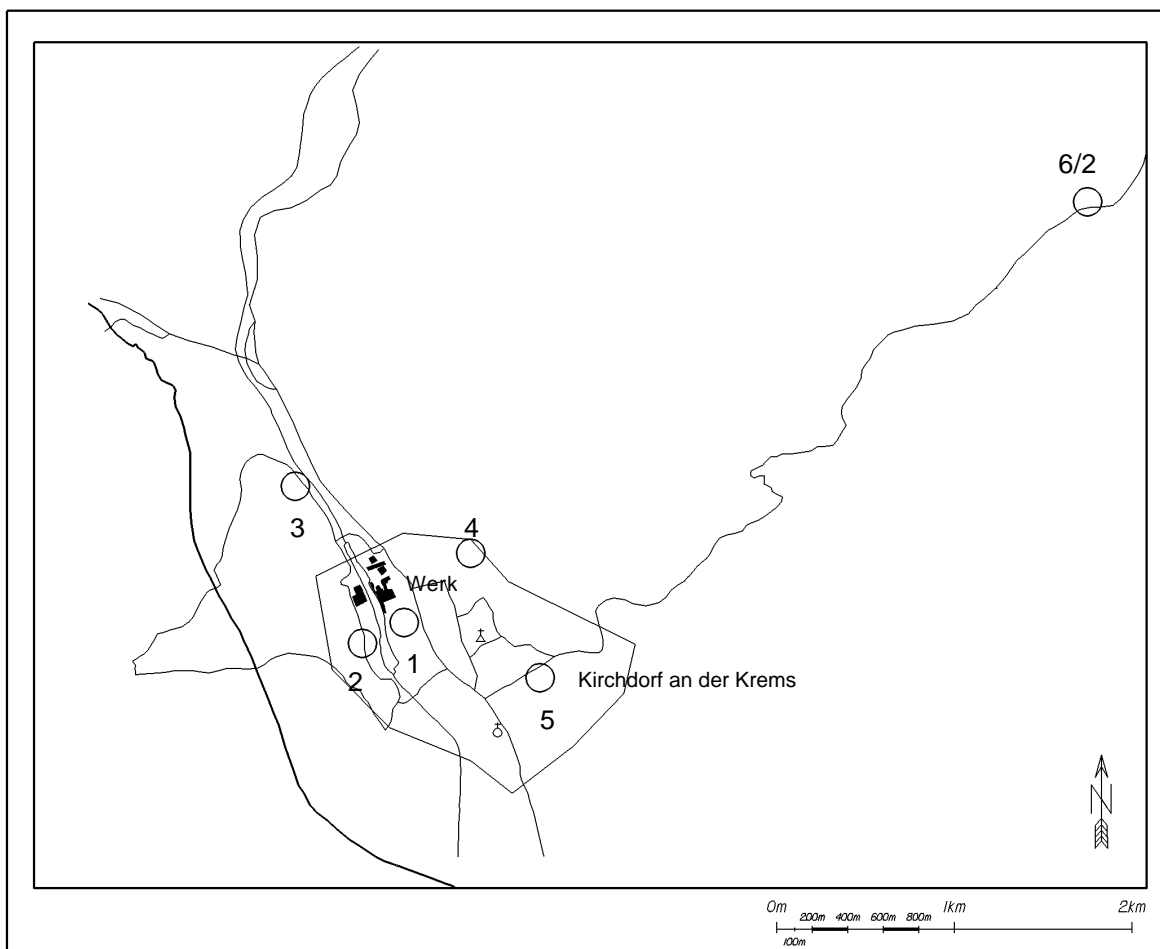
Im Unterschied zu den Stickoxiden wird Schwefel bzw. dessen Emissionen hauptsächlich aufgrund der Rohstoffbelastungen (Rohmehl) hervorgerufen (LAHL & ZESCHMAR-LAHL, 1997).

Im Einflußbereich von drei Zementwerken in Österreich wurden Fichtennadeln hinsichtlich der Nadeloberflächenparameter (Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung) mit dem Rasterelektronenmikroskop untersucht sowie die Nähr- und Schadstoffgehalte der Nadeln mit Hilfe naß-chemischer Analysenmethoden bestimmt.

## 9.2 KIRCHDORF AN DER KREMS / OBERÖSTERREICH

### 9.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

In Kirchdorf an der Krems in Oberösterreich befindet sich ein Zementwerk der Hofmann GesmbH. Seit 1996 ist das Sammeln und Behandeln von gefährlichen Abfällen, wie beispielsweise Holzabfälle, Papier und Pappe, Abfälle von Emulsionen und Gemischen aus Mineralölprodukten und diverse Schlämme aus den Bereichen Textil, Wäschereien und MBA nach § 15 AWG genehmigt. Seit 1. April 1996 ist eine SCR-Versuchskatalysatoranlage zur Stickoxidemissionsminderung in Betrieb.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems

## 9.2.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Raum Kirchdorf wurden insgesamt sechs Probepunkte für die Nadelanalysen in Zusammenarbeit mit der Oberösterreichischen Landesforstdirektion ausgewählt. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 2,1 (leicht beeinträchtigt) bis 3,0 (mittelstark beeinträchtigt). Die schlechtere Wachsqualität des Probepunktes 4 (3,0) war in erster Linie mechanisch bedingt, d.h. auf verschiedene Witterungseinflüsse und nicht auf Immissionsbeeinflussung zurückzuführen. Schließt man die Standorte mit mechanisch beeinträchtigten Wachsen aus den Datensätzen aus, zeigt jedoch Kirchdorf immer noch im Vergleich zu nahezu allen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 vergleichsweise schlechtere Wachsqualitäten (Abb. 18 im Anhang).

Auf den Nadeln des direkt neben dem Zementwerk befindlichen Probepunktes 1 wurden staubförmige Fremdpartikel detektiert. Vereinzelt fanden sich globuläre Eisenoxidpartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von ca. 5 µm und globuläre Glaspartikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von etwa 6 µm. Letzterer Partikeltypus wies neben Aluminium als zweite Hauptkomponente Spuren von Kalium und Eisen im Elementspektrum auf. Alle anderen Standorte in Kirchdorf waren jedoch staubfrei.

Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag zwischen 4 und 13%.

*Tab. 18: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems.*

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| 6/2               | 2,2 ± 0,9     | 0       | 4            |
| 1                 | 2,8 ± 1,1     | 13      | 13           |
| 2                 | 2,1 ± 0,6     | 0       | 11           |
| 3                 | 2,1 ± 0,6     | 0       | 13           |
| 4                 | 3,0 ± 1,3     | 0       | 7            |
| 5                 | 2,7 ± 1,3     | 0       | 10           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,5           | -       | 10           |
| <i>Median</i>     | 2,5           | 0       | 11           |
| <i>Minimum</i>    | 2,1           | 0       | 4            |
| <i>Maximum</i>    | 3,0           | 13      | 13           |

Während die Schwefel- und Fluorgehalte durchwegs unter den Grenzwerten der „2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997) liegen, konnten massive Chlorbelastungen in diesem Untersuchungsgebiet festgestellt werden. Alle Standorte weisen deutlich über dem Grenzwert dieser Verordnung von 0,10 % Cl liegende Nadelgehalte auf (Abb. 32 im Anhang, Tab. 19). Ein erheblicher Einfluß eines Chloremittenten scheint gegeben zu sein. Dieses Ergebnis verlangt weiterführende Beobachtungen der Chlorgehalte in den Nadeln in Kirchdorf sowie orientierende Untersuchungen auf chlororganische Verbindungen, die im Zuge des Abfalleinsatzes bei der Zementherstellung ebenfalls emittiert werden könnten. Aufgrund der potentiell pflanzenschädigenden Einflüsse chlorhaltiger Verbindungen sollten hier emissionsmindernde Maßnahmen bei diesem Schadstoff angestrebt werden.

Die Elementversorgung der Nadeln zeigt bei den Makronährstoffen fast keine Auffälligkeiten. Lediglich die Calciumgehalte in diesem Untersuchungsgebiet sind vergleichsweise hoch (Abb. 25 im Anhang), was aufgrund der fast durchwegs fehlenden Staubbelegung auf den Nadeln, eher auf Aufnahmen aus dem Boden zurückzuführen sein dürfte. Die Mangan-gehalte einzelner Standorte liegen unter 20 mg/kg, ab denen nach FIEDLER ET AL. (1973), FOERST ET AL. (1987) und HÜTTL (1991) mit Versorgungsmangel zu rechnen ist (Tab. 20). Standort 1, der auch bei Chlor die höchsten Gehalte aufweist, zeigt einen Eisengehalt, der bereits über dem Bereich optimaler Versorgung liegt (Abb. 27 im Anhang). Mit einer Ausnahme – Standort BIN 6/2 bei Cadmium – sind die Cadmium, Blei- und Quecksilbergehalte weitgehend unauffällig (Abb. 34-36 im Anhang).

*Tab. 19: Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für F im 1. Njg. 0,8 mg%, GW für Cl im 1. Njg. 0,10%, GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.*

| PP         | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 6/2        | <0,8     | 0,17    | 0,09   | 1,4                        | 6032        | 4625       | 1296        | 1492       |
| 1          | <0,8     | 0,25    | 0,09   | 1,2                        | 9505        | 7239       | 918         | 2000       |
| 2          | <0,8     | 0,18    | 0,09   | 1,4                        | 4701        | 8621       | 914         | 2313       |
| 3          | <0,8     | 0,19    | 0,10   | 1,4                        | 8852        | 8155       | 1136        | 1824       |
| 4          | <0,8     | 0,18    | 0,10   | 1,1                        | 10214       | 6958       | 1470        | 1911       |
| 5          | <0,8     | 0,20    | 0,10   | 1,1                        | 9344        | 4784       | 1582        | 1927       |
| Mittelwert | -        | 0,20    | 0,10   | 1,3                        | 8108        | 6724       | 1219        | 1911       |
| Median     | ?        | 0,19    | ?      | 1,3                        | 9098        | 7099       | 1216        | 1919       |
| Minimum    | < 0,8    | 0,17    | 0,09   | 1,1                        | 4701        | 4625       | 914         | 1492       |
| Maximum    | < 0,8    | 0,25    | 0,10   | 1,4                        | 10214       | 8621       | 1582        |            |

*Tab. 20: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.*

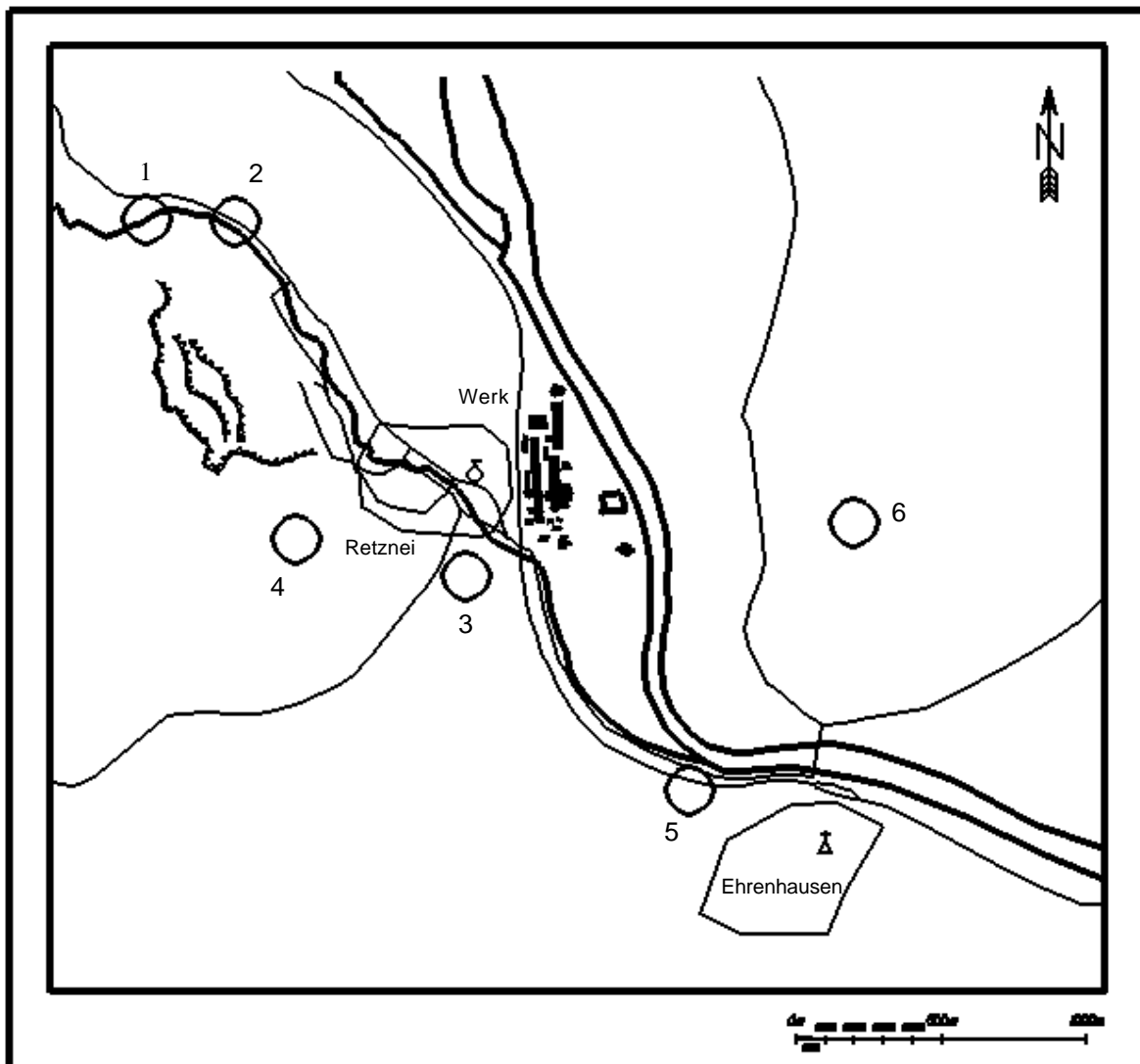
| PP         | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg | Hg<br>mg/kg |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 6/2        | 3,2         | 33,7        | 1007        | 49          | 0,19        | 0,4         | 0,03        |
| 1          | 3,4         | 49,5        | 54          | 226         | 0,01        | 1,2         | 0,05        |
| 2          | 3,3         | 30,6        | 11          | 64          | 0,01        | 0,6         | 0,03        |
| 3          | 3,4         | 29,2        | 19          | 109         | 0,01        | 0,5         | 0,04        |
| 4          | 2,8         | 40,9        | 44          | 79          | 0,01        | 0,8         | 0,03        |
| 5          | 3,7         | 31,4        | 26          | 84          | 0,01        | 0,8         | 0,03        |
| Mittelwert | 3,3         | 35,9        | 193         | 102         | ?           | 0,7         | 0,04        |
| Median     | 3,3         | 32,5        | 35          | 82          | 0,01        | 0,7         | 0,03        |
| Minimum    | 2,8         | 29,2        | 11          | 49          | 0,01        | 0,4         | 0,03        |
| Maximum    | 3,7         | 49,5        | 1007        | 226         | 0,19        | 1,2         | 0,05        |

**Fazit.** In der Umgebung des in Kirchdorf an der Krems in Oberösterreich angesiedelten Zementwerkes wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität war leicht bis mittelstark beeinträchtigt. An einem einzigen Probepunkt war die schlechtere Wachsqualität mechanisch bedingt. Kirchdorf zeigt im Vergleich zu nahezu allen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 vergleichsweise schlechtere Wachsqualitäten. Nur auf den Nadeln des direkt neben dem Zementwerkes befindlichen Probepunktes wurden staubförmige Fremdpartikel, darunter vereinzelt aus industriellen Prozessen stammende globulare Glas- und Eisenoxidphasen, detektiert. Alle Standorte wiesen Chloridwerte in den Nadeln auf, die deutlich über dem Grenzwert von 0,10% im 1. Nadeljahrgang der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ lagen. Dieses Ergebnis verlangt weiterführende Untersuchungen der Chlorgehalte in den Nadeln in diesem Gebiet sowie orientierende Untersuchungen auf chlororganische Verbindungen, die im Zuge des Abfalleinsatzes bei der Zementherstellung ebenfalls emittiert werden könnten. Aufgrund der potentiell pflanzenschädigenden Einflüsse chlorhaltiger Verbindungen sollten hier emissionsmindernde Maßnahmen bei diesem Schadstoff angestrebt werden. Bei Mangan wurden vereinzelt Gehalte im Mangelbereich nachgewiesen. Ein Untersuchungspunkt wies erhöhte Cadmiumgehalte auf.

## 9.3 RETZNEI/ STEIERMARK

### 9.3.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Am Standort Retznei in der Südsteiermark befindet sich ein Zementwerk der Firma Lafarge Perlmooser AG sowie eine Bruchanlage. Altreifen werden als Sekundärfeuerstoff eingesetzt. Durch den Einsatz von Altreifen kann es zu CO-Emissionsspitzen kommen. Ebenso ist der Anstieg der SO<sub>2</sub>-Emissionen möglich, wenn zu wenig Alkalien im Rohmehl zur Einbindung von SO<sub>2</sub> als Alkalisulfate vorhanden sind (REITER & STROH, 1995). Durch den Einsatz von Altreifen werden die NO<sub>x</sub>-Emissionen gemindert. Die Ursache dafür ist, dass einerseits die CO-Strahlen, die bei der Altreifenverfeuerung im Ofeneinlauf entstehen, einen NO-Abbau bewirken. Andererseits wird durch den Altreifeneinsatz der Primärenergieeinsatz in der Hauptfeuerung, d.h. im Hochtemperaturbereich generell reduziert, wodurch die Menge des in der Zone gebildeten thermischen NO geringer ist. Bei Betrachtung der Emissionssituation müssen auch die Halogene berücksichtigt werden, die sich durch Kreislaufprozesse anreichern können. Weiters ist mit vermehrten Emissionen von unverbrannten Kohlenwasserstoffen zu rechnen.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Retznei

### 9.3.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

In der Umgebung des Zementwerkes wurden insgesamt Fichtennadeln von sechs Probestellen analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,8 (leicht beeinträchtigt). Die stärksten Wachsdegradationen der Stomatawachse und die dichteste Staubbelegung wiesen Nadeln der beiden nördlich der Bruchanlage befindlichen Probestellen 1 und 2 auf (Abb. 12). Die schlechtere Wachsqualität war hauptsächlich immissionsbedingt. Außerdem mußten am Probestellen 1 3% und am Probestellen 2 2% der untersuchten Spaltöffnungen wegen 100%-iger Belegung mit Staub mit Sonderklasse 6 klassifiziert werden. Die Staubbelegung an den Probestellen im Untersuchungsgebiet lag im Bereich von 0% bis 34%. Es wurden im Staub zum Teil Gipskristalle und/oder globulare Glaspartikel detektiert (Details siehe Tab. 22). Abb. 13 zeigt einen Nadelbereich des Probestellen 2 nahe der Bruchanlage mit zahlreichen Gipskristallen. Die Belegung mit Epibionten, d.h. pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen lag im Bereich von 11 bis 30%.

*Tab. 21: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Retznei.*

| Probestelle       | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| 1                 | 2,8 ± 1,2     | 24      | 29           |
| 2                 | 2,8 ± 1,0     | 34      | 30           |
| 3                 | 1,8 ± 0,5     | 8       | 21           |
| 4                 | 1,9 ± 0,3     | 4       | 11           |
| 5                 | 2,2 ± 0,6     | 8       | 28           |
| 6                 | 2,3 ± 0,9     | 0       | 24           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,3           | 13      | 24           |
| <i>Median</i>     | 2,3           | 8       | 26           |
| <i>Minimum</i>    | 1,8           | 0       | 11           |
| <i>Maximum</i>    | 2,8           | 34      | 30           |

*Tab. 22: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln.  
0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig*

| Probestelle | Gips | Si-Partikel |
|-------------|------|-------------|
| 1           | xxx  | xxx         |
| 2           | xx   | xx          |
| 3           | 0    | x           |
| 4           | 0    | x           |
| 5           | x    | 0           |
| 6           | 0    | 0           |

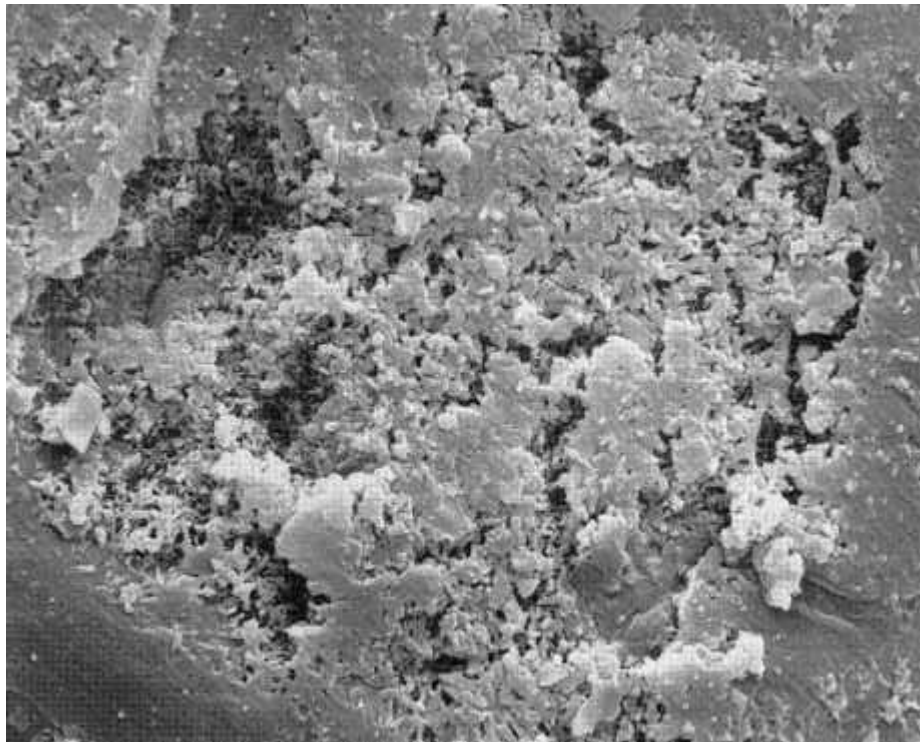


Abb. 12: PP 2/Retznei, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit deutlichen Wachsdegradationen. Vergrößerung: 2500fach.

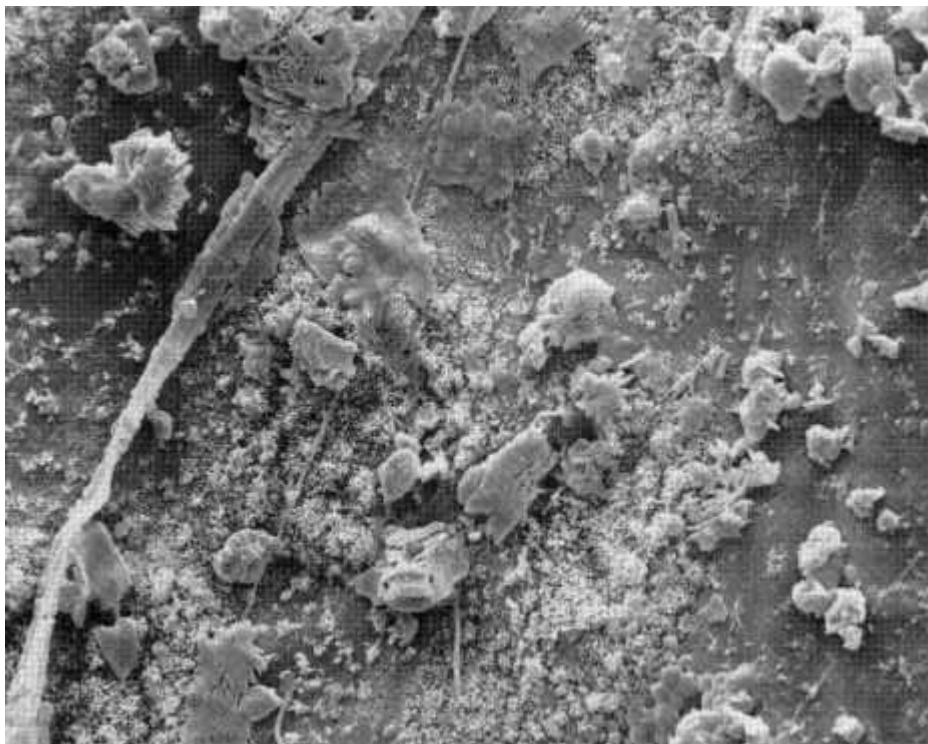


Abb. 13: PP 2/Retznei, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen anhaftenden Gipskristallen. Vergrößerung: 700fach.



Bei Schwefel wurden Überschreitungen der Grenzwerte der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ nachgewiesen, bei Fluor und Chlor lagen alle Werte unter den entsprechenden Grenzwerten der Verordnung (Tab. 23, Abb. 31, 32 im Anhang).

Bei den Nährelementen ist besonders die vergleichsweise geringere Magnesiumversorgung der Nadeln auffällig (Abb. 26 im Anhang), Richtwerte für Mangel nach STEFAN (1992) oder FOERST ET AL. (1987) werden jedoch nicht unterschritten. Bei den Mikronährstoffen Eisen, Mangan, Zink und Kupfer ist lediglich die unter dem Optimalbereich liegende Zinkversorgung der Nadeln auffällig (Abb. 29 im Anhang), gemäß Richtwerten aus der Literatur (Datenzusammenstellung in WEISS 1999) dürfte jedoch auch hier keine Mangelversorgung gegeben sein.

Die Blei-, Cadmium- und Quecksilbergehalte sind mit einer Ausnahme unauffällig, und diese betrifft den vergleichsweise sehr hohen Quecksilbergehalt des Standorts Retznei 5 (Tab. 24, Abb. 34-36 im Anhang). Dieser gehaltsmäßige „Ausreißer“ liegt in einer Höhe, die eine weitere Untersuchung der Quecksilbergehalte an diesem Standort und in dessen näherer Umgebung erfordert. Bestätigt sich dabei die Quecksilberbelastung wären landwirtschaftliche Nutzpflanzen ebenfalls auf Quecksilber zu untersuchen, um zu prüfen, ob hier Grenz- oder Richtwerte für Futtermittel bzw. den menschlichen Verzehr eventuell überschritten werden. Weiters wären in diesem Fall die verantwortlichen Quellen ausfindig zu machen und deren Quecksilberemissionen zu reduzieren. Unbelastete Gebiete sollten näherungsweise 0,05 mg Hg/kg im 1. Nadeljahrgang nicht überschreiten (ZVACEK 1988, BERGMANN 1993). Auch WIMMER (1998, pers. Mitteilung) gibt auf Basis einer umfassenden Untersuchung im Raum Linz 0,06 mg Hg/kg im 1. Nadeljahrgang als Obergrenze für den unbelasteten urbanen Hintergrund an. Der Quecksilbergehalt des Standorts Retznei 5 liegt um ein Vielfaches über diesen Werten.

**Tab. 23:** Fluor-, 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 Retznei. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1          | < 0,8    | < 0,08  | 0,09   | 1,5                        | 5447        | 6939       | 837         | 1706       |
| 2          | < 0,8    | 0,08    | 0,11   | 1,5                        | 10064       | 5652       | 989         | 1889       |
| 3          | < 0,8    | < 0,08  | 0,12   | 1,7                        | 9496        | 8153       | 873         | 1548       |
| 4          | < 0,8    | < 0,08  | 0,12   | 1,3                        | 11747       | 5757       | 879         | 1340       |
| 5          | < 0,8    | < 0,08  | 0,10   | 1,5                        | 7882        | 5780       | 1320        | 1771       |
| 6          | < 0,8    | 0,08    | 0,12   | 1,4                        | 6548        | 3955       | 1162        | 2200       |
| Mittelwert | -        | -       | 0,11   | 1,5                        | 8531        | 6039       | 1010        | 1742       |
| Median     | -        | < 0,08  | 0,12   | 1,5                        | 8689        | 5769       | 934         | 1739       |
| Minimum    | < 0,8    | < 0,08  | 0,09   | 1,3                        | 5447        | 3955       | 837         | 1340       |
| Maximum    | < 0,8    |         | 0,12   | 1,7                        | 11747       | 8153       | 1320        | 2200       |

*Tab. 24: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Retznei. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.*

| PP                | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg | Hg<br>mg/kg |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1                 | 4,9         | 17,2        | 29          | 74          | 0,02        | 0,6         | 0,03        |
| 2                 | 6,2         | 19,7        | 96          | 109         | 0,01        | 0,6         | 0,02        |
| 3                 | 5,9         | 21,4        | 210         | 74          | 0,01        | 0,4         | 0,04        |
| 4                 | 5,1         | 28,9        | 283         | 58          | 0,06        | 0,4         | 0,02        |
| 5                 | 3,6         | 28,9        | 37          | 140         | 0,01        | 0,6         | 0,31        |
| 6                 | 4,0         | 18,8        | 53          | 49          | 0,01        | 0,4         | 0,04        |
| <i>Mittelwert</i> | 4,9         | 22,5        | 118         | 84          | 0,02        | 0,5         | 0,08        |
| <i>Median</i>     | 5,0         | 20,5        | 74          | 74          | 0,01        | 0,5         | ?           |
| <i>Minimum</i>    | 3,6         | 17,2        | 29          | 49          | 0,01        | 0,4         | 0,02        |
| <i>Maximum</i>    | 6,2         | 28,9        | 284         | 140         | 0,06        | 0,6         | 0,31        |

**Fazit.** In Retznei in der Südsteiermark befindet sich ein Zementwerk mit einer eigenen Bruchanlage, in dessen Umgebung Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht wurden. Die Wachsqualität war unbeeinträchtigt bis leicht beeinträchtigt. Die stärksten Wachsdegradationen und die dichteste Staubbelegung wiesen die Nadeln zweier Standorte nahe der Bruchanlage auf. Es wurden im Staub regelmäßig Gipskristalle und globulare Glasphasen (industrielle Hochtemperaturprozesse) detektiert. An einigen Probepunkten lagen die Schwefelgehalte der Nadeln über dem in der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgelegten Grenzwert. An einem Standort wurden sehr hohe Quecksilbergehalte in den Nadeln gemessen, welcher um ein Vielfaches über Richtwerten unbelasteter Gebiete liegt. Dieser gehaltsmäßige „Ausreißer“ liegt in einer Höhe, die eine weitere Untersuchung der Quecksilbergehalte an diesem Standort und in dessen näherer Umgebung erfordert. Bestätigt sich dabei die Quecksilberbelastung, wären landwirtschaftliche Nutzpflanzen ebenfalls auf Quecksilber zu untersuchen, um zu prüfen, ob hier Grenz- oder Richtwerte für Futtermittel bzw. den menschlichen Verzehr eventuell überschritten werden. Weiters wären in diesem Fall die verantwortlichen Quellen ausfindig zu machen und deren Quecksilberemissionen zu reduzieren.

## 9.4 KLEIN ST. PAUL-WIETERSDORF / KÄRNTEN

### 9.4.1 Umweltrelevante Angaben zum Standort

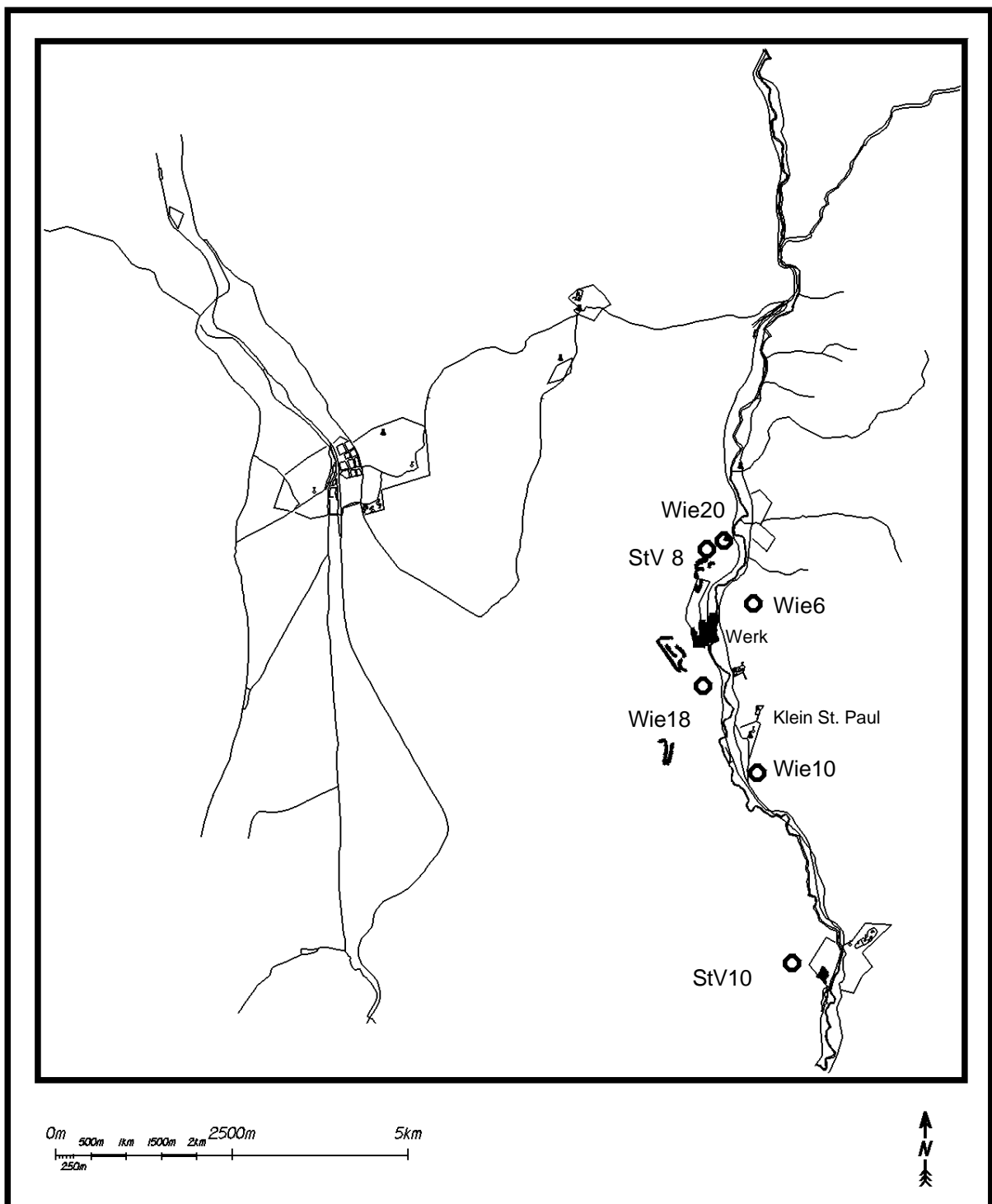
Die Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke am Standort Klein St. Paul/Wietersdorf produzieren aus dem im eigenen Steinbruch gewonnenen 550.000t Rohgestein (Kalk und Ton) jährlich rd. 400.000t Zement. Weiters werden im Werk Putze und Mörtel sowie Farben und Edelputze auf mineralischer und Kunststoffbasis in über 500 Farben hergestellt (KÄRNTNER UMWELTBERICHT 1999). 1997 wurde ein zweijähriger Probetrieb für die thermische Verwertung von Kunststoffabfällen gemäß §15 AWG genehmigt.

Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von Staub, Stickoxiden, Schwefelverbindungen und Kohlenmonoxid. Bedingt durch den Einsatz von Kunststoffen als Ersatzbrennstoff ist auch auf Schwermetalle, wie beispielsweise Arsen, Beryllium, Cadmium, Cobalt, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Thallium als Staubinhalstoffe zu achten. Durch umfangreiche Umweltmaßnahmen ist es in den letzten Jahren zu einer deutlichen Verbesserung der Immissionssituation gekommen.

### 9.4.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Im Untersuchungsprogramm 1997 wurden die Analysen der Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln im Gebiet Klein St. Paul/Wietersdorf an sechs Probepunkten in der Umgebung des Zementwerkes fortgesetzt. Pro Probepunkt wurden zwei Bäume beerntet. Für die Analysen der Nadeloberflächenparameter wurde eine Mischprobe pro Probepunkt hergestellt, daher nur ein Wert pro Probepunkt. Die Bestimmung der Elementgehalte erfolgte bei manchen Probepunkten im Raum Wietersdorf getrennt nach Bäumen (A, B).

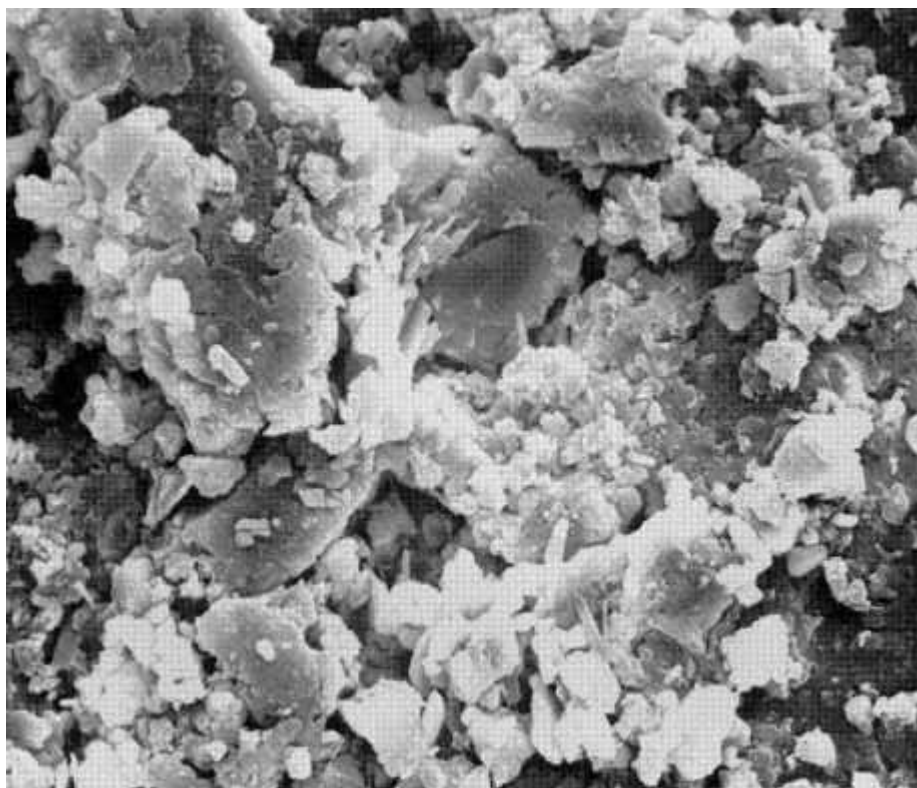
Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,4 (leicht beeinträchtigt) und war bei näher dem Werk gelegenen Standorten deutlich schlechter als bei den weiter entfernt liegenden Standorten (Tab. 25). Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Staubpartikeln war im Vergleich zu den Ergebnissen für die Wietersdorfer Standorte der vorangegangenen Erhebungen von 1995 (TRIMBACHER & WEISS, 1997) und 1996 (WEISS & TRIMBACHER, 1998) an allen Probepunkten dieses Untersuchungsgebietes im Jahr 1997 erhöht bzw. deutlich erhöht. Die Staubbelegung lag im Bereich von 6% bis 57% und war somit auch vergleichsweise zu den anderen Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 hoch (Abb. 19 im Anhang). Aufgrund dieser zum Teil sehr massiven Staubbelegung konnten am Probepunkt Wie 20 2%, am Probepunkt Wie 18 nahe der werkseigenen Bruchanlage 5% sowie am Probepunkt St. V 10 3% der Spaltöffnungen nicht beurteilt werden und wurden daher mit Sonderklasse 6 klassifiziert (vgl. Beurteilungsmethode Kap. 3.1.1 und Abb. 14 100% Staub).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wietersdorf/Kärnten.

*Tab. 25: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.*

| Probepunkt        | Wachsqualität | Staub % | Epibionten % |
|-------------------|---------------|---------|--------------|
| W 6a              | 2,1 ± 1,0     | 21      | 21           |
| W 6b              | -             | -       | -            |
| W 10              | 2,1 ± 1,0     | 10      | 24           |
| W 18a             | 2,4 ± 1,1     | 57      | 11           |
| W 18b             | -             | -       | -            |
| W 20              | 2,3 ± 1,2     | 36      | 15           |
| St.V. 8           | 1,8 ± 0,6     | 6       | 10           |
| St.V. 10          | 1,9 ± 0,9     | 39      | 19           |
| <i>Mittelwert</i> | 2,1           | 28      | 17           |
| <i>Median</i>     | 2,1           | 28,5    | 18           |
| <i>Minimum</i>    | 1,8           | 10      | 10           |
| <i>Maximum</i>    | 2,4           | 57      | 24           |



*Abb. 14: PP Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit 100%iger Staubebelegung. Vergrößerung: 2500fach.*

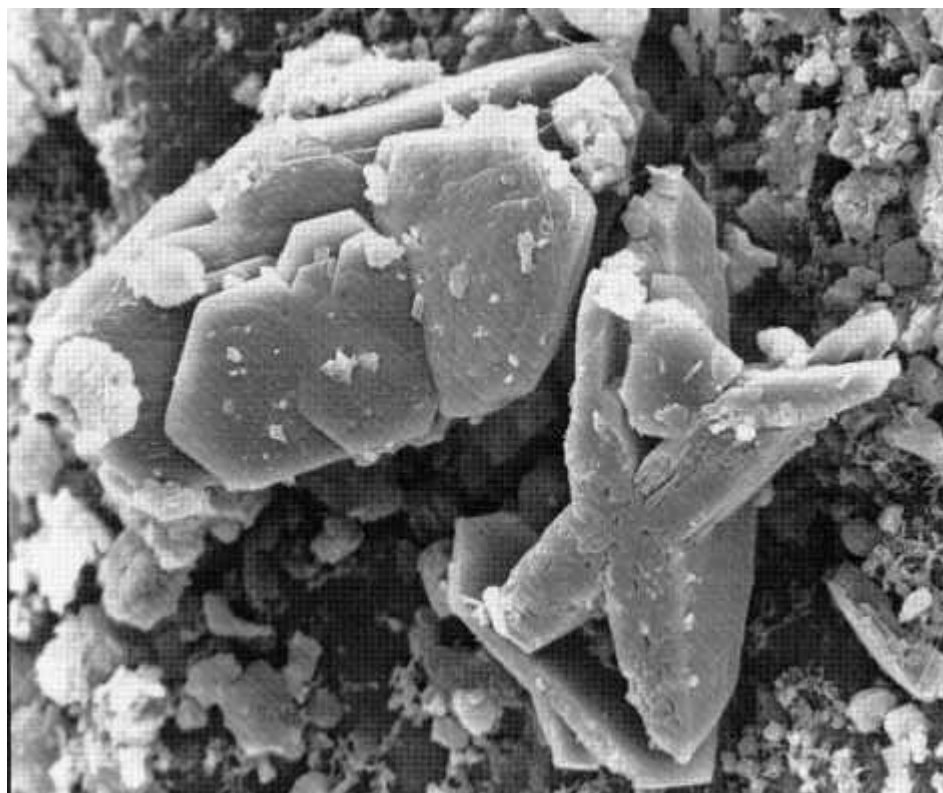


Abb. 15: PP Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit angelagerten Gipskristallen. Vergrößerung: 2200fach.

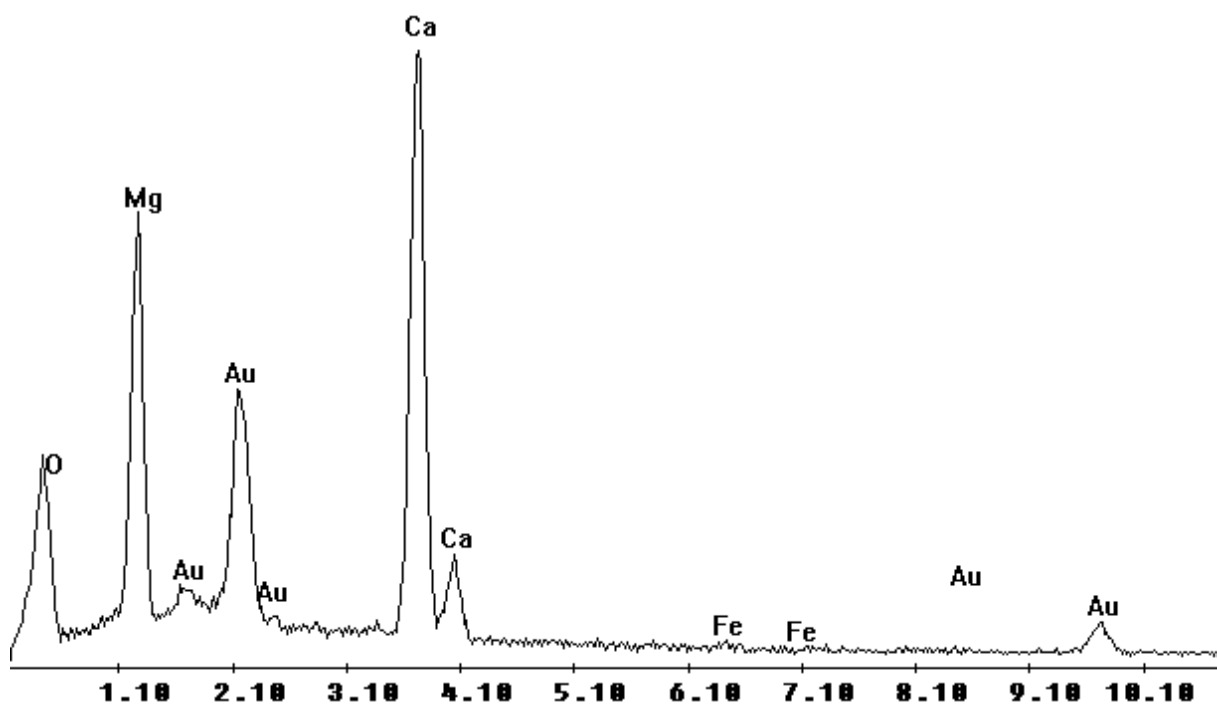
In der Staubauflage des Probepunktes Wie 18 wurden sehr häufig Gipskristalle detektiert (Abb. 15). Aufgrund der relativen Größe der Gipskristalle (zwischen 20  $\mu\text{m}$  und 40  $\mu\text{m}$ ) ist nicht auszuschließen, dass sie geogenen Ursprungs sind. Häufig auf den Nadeln beobachtete globulare Glaspartikel im Größenbereich von rd. 3 bis 5  $\mu\text{m}$  aerodynamischem Durchmesser weisen auf industrielle Hochtemperaturprozesse hin.

Nahe des Probepunktes St.V.10 befindet sich das Dolomitwerk „Neuper“, ein noch in Betrieb befindlicher Steinbruch. Das dort gewonnene Dolomitgestein wird wegen der langsameren Verwitterung gegenüber Kalkgestein hauptsächlich als Straßenschotter verwendet. Die auf den Fichtennadeln dieses Probepunktes massiv detektierten Staubpartikel sind Mg- und Ca-hältig (Abb. 16) und weisen eine rhomboedrische Kristallstruktur mit charakteristischer Spaltung auf. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer Morphologie handelt es sich dabei eindeutig um geogene Dolomitphasen. Es ist anzunehmen, dass es bei Brucharbeiten im nahegelegenen Dolomitsteinbruch zu Staubbildung und auch zu Staubeinträgen in die angrenzenden Waldbestände kommen kann. Vereinzelt wurden auch Gipskristalle und globulare Glasphasen detektiert.

Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibionten (pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen) lag im Bereich von 10% bis 24%.

**Tab. 25:** Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln.  
 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig

| Probepunkt | Gips | Si-Partikel |
|------------|------|-------------|
| W 6        | 0    | 0           |
| W 10       | x    | 0           |
| W 18       | xxx  | xx          |
| W 20       | 0    | xx          |
| St.V. 8    | 0    | 0           |
| St.V.10    | x    | x           |



**Abb. 16:** PP St.V.10/Wietersdorf, EDX-Spektrum von Dolomitstaub auf Fichtennadeln.

**Tab. 26:** Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für F 0,8 mg%, 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         | F<br>mg% | Cl<br>% | S<br>% | N <sub>Kjeldahl</sub><br>% | Ca<br>mg/kg | K<br>mg/kg | Mg<br>mg/kg | P<br>mg/kg |
|------------|----------|---------|--------|----------------------------|-------------|------------|-------------|------------|
| W 6 A      | < 0,08   | --      | 0,12   | 1,4                        | 9542        | 7186       | 1323        | 2197       |
| W 6 B      | < 0,08   | < 0,08  | 0,12   | 1,4                        | 9409        | 7273       | 1674        | 1974       |
| W 10       | < 0,08   | --      | 0,13   | 1,3                        | 8530        | 8917       | 1377        | 1613       |
| W 18 A     | 2,5      | < 0,08  | 0,13   | 1,1                        | 8506        | 8335       | 994         | 1069       |
| W 18 B     | 1,4      | < 0,08  | 0,12   | 1,4                        | 7687        | 7079       | 1056        | 1870       |
| W 20       | < 0,08   | 0,09    | 0,10   | 1,0                        | 13223       | 7339       | 1137        | 1378       |
| St.V. 8    | 0,9      | < 0,08  | 0,11   | 1,1                        | 10464       | 7519       | 1106        | 1521       |
| St.V.10    | < 0,08   | < 0,08  | 0,12   | 1,4                        | 8964        | 6971       | 1940        | 1602       |
| Mittelwert | < 0,08   | < 0,08  | 0,12   | 1,25                       | 9541        | 7577       | 1326        | 1653       |
| Median     | < 0,08   | < 0,08  | 0,12   | 1,35                       | 9186        | 7306       | 1230        | 1608       |
| Minimum    | 0,08     | 0,08    | 0,10   | 1,0                        | 7687        | 6971       | 994         | 1069       |
| Maximum    | 2,5      | 0,09    | 0,13   | 1,4                        | 13223       | 8917       | 1940        | 2197       |

**Tab. 27:** Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf. Alle Werte beziehen sich auf das 105°C Trockengewicht.

| PP         | Cu<br>mg/kg | Zn<br>mg/kg | Mn<br>mg/kg | Fe<br>mg/kg | Cd<br>mg/kg | Pb<br>mg/kg | Hg<br>mg/kg |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| W 6 A      | 3,3         | 31,3        | 800         | 100         | 0,09        | 0,3         | 0,04        |
| W 6 B      | 3,2         | 35,7        | 908         | 151         | 0,05        | 0,4         | 0,04        |
| W 10       | 3,3         | 49,2        | 59          | 48          | 0,01        | 0,3         | 0,04        |
| W 18 A     | 2,6         | 46,3        | 59          | 148         | 0,07        | 3,4         | 0,10        |
| W 18 B     | 3,3         | 38,0        | 28          | 149         | 0,06        | 3,2         | 0,07        |
| W 20       | 2,8         | 41,8        | 63          | 388         | 0,02        | 1,0         | 0,05        |
| St.V. 8    | 2,9         | 44,4        | 8           | 50          | 0,01        | 0,4         | 0,04        |
| St.V.10    | 3,2         | 29,8        | 222         | 48          | 0,10        | 0,3         | 0,05        |
| Mittelwert | 3,0         | 39,6        | 268         | 135         | 0,05        | 1,2         | 0,05        |
| Median     | 3,2         | 40,0        | 61          | 124         | 0,05        | 0,4         | 0,04        |
| Minimum    | 2,6         | 29,8        | 8           | 48          | 0,01        | 0,3         | 0,04        |
| Maximum    | 3,3         | 49,2        | 908         | 388         | 0,10        | 3,4         | 0,10        |



Bei Schwefel und Fluor wurden einige Überschreitungen der Grenzwerte der „2. Forstverordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ festgestellt (Abb. 22, 31 im Anhang, Tab. 26).

Bei Stickstoff zeigen einzelne Standorte bereits sehr geringe Gehalte, die deutlich unter jenen 1,30 % Stickstoff liegen, die STEFAN (1992) und FOERST ET AL. (1987) als Obergrenze des Mangelbereichs angeben (Tab. 27). Die Mangangehalte streuen in einem weiten Bereich (Abb. 28 im Anhang), wobei ein Standort bereits einen Gehalt unter 20 mg Mn/kg aufweist, ab dem nach FIEDLER ET AL. (1973), FOERST ET AL. (1987) und HÜTTL (1991) mit Versorgungsmangel zu rechnen ist (Tab. 28). Auch die Kupfergehalte sind relativ gering, die Gehalte liegen jedoch durchwegs über 2 mg Cu/kg, die GULDER & KÖLBEL (1993) als Obergrenze für Kupfermangel angeben. Im Unterschied dazu sind die Calcium- und Kaliumgehalte einzelner Standorte vergleichsweise hoch (Abb. 24, 25 im Anhang), was jedoch teilweise auch durch den Nadeln anlagernden Staub verursacht sein dürfte (Abb. 16). Besonders Standort Wie 20 ist hier hervorzuheben, der zusätzlich auch einen weit über dem Optimalbereich liegenden Eisengehalt aufweist (Tab. 27, Abb. 27 im Anhang). Grundsätzlich ähnliche Ergebnisse zeigten die Untersuchungen vorangegangener Jahre in diesem Gebiet (TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS & TRIMBACHER 1998).

Weiters wurden teilweise Bleigehalte in Wietersdorf nachgewiesen, die gemäß Richtwerten von HERMAN (1998) auf Immissionseinfluß hinweisen und deutlich über Normalgehalten liegen (Abb. 34 im Anhang). Auch bei Quecksilber, das im Jahr 1997 erstmals an diesem Standort analysiert wurde, dürfte ein leichter Immissionseinfluß gegeben sein, was weniger durch die Höhe der Gehalte, die nur unerheblich Gehalte unbelasteter Gebiete überschreiten (Tab. 27), als durch den signifikanten Zusammenhang zwischen Staubbelegung und Quecksilbergehalt angedeutet wird (Abb. 17).

Zwischen einer Reihe weiterer Parameter wurden ebenfalls signifikante Korrelationen identifiziert (Tab. 37, 38 im Anhang), allerdings ist der Stichprobenumfang sehr klein, so dass diese Zusammenhänge nicht überbewertet werden sollten. Die ausgeprägteren Zusammenhänge mit einem  $p < 0,01$  sind in Abb. 17 dargestellt.

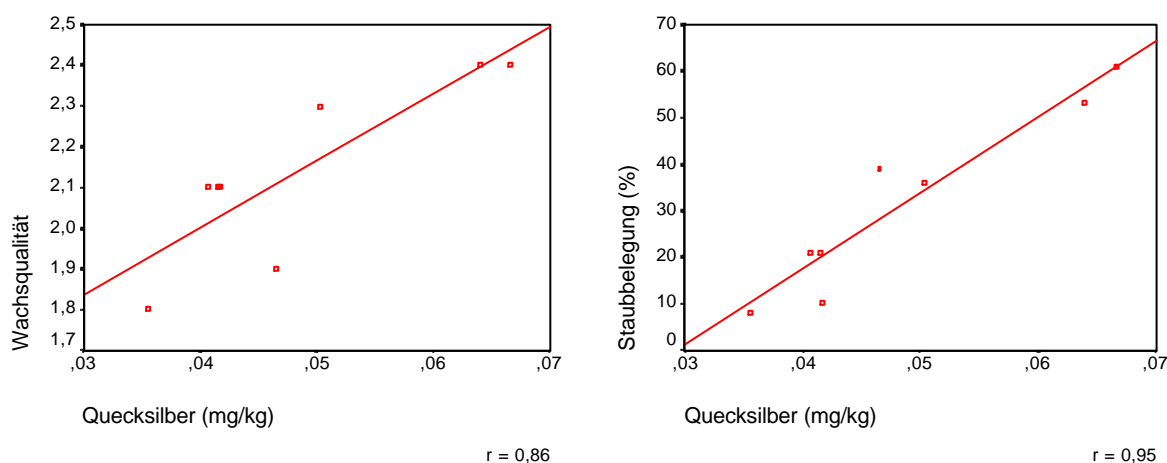


Abb. 17: Korrelationen zwischen Wachsqualität sowie Staubbelegung mit Quecksilber, zwischen Kalium und Zink sowie zwischen Phosphor und Kupfer in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Wietersdorf ( $p < 0,01$ ).

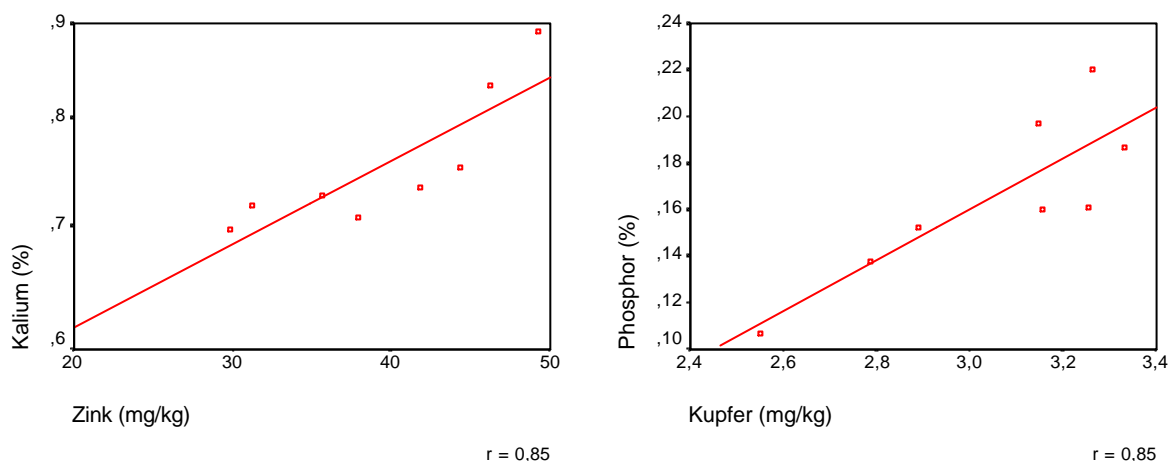


Abb. 17ff.: Korrelationen zwischen Wachsqualität sowie Staubbelegung mit Quecksilber, zwischen Kalium und Zink sowie zwischen Phosphor und Kupfer in Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) im Untersuchungsgebiet Wietersdorf ( $p < 0,01$ ).

**Fazit.** In der Umgebung des in Klein St. Paul/Wietersdorf in Kärnten befindlichen Zementwerks und der Bruchanlage wurden Fichtennadeln von acht Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität war unbeeinträchtigt bis leicht beeinträchtigt. Die Staubbelegung war vergleichsweise sehr hoch, besonders an dem nahe der Bruchanlage gelegenen Standort. Im Staub wurden regelmäßig globulare Glasphasen (industrielle Hochtemperaturprozesse) und Gipskristalle, die in diesem Untersuchungsgebiet möglicherweise auch geogenen Ursprungs sind, detektiert. Bei Schwefel und Fluor wurden an einigen Probepunkten Grenzwertüberschreitungen gemäß „2. Verordnung gegen fortschädliche Luftverunreinigungen,“ festgestellt. Bei Stickstoff und Mangan wurden vereinzelt Gehalte im Mangelbereich festgestellt. Im Unterschied dazu sind die Calcium- und Kaliumgehalte einzelner Standorte vergleichsweise hoch, was teilweise auch durch den den Nadeln anlagernden Staub verursacht sein dürfte. Einige Bleigehalte der Nadeln waren erhöht und deuten auf Immissionseinfluß hin.

## 10 LITERATUR

- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, ABT. 15 - UMWELTSCHUTZ (1999): Kärntner Umweltbericht 1999.
- 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.
- BOIN; U.; LINSMEYER, T., NEUBACHER, F., WINTER, B. 1998: Stand der Technik in der Sekundär-aluminiumerzeugung im Hinblick auf die IPPC-Richtlinie. IB-591, Umweltbundesamt Wien.
- 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.
- FIEDLER, H.J., NEBE, W. & HOFFMANN, F. (1973): Forstliche Pflanzenernährung und Düngung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- 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.
- FUNDER UMWELTERKLÄRUNGEN (1997)
- 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.
- HALBWACHS G. (HRSG.) (1982): Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, Verlag des Naturwissenschaftlichen Vereins für Kärnten, Klagenfurt.
- HALBWACHS G. & 13 AUTOREN (1995): Die Entwicklung des Immissionsschadensgebietes Ranshofen nach Schließung des Fluoremittenten und Prüfung der Umweltverträglichkeit möglicher Sanierungsvarianten. Endbericht zum Projekt i.A. des Bundesministeriums für Umwelt, Wien.
- HERMAN, F. (1998): Investigation of the lead content of spruce needles in remote and rural areas over a thirty-year period. *Environ. Sci. Pollut. Res., Special Issue No. 1*, 70-74.
- 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.
- HÜTTL, R.F. (1991): Die Nährelementversorgung geschädigter Wälder in Europa und Nordamerika. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen* 28.
- JÄGER, F. & BLAUENSTEINER, R. (1997): *Forstrecht.* 2. Auflage, Verlag Österreich, Wien.
- KARHU, M. & HUTTUNEN, S. (1986): Erosion effects of air pollution on needle surfaces. *Water, Air & Soil Pollut.* 31, 417-423.
- KASPEROWSKI, E. (1993): Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein. Umweltbundesamt Wien. Monographie Bd. 33.

- 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.
- KELLER, T., BAJO, S. & WYTENBACH, A. (1986): Gehalte an einigen Elementen in den Ablagerungen auf Fichtennadeln als Nachweis der Luftverschmutzung. *Allg. Forst- u. J.-Ztg.* 157, 69-78.
- KRATZ, K. (1996): Argumente für eine verpflichtende Reduktion des Chromatgehaltes in Zementen. UBA-BE-054. Umweltbundesamt Wien.
- LAHL, U. & ZESCHMAR-LAHL, B. (1997): Restmüllverbrennung in Anlagen zur Zementerzeugung. UBA-BE-097. Umweltbundesamt Wien.
- LICK, H. & DORFER, A. (1998): Schwermetallbelastung der Wälder in der Steiermark. In: Amt der Steiermärkischen Landesregierung – Fachabtlg. für das Forstwesen (Hrsg.): *Der Zustand des Steirischen Waldes 1996/97*. Graz, 34-52.
- LUNZER, H. (1998): Hausmülldeponien in Österreich. UBA-BE-130, Umweltbundesamt Wien.
- MARSCHNER, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants*. 2. Auflage, Academic Press, London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo, Toronto.
- ÖNORM EN ISO 5961 (1995): Wasserbeschaffenheit. Bestimmung von Cadmium durch Atomabsorptionsspektrometrie
- ÖNORM EN 1483 (1997): Wasserbeschaffenheit. Bestimmung von Quecksilber
- ÖNORM EN ISO 11885 (1998): Wasserbeschaffenheit. Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Emissionsspektrometrie
- REITER, B. & STROH, R. (1995): Behandlung von Abfällen in der Zementindustrie. UBA-M-072. Umweltbundesamt Wien.
- 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.
- STEFAN, K. (1992): Das österreichische Bioindikatornetz – Ergebnisse der Schwefel und Nährelementuntersuchungen. VDI-Bericht 901, Bd. 1, VDI-Verlag, Düsseldorf, 259-273.
- 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.
- 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.
- WEISS, P. (1998): Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. UBA-M-097, Umweltbundesamt Wien.
- WEISS, P. & TRIMBACHER, C. (1998). Nadeloberflächenparameter und Elementgehalte von Fichtennadeln ausgewählter Industriestandorte. Gesamtergebnisse 1996. UBA-R-154, Umweltbundesamt Wien.
- WEISS, P. (1999): Elementgehalte von Fichtennadeln, Pappel- und Ahornblättern – Eine tabellarische Zusammenstellung von Literaturdaten. UBA-BE-143, Umweltbundesamt Wien.
- WENZEL, W.W. (1990): Bodenbelastungen durch Fluor und Schwermetalle im Immissionsbereich der Aluminiumhütte Ranshofen und ihre Auswirkungen auf Bodenzustand und Bodenfunktionen. Diss., Universität für Bodenkultur, Wien.
- WYTTENBACH, A., TOBLER, L. & BAJO, S. (1989): Nadelinhaltsstoffe und Ablagerungen auf Nadeloberflächen von Fichten (*Picea abies* Karst.), Forstw. Cbl. 108, 233-243.
- WYTTENBACH, 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.
- ZVACEK, L. (1988): Mikronährstoffe und toxische Metalle an Waldstandorten. Universität Wien, Dissertation.

## 11 TABELLEN-, SKIZZEN- UND ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|  |    |
|--|----|
| Lageskizze der Probepunkte im Raum Arnoldstein.....                            | 17 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Frohnleiten .....            | 21 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Knittelfeld .....            | 27 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Ranshofen.....               | 34 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet St. Veit an der Glan.....    | 41 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems ..... | 48 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Retznei .....                | 52 |
| Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wietersdorf / Kärnten .....  | 58 |

### TABELLEN

|    |   |    |
|----|---|----|
| 1  | Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Arnoldstein..... | 18 |
| 2  | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Arnoldstein. ....                              | 19 |
| 3  | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Arnoldstein .....   | 19 |
| 4  | Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln und Epibionten im Untersuchungsgebiet Frohnleiten..... | 22 |
| 5  | Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und verschiedenen globularen Partikeln.....   | 22 |
| 6  | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frohnleiten .....                              | 24 |
| 7  | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frohnleiten. ....   | 25 |
| 8  | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Knittelfeld.....                                     | 28 |
| 9  | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Knittelfeld .....                              | 29 |
| 10 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Knittelfeld .....   | 30 |
| 11 | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Ranshofen .....                                      | 36 |
| 12 | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Ranshofen.....                                 | 37 |
| 13 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Ranshofen.....  | 38 |
| 14 | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Funder / St. Veit.....                               | 42 |
| 15 | Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln .....  | 43 |
| 16 | Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Funder / St. Veit.....                                 | 44 |
| 17 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Funder /St. Veit .....  | 45 |
| 18 | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems .....                         | 49 |
| 19 | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kirchdorf an der Krems.....                    | 50 |
| 20 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kirchdorf a.d. Krems ..   | 51 |
| 21 | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Retznei .....  | 53 |
| 22 | Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln .....  | 53 |
| 23 | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Retznei.....                                   | 55 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 24 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Retznei .....   | 56 |
| 25 | Wachsqualität, Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf .....      | 59 |
| 26 | Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und globularen Glaspartikeln .....                                  | 61 |
| 27 | Fluor-, Chlorid-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf..... | 62 |
| 28 | Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wietersdorf.....                                      | 62 |
| 29 | Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Frohnleiten ...                               | 81 |
| 30 | Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Frohnleiten.....                   | 81 |
| 31 | Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Knittelfeld.....                              | 82 |
| 32 | Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Knittelfeld.....                   | 82 |
| 33 | Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Ranshofen ....                                | 83 |
| 34 | Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Ranshofen .....                    | 83 |
| 35 | Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in St. Veit an der Glan.....                     | 84 |
| 36 | Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in St. Veit an der Glan.....          | 84 |
| 37 | Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Wietersdorf...                                | 85 |
| 38 | Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Wietersdorf .....                  | 85 |

## ABBILDUNGEN / SPEKTREN / PHOTOS

|    |   |        |
|----|---|--------|
| 1  | PP 2/Frohnleiten, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit dichter Staubauflage.....   | 23     |
| 2  | PP 10/Frohnleiten, REM-Aufnahme eines globularen, manganhaltigen Partikels.....   | 23     |
| 3  | PP 10/Frohnleiten, EDX-Spektrum des manganhaltigen Partikels in Abb. 2 .....  | 24     |
| 4  | Korrelation zwischen Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Njg.) im Untersuchungsgebiet Frohnleiten .....   | 26     |
| 5  | PP 2/Knittelfeld, EDX-Spektrum von fluorhaltigen Partikeln.....   | 29     |
| 6  | Korrelation zwischen Schwefel und Kalium sowie Eisen und Fluor in Fichtennadeln (1. Njg.) im Untersuchungsgebiet Knittelfeld .....  | 32     |
| 7  | PP 5/Ranshofen, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftendem Aluminium-Staub .....   | 35     |
| 8  | PP 5/Ranshofen, EDX-Spektrum von Aluminiumstaub.....  | 35     |
| 9  | Korrelationen zwischen Staubbelegung und Aluminium, Schwefel und Kalium, Schwefel und Phosphor, Kalium und Zink, Kupfer und Aluminium sowie Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Njg.) im Untersuchungsgebiet Ranshofen..... | 39, 40 |
| 10 | PP F10/Funder-St. Veit, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit angelagerten Gips-Kristallen und glatten, globularen Flugaschepartikeln .....   | 43     |
| 11 | Korrelationen zwischen Phosphor und Kupfer, Mangan und Cadmium sowie Eisen und Blei in Fichtennadeln (1. Njg.) im Untersuchungsgebiet St. Veit a.d. Glan.....   | 46     |
| 12 | PP 2/Retznei, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit deutlichen Wachsdegradationen.  | 54     |
| 13 | PP 2/Retznei, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen anhaftenden Gipskristallen.....   | 54     |
| 14 | PP Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit 100%iger Staubbelegung.....  | 59     |
| 15 | PP Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit angelagerten Gips-Kristallen .....   | 60     |
| 16 | PP St. V. 10/Wietersdorf, EDX-Spektrum von Dolomitstaub auf Fichtennadeln.....  | 61     |

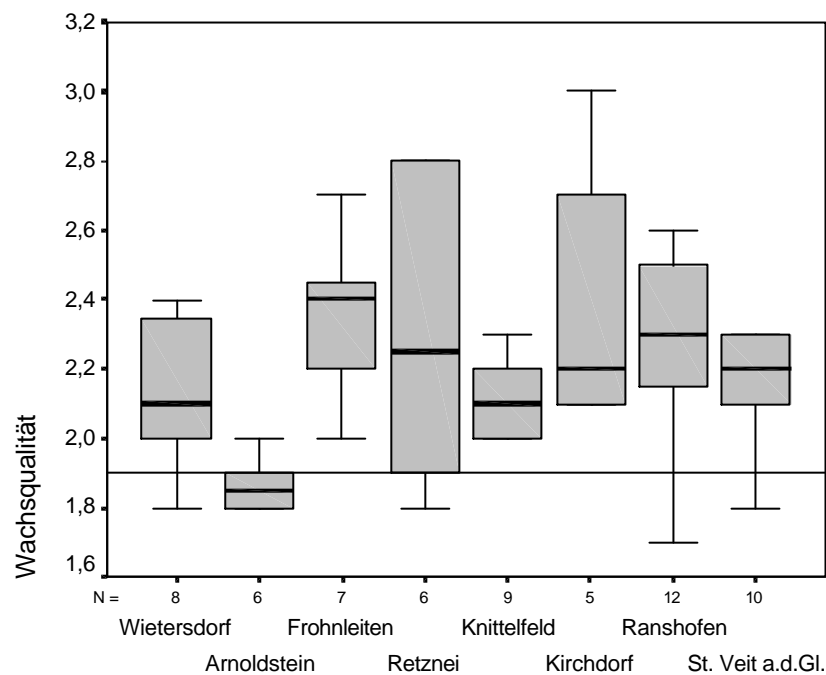
|    |  |        |
|----|--|--------|
| 17 | Korrelationen zwischen Wachsqualität sowie Staubbelegung mit Quecksilber, zwischen Kalium und Zink sowie zwischen Phosphor und Kupfer in Fichtennadeln (1. Njg.) im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.....   | 63, 64 |
| 18 | Boxplots zur Qualität von Spaltöffnungswachsen von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (ohne Standorte mit mechanisch beeinträchtigten Wachsstrukturen). Bezugslinie: Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995..... | 71     |
| 19 | Boxplots zur Staubbelegung auf Spaltöffnungen von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie (0%): Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995.....  | 72     |
| 20 | Boxplots zur Epibiontenbelegung auf Spaltöffnungen von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995.....   | 72     |
| 21 | Boxplots zu den Stickstoffgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bio-Indikatornetzes 1983-1995. ....  | 73     |
| 22 | Boxplots zu den Schwefelgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. ....  | 73     |
| 23 | Boxplots zu den Phosphorgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 74     |
| 24 | Boxplots zu den Kaliumgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 74     |
| 25 | Boxplots zu den Calciumgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. ....   | 75     |
| 26 | Boxplots zu den Magnesiumgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 75     |
| 27 | Boxplots zu den Eisengehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 76     |
| 28 | Boxplots zu den Mangangehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 76     |
| 29 | Boxplots zu den Zinkgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 77     |
| 30 | Boxplots zu den Kupfergehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 77     |
| 31 | Boxplots zu den Fluorgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 78     |
| 32 | Boxplots zu den Chlorgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 78     |
| 33 | Boxplots zu den Aluminiumgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 79     |
| 34 | Boxplots zu den Bleigehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....   | 79     |
| 35 | Boxplots zu den Cadmiumgehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 80     |
| 36 | Boxplots zu den Quecksilbergehalten von Fichtennadeln (1. Njg.) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.....  | 80     |



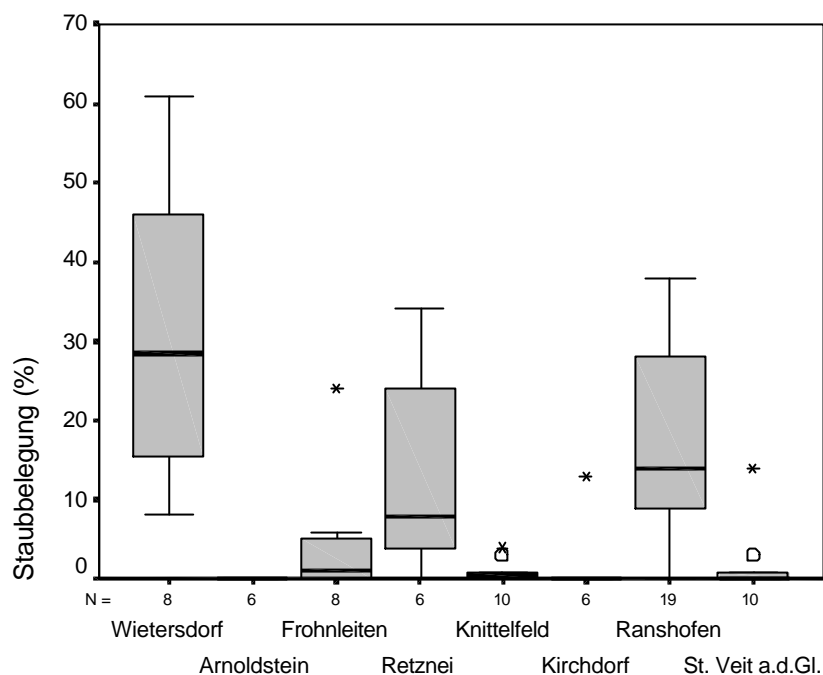
## 12 ANHANG

### 12.1 Vergleiche zwischen den Untersuchungsgebieten

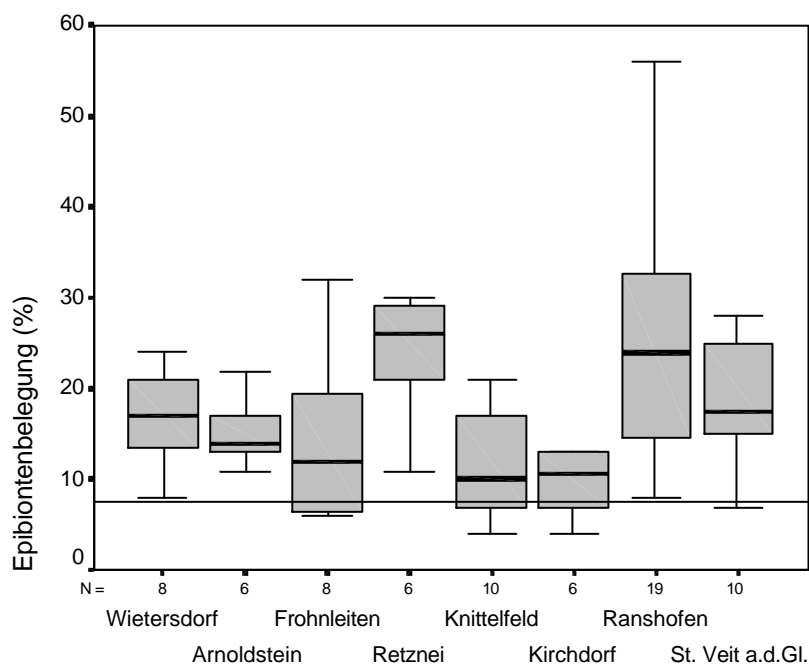
Zum Verständnis der Boxplots: die dicke Linie in der Mitte des Boxplots stellt den Median (Durchschnittswert) dar, der Kasten umfaßt den Bereich vom 25er- zum 75er-Perzentil der Werte. Die unteren und oberen Markierungen stellen die kleinsten bzw. größten beobachteten Werte dar, die noch keine Ausreißer 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.



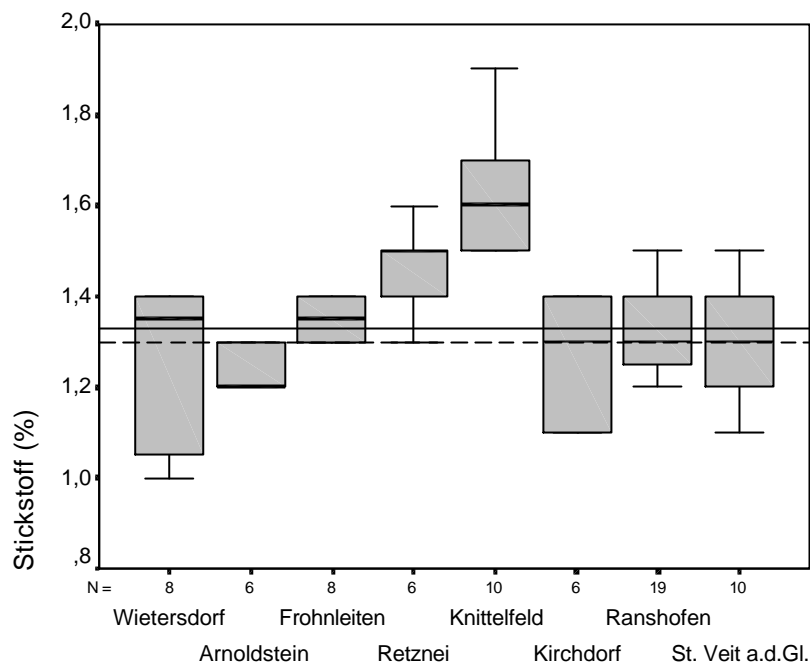
**Abb. 18:** Boxplots zur Qualität von Spaltöffnungswachsen von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997 (ohne Standorte mit mechanisch beeinträchtigten Wachsstrukturen). Bezugslinie: Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995 (TRIMBACHER ET AL. 1995, TRIMBACHER & WEISS 1997).



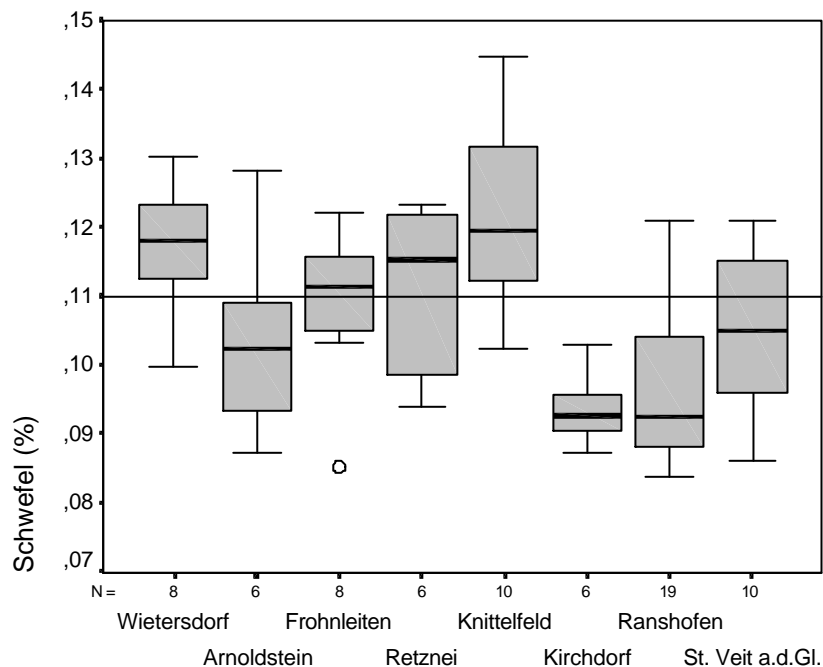
**Abb. 19:** Boxplots zur Staubbelegung auf Spaltöffnungen von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie (0 %): Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995 (TRIMBACHER ET AL. 1995, TRIMBACHER & WEISS 1997).



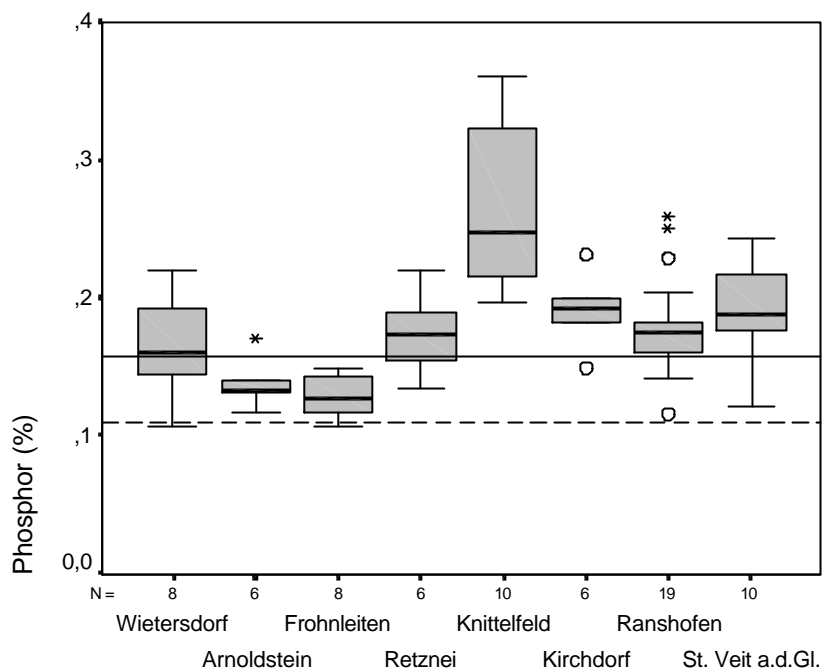
**Abb. 20:** Boxplots zur Epibiontenbelegung auf Spaltöffnungen von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Median von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995 (TRIMBACHER ET AL. 1995, TRIMBACHER & WEISS 1997).



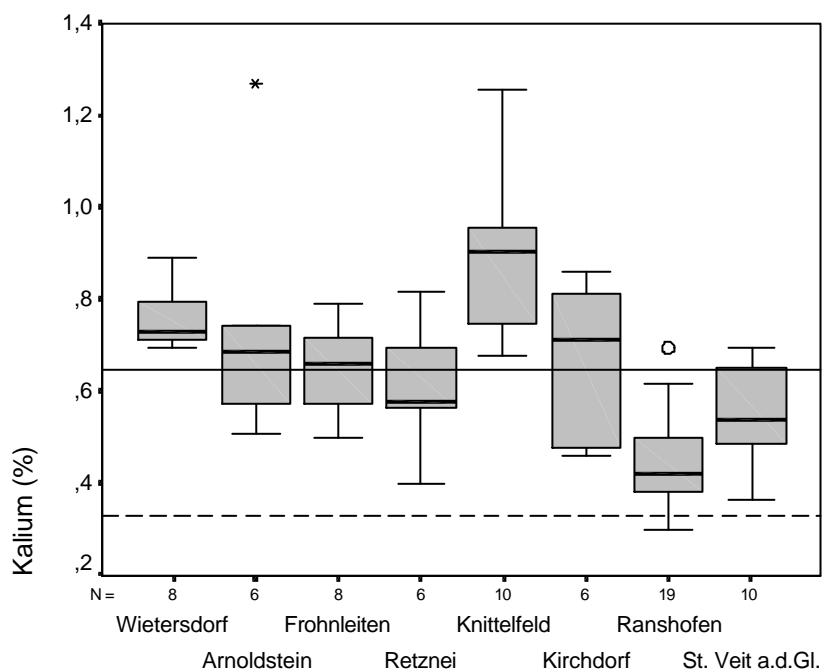
**Abb. 21:** Boxplots zu den Stickstoffgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bioindikatornetzes 1983-1995 (STEFAN & GABLER 1998). Bezugslinie strichliert: Richtwert (Obergrenze) für Mangelbereich nach STEFAN (1992) und FOERST ET AL. (1987).



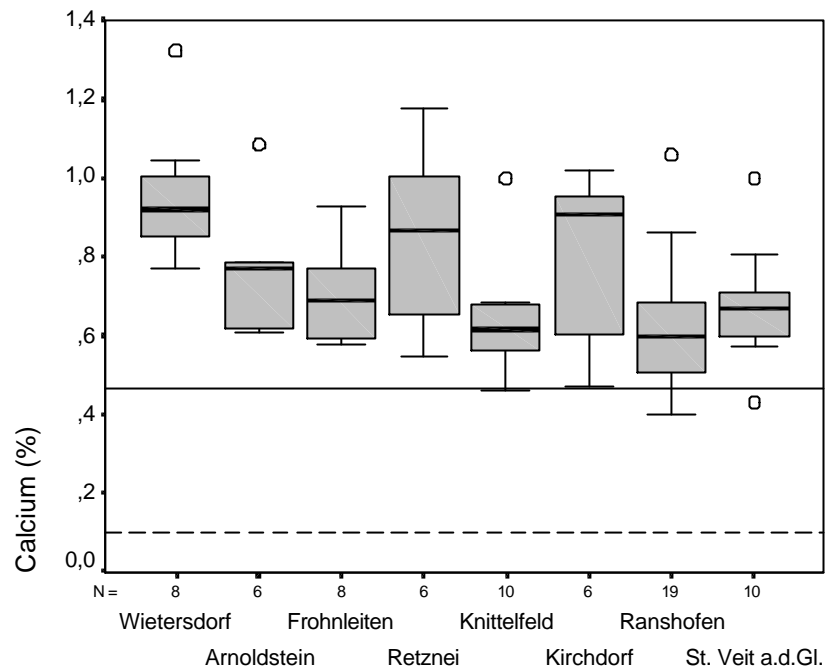
**Abb. 22:** Boxplots zu den Schwefelgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Grenzwert der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997).



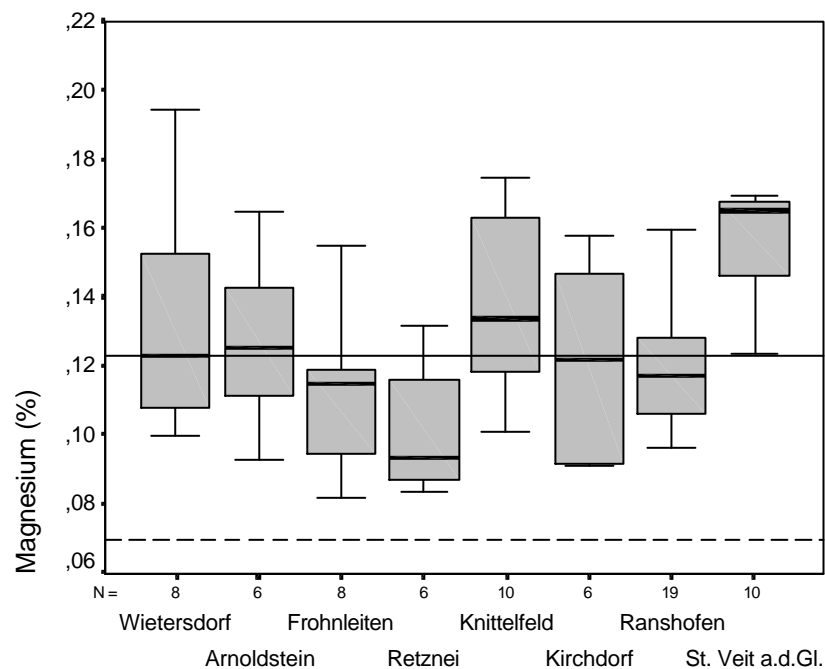
**Abb. 23:** Boxplots zu den Phosphorgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bioindikatornetzes 1983-1995 (STEFAN & GABLER 1998). Bezugslinie strichliert: Richtwert (Obergrenze) für Mangelbereich nach STEFAN (1992).



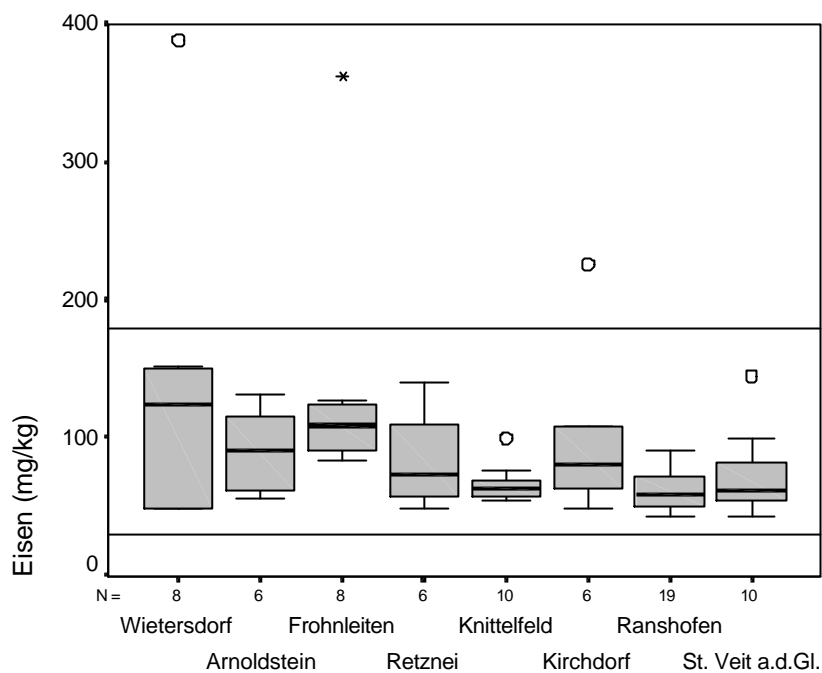
**Abb. 24:** Boxplots zu den Kaliumgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bioindikatornetzes 1983-1995 (STEFAN & GABLER 1998). Bezugslinie strichliert: Richtwert (Obergrenze) für Mangelbereich nach STEFAN (1992).



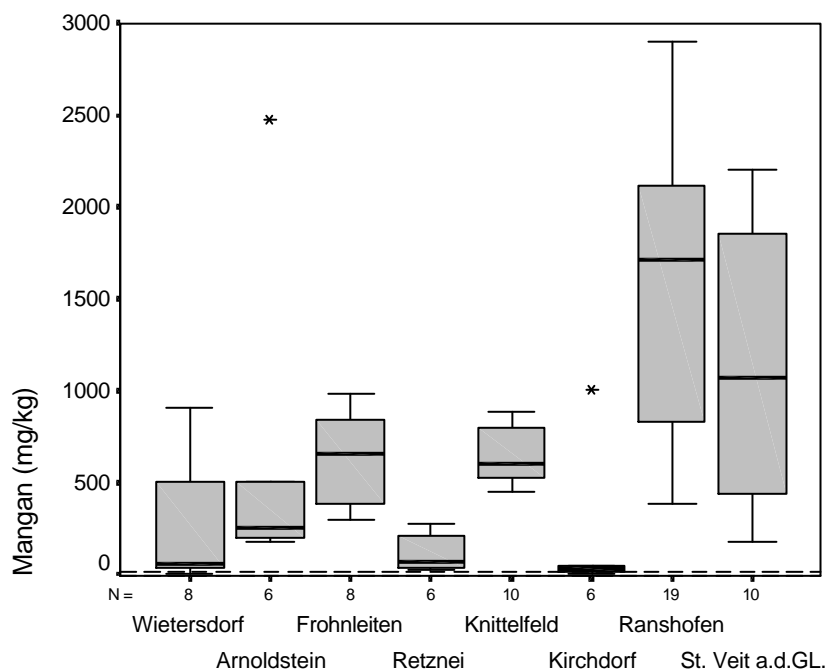
**Abb. 25:** Boxplots zu den Calciumgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bioindikatornetzes 1983-1995 (STEFAN & GABLER 1998). Bezugslinie strichliert: Richtwert (Obergrenze) für Mangelbereich nach STEFAN (1992).



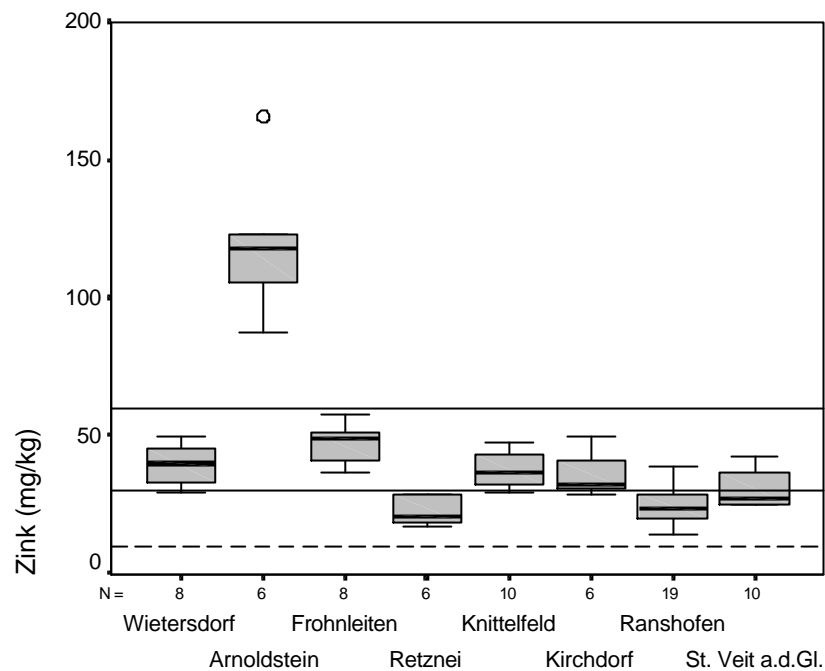
**Abb. 26:** Boxplots zu den Magnesiumgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie durchgehend: Mittelwert des österreichischen Bioindikatornetzes 1983-1995 (STEFAN & GABLER 1998). Bezugslinie strichliert: Richtwert (Obergrenze) für Mangelbereich nach STEFAN (1992).



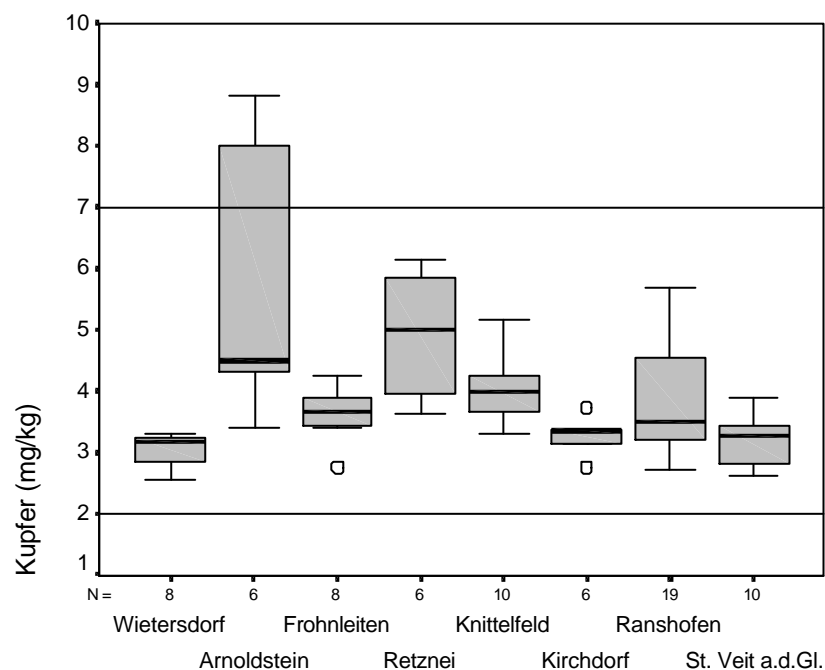
**Abb. 27:** Boxplots zu den Eisengehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinien: Ober- und Untergrenze des optimalen Bereichs (FOERST ET AL. 1987).



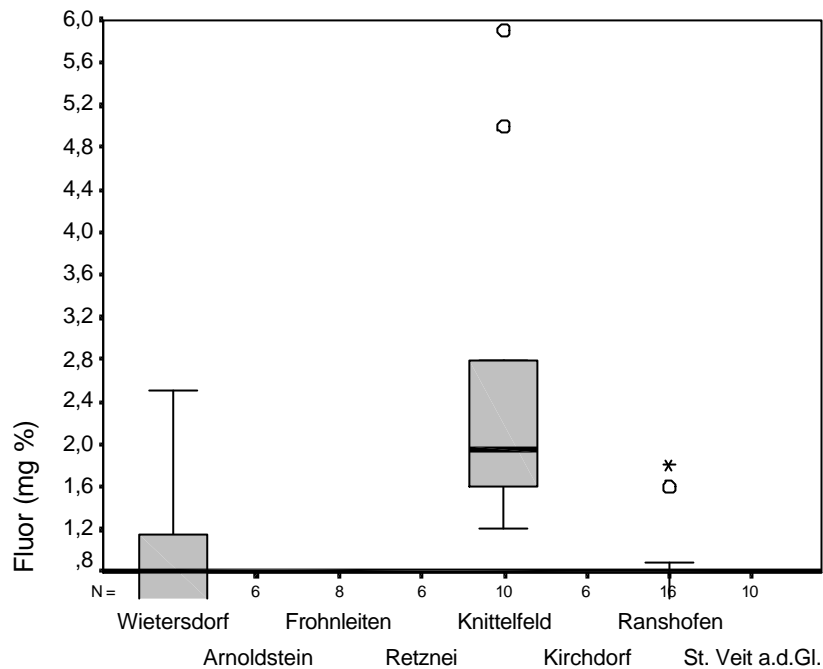
**Abb. 28:** Boxplots zu den Mangangehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Obergrenze des Mangelbereichs (FOERST ET AL. 1987).



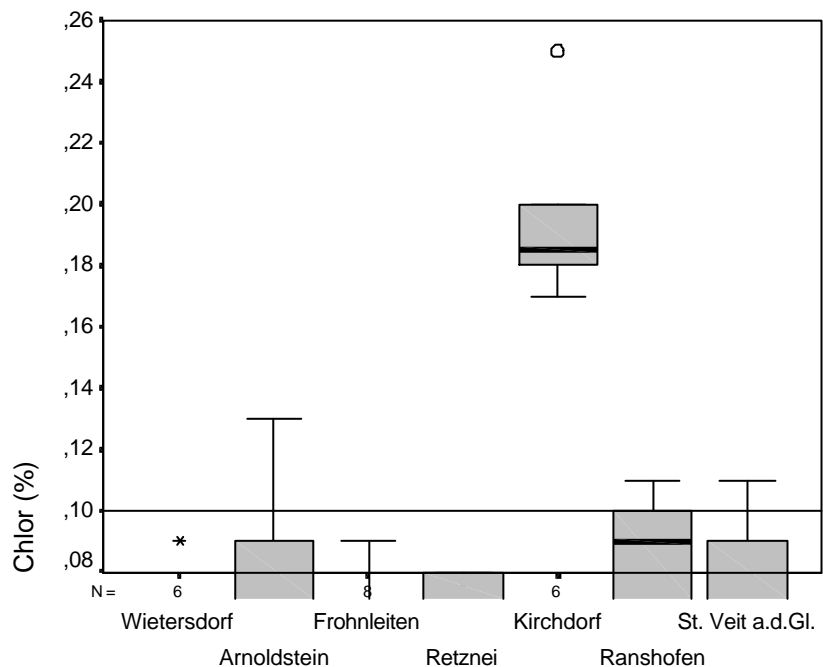
**Abb. 29:** Boxplots zu den Zinkgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinien durchgehend: Ober- und Untergrenze des optimalen Bereichs. Bezugslinie strichliert: Obergrenze des Mangelbereichs (FOERST ET AL. 1987).



**Abb. 30:** Boxplots zu den Kupfergehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinien: Ober- und Untergrenze des optimalen Bereichs (FOERST ET AL. 1987).



**Abb. 31:** Boxplots zu den Fluorgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie (0,8 mg%): Grenzwert der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997).



**Abb. 32:** Boxplots zu den Chlorgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Grenzwert der „2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen“ (JÄGER & BLAUENSTEINER 1997).



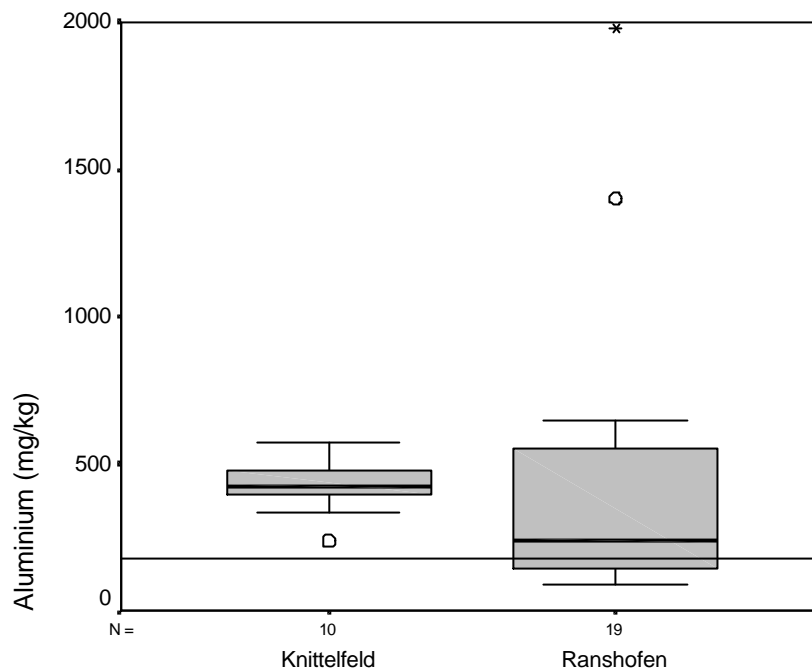


Abb. 33: Boxplots zu den Aluminiumgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Obergrenze des Bereichs von Hintergrundstandorten im Jahr 1993 und 1995 (TRIMBACHER & WEISS 1997, WEISS 1998).

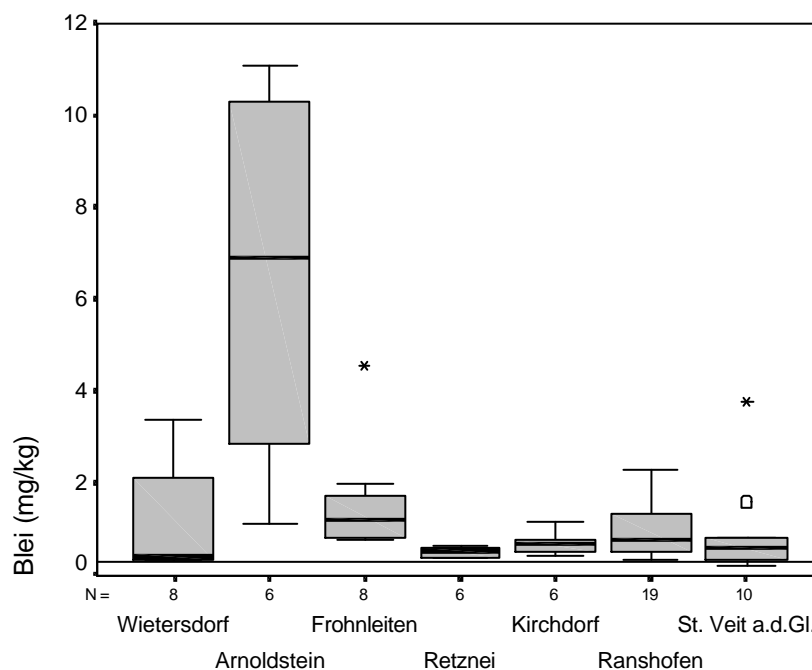
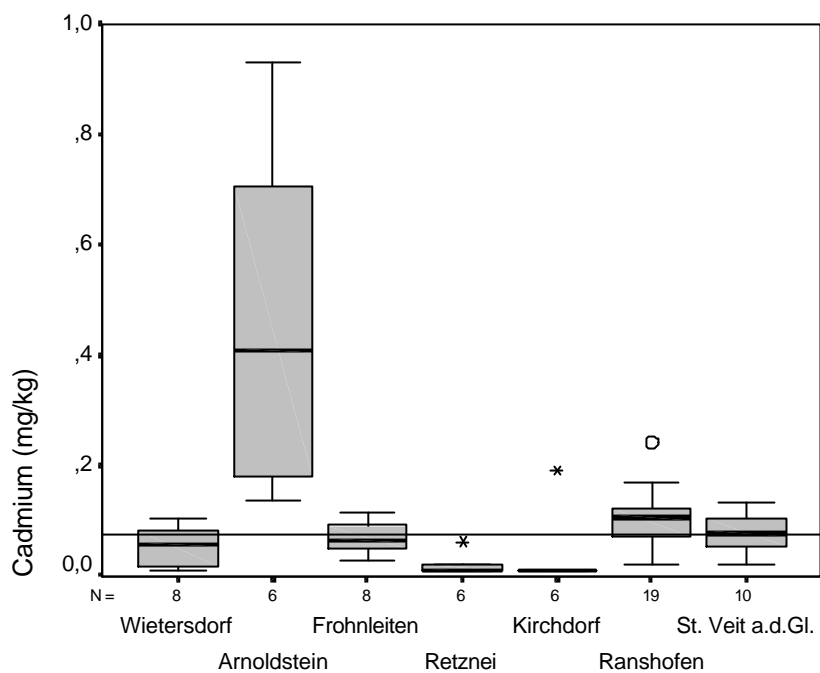
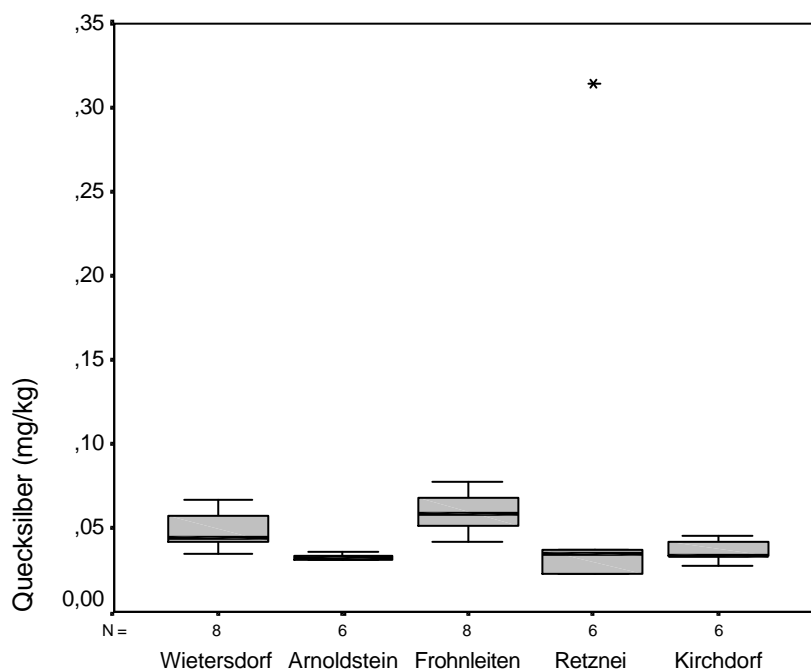


Abb. 34: Boxplots zu den Bleigehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Obergrenze des Normalbereichs (WEISS 1999) berechnet aus Daten von LICK & DORFER 1998.



**Abb. 35:** Boxplots zu den Cadmiumgehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997. Bezugslinie: Obergrenze des Normalbereichs (WEISS 1999) berechnet aus Daten von LICK & DORFER 1998.



**Abb. 36:** Boxplots zu den Quecksilbergehalten von Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang) in den Untersuchungsgebieten des Jahres 1997.

## 12.2 Korrelationstabellen nach Spearman-Rank und Pearson für die Untersuchungsgebiete Frohnleiten, Knittelfeld, Ranshofen, St. Veit a.d. Glan und Wietersdorf

Anmerkung: Für den Parameter Wachsqualität wurden nur jene Standorte herangezogen, deren Epicuticulärwaxse nicht durch mechanische Einflüsse beeinträchtigt wurden.

*Tab. 29: Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Frohnleiten (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; bei Wq:  $n = 7$ , alle anderen:  $n = 8$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubbelegung, Epi = Epibiontenbelegung)*

|     | Wq            | St           | Epi          | S     | N            | Ca    | K     | Mg           | P     | Cu    | Zn    | Mn    | Fe            | Cd    | Pb   |
|-----|---------------|--------------|--------------|-------|--------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|---------------|-------|------|
| St  | ,019          |              |              |       |              |       |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| Epi | ,440          | <b>,790*</b> |              |       |              |       |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| S   | -,182         | ,037         | -,144        |       |              |       |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| N   | -,220         | -,113        | -,384        | ,436  |              |       |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| Ca  | <b>,946**</b> | -,012        | ,347         | -,071 | -,436        |       |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| K   | ,145          | ,516         | ,216         | ,548  | ,546         | ,071  |       |              |       |       |       |       |               |       |      |
| Mg  | ,600          | -,295        | ,036         | ,238  | -,546        | ,595  | -,119 |              |       |       |       |       |               |       |      |
| P   | -,691         | ,196         | -,275        | -,238 | -,218        | -,333 | -,119 | -,310        |       |       |       |       |               |       |      |
| Cu  | -,218         | -,491        | -,683        | ,024  | <b>,764*</b> | -,500 | ,048  | -,524        | -,024 |       |       |       |               |       |      |
| Zn  | ,564          | -,479        | -,216        | -,048 | -,436        | ,548  | -,214 | <b>,762*</b> | -,143 | -,071 |       |       |               |       |      |
| Mn  | ,073          | -,626        | -,407        | ,524  | ,436         | ,071  | -,071 | ,190         | -,619 | ,452  | ,238  |       |               |       |      |
| Fe  | ,327          | ,454         | ,395         | -,143 | ,436         | ,167  | ,500  | -,595        | -,190 | ,262  | -,333 | -,048 |               |       |      |
| Cd  | ,364          | -,098        | ,000         | ,214  | -,109        | ,667  | ,048  | ,214         | -,071 | -,071 | ,405  | ,405  | ,286          |       |      |
| Pb  | ,145          | ,638         | ,431         | -,143 | ,436         | ,024  | ,667  | -,619        | ,000  | ,119  | -,524 | -,381 | <b>,881**</b> | -,048 |      |
| Hg  | ,509          | ,331         | <b>,719*</b> | -,262 | -,109        | ,429  | -,048 | -,167        | -,548 | -,286 | -,262 | ,071  | ,595          | ,262  | ,405 |

*Tab. 30: Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Frohnleiten (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; bei Wq:  $n = 7$ , alle anderen:  $n = 8$ ; Wq = Wachsqualität, Epi = Epibiontenbelegung)*

|     | Wq           | Epi          | S     | Ca    | K     | Mg           | P     | Cu    | Zn    | Mn   | Cd   |
|-----|--------------|--------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|------|------|
| Epi | ,298         |              |       |       |       |              |       |       |       |      |      |
| S   | -,040        | ,026         |       |       |       |              |       |       |       |      |      |
| Ca  | <b>,813*</b> | ,685         | ,043  |       |       |              |       |       |       |      |      |
| K   | ,087         | ,188         | ,578  | ,158  |       |              |       |       |       |      |      |
| Mg  | ,458         | ,138         | ,128  | ,496  | -,190 |              |       |       |       |      |      |
| P   | -,749        | -,089        | -,309 | -,327 | ,004  | -,154        |       |       |       |      |      |
| Cu  | -,256        | -,664        | -,064 | -,485 | ,113  | -,551        | ,227  |       |       |      |      |
| Zn  | ,685         | ,006         | -,154 | ,592  | -,417 | <b>,814*</b> | -,234 | -,216 |       |      |      |
| Mn  | ,277         | -,302        | ,486  | ,049  | -,262 | ,209         | -,693 | ,042  | ,357  |      |      |
| Cd  | ,102         | ,225         | ,400  | ,498  | ,049  | ,155         | -,029 | ,086  | ,375  | ,435 |      |
| Hg  | ,477         | <b>,796*</b> | ,165  | ,583  | ,049  | -,065        | -,566 | -,484 | -,019 | ,209 | ,309 |

**Tab. 31:** Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Knittelfeld (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; bei Wq:  $n = 9$ , alle anderen:  $n = 10$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubbelegung, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq            | St    | Epi   | S     | N            | Ca    | K     | Mg    | P            | Cu           | Zn    | Mn           | Fe            | Al   |
|-----|---------------|-------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|--------------|--------------|-------|--------------|---------------|------|
| St  | -,210         |       |       |       |              |       |       |       |              |              |       |              |               |      |
| Epi | <b>-,682*</b> | ,298  |       |       |              |       |       |       |              |              |       |              |               |      |
| S   | ,416          | -,321 | ,147  |       |              |       |       |       |              |              |       |              |               |      |
| N   | ,290          | ,363  | -,173 | ,190  |              |       |       |       |              |              |       |              |               |      |
| Ca  | -,503         | ,177  | ,624  | -,018 | ,260         |       |       |       |              |              |       |              |               |      |
| K   | ,373          | ,046  | ,073  | ,552  | ,526         | ,539  |       |       |              |              |       |              |               |      |
| Mg  | ,260          | ,111  | -,147 | ,139  | ,551         | -,285 | -,176 |       |              |              |       |              |               |      |
| P   | ,390          | -,190 | -,239 | ,564  | ,146         | -,333 | ,224  | ,297  |              |              |       |              |               |      |
| Cu  | ,555          | ,229  | ,037  | ,515  | ,076         | -,236 | ,358  | ,115  | <b>,709*</b> |              |       |              |               |      |
| Zn  | -,165         | ,033  | ,073  | ,333  | <b>,659*</b> | ,418  | ,418  | ,200  | ,224         | -,103        |       |              |               |      |
| Mn  | -,277         | -,229 | ,404  | ,188  | -,393        | ,127  | -,042 | ,006  | -,115        | -,115        | -,297 |              |               |      |
| Fe  | ,061          | ,452  | ,330  | ,152  | -,152        | ,079  | ,285  | -,212 | ,212         | <b>,733*</b> | -,212 | ,176         |               |      |
| Al  | -,217         | -,269 | ,606  | ,248  | -,545        | ,127  | -,139 | -,042 | -,079        | ,176         | -,345 | <b>,636*</b> | ,394          |      |
| F   | ,452          | ,125  | -,202 | ,000  | -,280        | -,249 | ,207  | -,292 | ,219         | <b>,669*</b> | -,547 | ,006         | <b>,772**</b> | ,213 |

**Tab. 32:** Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Knittelfeld (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ;  $n = 10$ ; Epi = Epibiontenbelegung)

|    | Epi          | S             | K     | Mg    | P            | Cu    | Zn    | Mn           |
|----|--------------|---------------|-------|-------|--------------|-------|-------|--------------|
| S  | -,029        |               |       |       |              |       |       |              |
| K  | -,025        | <b>,766**</b> |       |       |              |       |       |              |
| Mg | -,123        | ,261          | -,107 |       |              |       |       |              |
| P  | -,174        | <b>,736*</b>  | ,499  | ,468  |              |       |       |              |
| Cu | ,202         | ,568          | ,497  | ,185  | <b>,760*</b> |       |       |              |
| Zn | ,063         | ,398          | ,382  | ,157  | ,407         | ,107  |       |              |
| Mn | ,375         | ,209          | ,094  | ,085  | -,117        | -,202 | -,242 |              |
| Al | <b>,652*</b> | ,105          | -,130 | -,163 | -,170        | -,004 | -,228 | <b>,681*</b> |

**Tab.33:** Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Ranshofen (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; bei Wq:  $n = 10$ , alle anderen:  $n = 19$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubebelegung, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq    | St            | Epi    | S             | N            | Ca    | K     | Mg           | P             | Cu            | Zn            | Mn           | Fe            | Al    | Cl    | Cd   |
|-----|-------|---------------|--------|---------------|--------------|-------|-------|--------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|-------|-------|------|
| St  | ,143  |               |        |               |              |       |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| Epi | ,518  | -,146         |        |               |              |       |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| S   | -,372 | ,165          | -,264  |               |              |       |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| N   | -,512 | -,148         | -,238  | <b>,607**</b> |              |       |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| Ca  | ,196  | ,214          | -,133  | ,125          | -,067        |       |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| K   | -,014 | ,126          | -,263  | <b>,656**</b> | ,216         | -,018 |       |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| Mg  | -,132 | ,304          | -,324  | <b>,654**</b> | ,352         | ,068  | ,335  |              |               |               |               |              |               |       |       |      |
| P   | -,564 | ,272          | -,517* | <b>,642**</b> | <b>,497*</b> | ,354  | ,405  | <b>,537*</b> |               |               |               |              |               |       |       |      |
| Cu  | -,168 | <b>,584**</b> | -,421  | <b>,526*</b>  | <b>,487*</b> | ,040  | ,354  | ,370         | ,423          |               |               |              |               |       |       |      |
| Zn  | ,243  | ,445          | -,376  | <b>,512*</b>  | ,225         | ,409  | ,439  | ,388         | ,405          | <b>,619**</b> |               |              |               |       |       |      |
| Mn  | ,461  | -,181         | ,347   | -,144         | ,046         | -,200 | -,116 | -,344        | -,400         | -,146         | ,112          |              |               |       |       |      |
| Fe  | -,054 | ,247          | -,158  | ,179          | ,064         | ,125  | ,300  | -,240        | ,023          | ,205          | ,296          | ,268         |               |       |       |      |
| Al  | -,100 | <b>,775**</b> | -,311  | ,161          | ,031         | ,084  | ,109  | ,135         | ,104          | <b>,782**</b> | <b>,516*</b>  | -,079        | ,418          |       |       |      |
| Cl  | ,015  | -,307         | ,225   | -,239         | -,261        | ,009  | -,141 | -,328        | <b>-,468*</b> | -,213         | -,258         | -,096        | -,193         | -,108 |       |      |
| Cd  | ,325  | ,183          | -,191  | ,272          | ,439         | ,343  | ,163  | ,170         | ,240          | <b>,519*</b>  | <b>,703**</b> | <b>,463*</b> | ,068          | ,297  | -,171 |      |
| Pb  | -,318 | ,327          | ,102   | ,223          | ,312         | ,155  | -,004 | -,231        | ,243          | ,351          | ,219          | ,152         | <b>,624**</b> | ,339  | -,117 | ,119 |

**Tab. 34:** Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Ranshofen (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ; bei Wq:  $n = 10$ , alle anderen:  $n = 19$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubebelegung, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq    | St           | Epi   | S             | Ca    | K             | Mg    | Cu           | Zn           | Mn   | Fe    |
|-----|-------|--------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|--------------|--------------|------|-------|
| St  | ,142  |              |       |               |       |               |       |              |              |      |       |
| Epi | ,365  | -,037        |       |               |       |               |       |              |              |      |       |
| S   | -,556 | ,088         | -,221 |               |       |               |       |              |              |      |       |
| Ca  | ,267  | ,172         | -,089 | ,369          |       |               |       |              |              |      |       |
| K   | ,076  | ,216         | -,260 | <b>,648**</b> | ,168  |               |       |              |              |      |       |
| Mg  | -,282 | ,238         | -,325 | <b>,521*</b>  | -,004 | ,315          |       |              |              |      |       |
| Cu  | -,037 | <b>,519*</b> | -,211 | ,293          | -,009 | ,263          | ,136  |              |              |      |       |
| Zn  | ,235  | ,406         | -,282 | <b>,476*</b>  | ,319  | <b>,602**</b> | ,437  | <b>,544*</b> |              |      |       |
| Mn  | ,455  | -,206        | ,281  | -,212         | -,253 | -,053         | -,266 | -,054        | ,129         |      |       |
| Fe  | -,164 | ,149         | -,165 | ,191          | ,231  | ,226          | -,293 | ,278         | ,281         | ,234 |       |
| Cd  | ,337  | ,121         | -,137 | ,013          | ,223  | ,012          | ,140  | ,405         | <b>,521*</b> | ,414 | -,026 |

**Tab. 35:** Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in St. Veit a.d. Glan (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ;  $n = 10$ ; Wq = Wachsqualität, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq    | Epi          | S            | N             | Ca    | K     | Mg    | P              | Cu    | Zn           | Mn            | Fe           | Cd   |
|-----|-------|--------------|--------------|---------------|-------|-------|-------|----------------|-------|--------------|---------------|--------------|------|
| Epi | ,288  |              |              |               |       |       |       |                |       |              |               |              |      |
| S   | ,076  | -,189        |              |               |       |       |       |                |       |              |               |              |      |
| N   | -,291 | -,469        | <b>,667*</b> |               |       |       |       |                |       |              |               |              |      |
| Ca  | ,598  | -,146        | ,430         | ,189          |       |       |       |                |       |              |               |              |      |
| K   | -,245 | -,354        | ,176         | -,252         | ,127  |       |       |                |       |              |               |              |      |
| Mg  | ,566  | -,091        | ,176         | -,031         | ,564  | ,030  |       |                |       |              |               |              |      |
| P   | ,094  | -,421        | ,309         | ,195          | ,309  | ,406  | ,297  |                |       |              |               |              |      |
| Cu  | -,151 | -,073        | -,164        | ,271          | -,115 | -,539 | -,285 | <b>-,782**</b> |       |              |               |              |      |
| Zn  | ,183  | ,128         | -,503        | <b>-,692*</b> | ,006  | ,333  | -,333 | ,091           | -,212 |              |               |              |      |
| Mn  | -,038 | ,555         | ,345         | ,195          | -,248 | -,273 | -,152 | ,212           | -,394 | -,261        |               |              |      |
| Fe  | -,038 | ,476         | -,164        | -,598         | -,297 | ,370  | -,539 | -,127          | -,248 | <b>,673*</b> | ,236          |              |      |
| Cd  | ,069  | ,354         | ,503         | ,233          | -,067 | -,103 | -,091 | ,309           | -,345 | -,115        | <b>,855**</b> | ,345         |      |
| Pb  | ,283  | <b>,732*</b> | -,200        | <b>-,692*</b> | -,224 | ,139  | -,006 | ,006           | -,527 | ,345         | ,491          | <b>,721*</b> | ,430 |

**Tab. 36:** Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in St. Veit a.d. Glan (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ;  $n = 10$ ; Epi = Epibiontenbelegung)

|    | Epi   | S            | N     | Ca    | K     | P              | Cu    | Mn            |
|----|-------|--------------|-------|-------|-------|----------------|-------|---------------|
| S  | -,394 |              |       |       |       |                |       |               |
| N  | -,480 | <b>,682*</b> |       |       |       |                |       |               |
| Ca | -,038 | ,412         | ,073  |       |       |                |       |               |
| K  | -,485 | ,254         | -,215 | ,162  |       |                |       |               |
| P  | -,314 | ,411         | ,086  | ,220  | ,546  |                |       |               |
| Cu | -,021 | -,165        | ,312  | -,038 | -,599 | <b>-,823**</b> |       |               |
| Mn | ,577  | ,283         | ,162  | -,105 | -,363 | ,263           | -,299 |               |
| Cd | ,272  | ,507         | ,320  | ,182  | -,225 | ,301           | -,085 | <b>,812**</b> |

**Tab. 37:** Spearman-Rank-Korrelationskoeffizienten zwischen Nadelparametern in Wietersdorf (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ;  $n = 8$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubbelegung, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq           | St            | Epi            | S     | N            | Ca    | K             | Mg             | P            | Cu    | Zn    | Mn    | Fe    | Cd    | Pb   |
|-----|--------------|---------------|----------------|-------|--------------|-------|---------------|----------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| St  | <b>,729*</b> |               |                |       |              |       |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| Epi | -,457        | -,614         |                |       |              |       |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| S   | ,025         | ,036          | ,419           |       |              |       |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| N   | ,020         | ,321          | ,257           | ,319  |              |       |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| Ca  | -,503        | -,587         | ,275           | -,595 | -,447        |       |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| K   | ,086         | -,467         | ,156           | ,262  | -,702        | ,048  |               |                |              |       |       |       |       |       |      |
| Mg  | -,602        | -,335         | <b>,790*</b>   | ,238  | ,472         | ,238  | -,333         |                |              |       |       |       |       |       |      |
| P   | -,160        | -,180         | ,491           | ,071  | <b>,792*</b> | -,071 | -,452         | ,452           |              |       |       |       |       |       |      |
| Cu  | -,037        | ,060          | ,228           | ,143  | <b>,728*</b> | -,357 | -,500         | ,262           | <b>,810*</b> |       |       |       |       |       |      |
| Zn  | ,258         | -,252         | -,108          | ,190  | -,702        | -,167 | <b>,929**</b> | -,524          | -,524        | -,381 |       |       |       |       |      |
| Mn  | -,135        | -,060         | ,683           | ,167  | ,549         | ,262  | -,357         | <b>,738*</b>   | ,524         | ,119  | -,619 |       |       |       |      |
| Fe  | ,577         | ,395          | -,371          | -,643 | -,077        | ,214  | -,167         | -,310          | -,048        | -,286 | -,143 | ,190  |       |       |      |
| Cd  | ,184         | ,635          | -,060          | ,357  | ,664         | -,333 | -,667         | ,190           | ,214         | ,238  | -,690 | ,452  | -,024 |       |      |
| Pb  | ,675         | ,563          | <b>-,874**</b> | -,429 | -,345        | -,167 | ,071          | <b>-,857**</b> | -,476        | -,429 | ,238  | -,476 | ,667  | -,024 |      |
| Hg  | <b>,822*</b> | <b>,898**</b> | -,563          | ,095  | ,064         | -,595 | -,167         | -,452          | -,333        | ,048  | ,095  | -,262 | ,286  | ,381  | ,524 |

**Tab. 38:** Pearson-Korrelationskoeffizienten zwischen normalverteilten Nadelparametern in Wietersdorf (\*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ ;  $n = 8$ ; Wq = Wachsqualität, St = Staubbelegung, Epi = Epibiontenbelegung)

|     | Wq            | St            | Epi           | S             | N            | Ca    | Mg    | P             | Cu    | Zn            | Cd   |
|-----|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------|-------|---------------|-------|---------------|------|
| St  | <b>,731*</b>  |               |               |               |              |       |       |               |       |               |      |
| Epi | -,463         | <b>-,710*</b> |               |               |              |       |       |               |       |               |      |
| S   | ,026          | -,027         | ,398          |               |              |       |       |               |       |               |      |
| N   | -,018         | ,113          | ,344          | ,477          |              |       |       |               |       |               |      |
| Ca  | -,111         | -,273         | ,031          | <b>-,818*</b> | -,648        |       |       |               |       |               |      |
| Mg  | -,539         | -,242         | ,634          | ,224          | ,601         | -,128 |       |               |       |               |      |
| P   | -,210         | -,266         | ,335          | ,003          | <b>,743*</b> | -,214 | ,355  |               |       |               |      |
| Cu  | -,212         | -,180         | ,331          | ,210          | <b>,829*</b> | -,427 | ,444  | <b>,847**</b> |       |               |      |
| Zn  | ,231          | -,163         | -,125         | ,164          | -,637        | ,061  | -,617 | -,639         | -,470 |               |      |
| Cd  | ,089          | ,491          | -,008         | ,280          | ,602         | -,417 | ,408  | ,285          | ,188  | <b>-,774*</b> |      |
| Hg  | <b>,846**</b> | <b>,951**</b> | <b>-,720*</b> | ,090          | ,021         | -,340 | -,450 | -,348         | -,223 | ,108          | ,305 |