

**FICHTENNADELUNTERSUCHUNGEN IN  
ÖSTERREICH  
ANALYSENERGEBNISSE 1996**



# **Fichtennadeluntersuchungen in Österreich**

## **Analysenergebnisse 1996**

**BE-105**

Wien, 1998

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



**Autor:**

Cristina Trimbacher

*Wir danken allen Mitarbeitern der Landesforstdienste in den Bundesländern für die freundliche Unterstützung.*

*Alle rasterelektronenmikroskopischen und chemisch-analytischen Untersuchungen wurden in den Labors des Umweltbundesamtes durchgeführt.*

**Impressum**

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

© Umweltbundesamt, Wien, 1998  
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)  
ISBN 3-85457-414-2

## INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung .....	i
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 Nadelwachse als Bioindikatoren.....	1
1.2 Standorte .....	2
<b>2. PROBENAHME .....</b>	<b>3</b>
<b>3. UNTERSUCHUNGSMETHODEN .....</b>	<b>3</b>
3.1 Rasterelektronenmikroskopie.....	3
3.2 Chemisch-analytische Methoden .....	3
3.2.1 Fluorid.....	3
3.2.2 Chlorid .....	3
3.2.3 Stickstoff .....	4
3.2.4 Nährelemente und Schwermetalle .....	4
<b>4. ERGEBNISSE .....</b>	<b>5</b>
4.1 <i>Frantschach</i> .....	5
4.1.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	5
4.1.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	6
4.2 <i>Kematen</i> .....	12
4.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	12
4.2.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	13
4.3 <i>Lenzing</i> .....	17
4.3.1 Lage und Klima .....	17
4.3.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	17
4.3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	18
4.4 <i>Leoben / Donawitz</i> .....	21
4.4.1 Lage und Klima .....	21
4.4.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	21
4.4.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	23

4.5	<i>Treibach</i> .....	28
4.5.1	Lage und Klima .....	28
4.5.2	Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	28
4.5.3	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	30
4.5.3.1	Deponie St. Kosmos .....	32
4.6	<i>Wels</i> .....	35
4.6.1	Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet .....	35
4.6.2	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	36
4.7	<i>Wietersdorf</i> .....	39
4.7.1	Lage und Klima .....	39
4.7.2	Umweltrelevante Angaben zum Standort .....	39
4.7.3	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen .....	40
5.	<b>LITERATUR</b> .....	45

## Zusammenfassung

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 Wachsstrukturen und in weiterer Folge einen frühzeitigen Nadelverlust herbeiführen. Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung von Fichtennadeln hinsichtlich Wachsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung nach dem am Umweltbundesamt entwickelten quantitativen Beurteilungsverfahren eignet sich besonders zur Früherkennung von Schadstoffeinflüssen und wird deshalb bereits seit längerem als Bioindikationsmethode angewendet.

Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 einiger ausgewählter emittentennaher Standorte in Österreich wurden rasterelektronenmikroskopisch hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Nadelwachse untersucht. Weiters wurden chemische Nadelanalysen der wichtigsten Nährelemente und Schadstoffe durchgeführt. Der vorliegende Bericht enthält die Analyseergebnisse. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen und eine Interpretation sämtlicher Nadeldaten aus dem Beobachtungszeitraum 1996 werden gesondert in einer eigenen Publikation des Umweltbundesamtes erfolgen.

### **Frantschach/Kärnten**

In der Umgebung der in Frantschach im oberen Lavanttal ansässigen Patria Papier & Zellstoff AG wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,8 (leicht beeinträchtigt). Vor allem im Nahbereich der Anlage wurden auf den Nadeln Gipskristalle, sphärische Flugascheteilchen sowie vereinzelt Rußpartikel beobachtet. Die Schwefelgehalte der Fichtennadeln lagen mit Ausnahme eines Probepunktes über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,11% Schwefel im 1. Nadeljahrgang.

### **Kematen/Niederösterreich**

In Kematen an der Ybbs wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten aus der Umgebung der Zellstoff- und Papierfabrik der Neusiedler AG untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 2,0 bis 2,9 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung war gering. Vereinzelt wurden auf den Nadeloberflächen Gipskristalle und sphärische Flugaschepartikel detektiert. Die Schwefelgehalte der Nadeln lagen mit Ausnahme von einem Punkt unter dem gesetzlich festgelegten Grenzwert.

### **Lenzing/Oberösterreich**

Im Gebiet um die Lenzing AG (Zellstoff-, Viskose- und Papierherstellung) wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,9 (unbeeinträchtigt) bis 2,6 (leicht beeinträchtigt). Es wurden keine staubförmigen Fremdpartikel auf den untersuchten Spaltöffnungen detektiert. Die Schwefelgehalte der Nadeln lagen an drei Punkten des Untersuchungsgebietes geringfügig über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,11%.

### **Leoben-Donawitz/Steiermark**

In der Umgebung der Voest-Alpine Stahlhütte in Leoben-Donawitz wurden Fichtennadeln von insgesamt 19 Probestellen analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,2 (leicht beeinträchtigt). Die Staubbelegung war relativ gering, doch wurden auf den Nadeloberflächen der im Nahbereich der Anlage befindlichen Bäume sehr häufig eisenhaltige Flugaschepartikel und auch vereinzelt Gipskristalle beobachtet. Diese Standorte wiesen auch die höchsten Schwefelgehalte des Untersuchungsgebietes auf. Darüberhinaus waren die Eisen-, Blei- und Quecksilberwerte der Fichtennadeln an diesen Punkten deutlich erhöht. An einem Probestellen lagen die Fluorkonzentrationen deutlich über dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,8 mg% im 1. Nadeljahrgang.

### **Treibach/Kärnten**

In der Umgebung der Treibacher Industrie AG sowie nahe einer in St. Kosmas befindlichen Deponie der Treibacher Industrie AG wurden Fichtennadeln von 18 Probestellen analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt). Mit Ausnahme der im Nahbereich der Deponie gelegenen Probestellen war die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen gering. Die an die Deponiefläche angrenzenden Bäume waren mit metallhaltigem Fremdstaub kontaminiert. In der Staubaufgabe der untersuchten Nadeln wurden u.a. die Elemente Titan, Vanadium, Chrom, Mangan und Eisen detektiert. Die chemischen Nadelanalysen dieser Probestellen ergaben ebenfalls hohe Chrom-, Molybdän- und Vanadiumkonzentrationen.

Die Chloridgehalte der untersuchten Fichtennadeln aus dem Raum Treibach lagen mit einer Ausnahme unter dem gesetzlich festgelegten Grenzwert von 0,10% im 1. Nadeljahrgang. Auch die Schwefelwerte der Fichtennadeln waren vergleichsweise unauffällig. Hohe Molybdän- und Vanadiumkonzentrationen wurden in Nadeln zweier im Nahbereich des Werksgeländes befindlicher Punkte gemessen.

### **Wels/Oberösterreich**

In der Umgebung der Welser Abfallverwertungsanlage (AVA) wurden Fichtennadeln von fünf Probestellen untersucht. Die Wachsqualität lag im Bereich von 2,1 (leicht beeinträchtigt) bis 3,0 (mittelstark beeinträchtigt). Die Wachsdegradationen waren zu einem Großteil witterungsbedingt. Die Staubbelegung war bis auf den im Nahbereich der AVA gelegenen Probestellen relativ gering. Im Staub wurden Gipsnadeln und siliziumhaltige Flugaschepartikel detektiert. Die Schwefelkonzentrationen der Nadeln lagen im Bereich des Grenzwertes. Die Chloridgehalte der untersuchten Fichtennadeln lagen bis auf einen Punkt unter dem gesetzlich festgelegten Grenzwert.

### **Waltersdorf/Kärnten**

In der Umgebung der Waltersdorfer & Peggauer Zementwerke in Waltersdorf wurden Fichtennadeln von sechs Probestellen analysiert. Die Wachsqualität lag im Bereich von 1,8 (unbeeinträchtigt) bis 2,5 (leicht beeinträchtigt). Besonders die Nadeln des nahe der werkeigenen Bruchanlage befindlichen Probestellen waren durch dichte Staubbelegung charakterisiert. Im Staub wurden regelmäßig Gipskristalle detektiert. Die Nadelanalysen ergaben für diesen Probestellen auch deutlich erhöhte Schwefelwerte sowie leicht erhöhte Bleigehalte.

# 1 EINLEITUNG

## 1.1 Nadelwachse als Bioindikatoren

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

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

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

Zur quantitativen Erfassung struktureller Veränderungen von Fichtennadelwachsen wurde daher im Rahmen einer Studie des Umweltbundesamtes eine Klassifizierungsmethode für das Rasterelektronenmikroskop entwickelt (TRIMBACHER ET AL., 1995, TRIMBACHER & ECKMÜLLNER, 1997). Dieses Beurteilungsverfahren beruht auf einer Einteilung der im REM beobachtbaren Mikrostrukturen der Stomatawachse, d. h. der über den eingesenkten Spaltöffnungen befindlichen Wachse (Grad der Wachsverschmelzung in Prozent der Gesamtstomatafläche) in fünf Qualitätsklassen. Die Standardisierung der Methode ermöglicht vergleichbare Ansprachen der Wachsqualität von Fichtennadeln. Neben dem baumphysiologischen 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 Streißgefährdung von Waldbeständen ermöglicht wird. Das dargestellte Verfahren ist sowohl als Monitoringinstrument der Früherkennung von Schadstoffeinflüssen anwendbar als auch zur Charakterisierung von veränderten Belastungssituationen vor allem in Untersuchungsgebieten im Einflußbereich von Emittenten geeignet.

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

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

## 1.2 Standorte

Die vorliegende Studie beinhaltet die Untersuchungsergebnisse des 1. Nadeljahrganges 1996. In den Untersuchungsgebieten *Treibach/Althofen* (Kärnten, Treibacher Industrie AG) und *Leoben/Donawitz* (Steiermark, Voest Alpine) wurden bereits am 1. Nadeljahrgang 1995 wachsschädigende Einflüsse festgestellt, sodaß eine Ausweitung der Anzahl der Probestellen in diesen beiden Gebieten erfolgte. Aufgrund der interessanten Ergebnisse des Untersuchungsjahres 1995 wurden auch im Raum *Wietersdorf* (Kärnten, Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke) neuerlich Fichtennadeln analysiert. Weiters wurden die bisher noch nicht mit dieser Methode untersuchten Standorte *Frantschach* (Kärnten, Patria Papier und Zellstoff AG), *Kematen* (Niederösterreich, Neusiedler Papier AG), *Lenzing* (Oberösterreich, Papier- und Zellstoffwerk) und *Wels* (Oberösterreich, thermische Abfallverwertungsanlage) im Überblick erfaßt.

Neben den oben erwähnten Standorten wurden auch im Großraum Linz Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1996 hinsichtlich Wachstumsqualität, Staub- und Epibiontenbelegung analysiert. Da jedoch diese Untersuchungen Bestandteil eines eigenen Projektes zur Erhebung der Schwermetallbelastung von Nadeln und Blättern im Ballungsraum Linz darstellen, werden diese Ergebnisse gemeinsam mit den übrigen Daten aus Linz in einem eigenen Bericht veröffentlicht werden. Ähnliches gilt für Standorte, die im Rahmen eines Projektes zur Erfassung der CKW- und Nitrophenolbelastung von Fichtennadeln analysiert wurden.

Der vorliegende Bericht beinhaltet Analysenergebnisse. Die statistische Auswertung und Interpretation sämtlicher Nadelnadeln aus dem Beobachtungszeitraum 1996 (incl. Linz und CKW-Standorte) wird zu einem späteren Zeitpunkt in einer eigenen Publikation des Umweltbundesamtes erfolgen.

## 2 PROBENAHMEN

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

## 3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN

### 3.1 Rasterelektronenmikroskopie

Für die Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop wurden die Fichtennadeln im Labor bei Raumtemperatur (ca. 20° C) in Papierkuverts über Silicagel luftgetrocknet. Dadurch wird eine mögliche Entstehung von Schimmelpilzen bei der Lagerung des Nadelmaterials vermieden. Nach dem Lufttrocknen wurden insgesamt 24 Nadeln der jeweiligen Ausgangsprobe auf sechs Aluminium-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. Eine detaillierte Beschreibung des Beurteilungsverfahrens der rasterelektronenmikroskopischen Bestimmung der Wachsqualität von Fichtennadeln findet sich in TRIMBACHER ET AL., 1995 sowie TRIMBACHER & ECKMÜLLNER, 1997. Mittels röntgenenergie-dispersiver Mikroanalyse (EDX) wurde die elementare Zusammensetzung anhaftender Fremdpartikel (Staub, Kristalle) bestimmt.

### 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 die bei 105° C getrocknete Probe.

#### 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 Filtrieren wurde der Chloridgehalt der Nadelproben elektrochemisch mittels ionenselektiver Elektrode bestimmt. Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in % Cl und bezieht sich auf die bei 105° C getrocknete Probe.

### 3.2.3 Stickstoff

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

### 3.2.4 Nährelemente und Schwermetalle

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

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

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

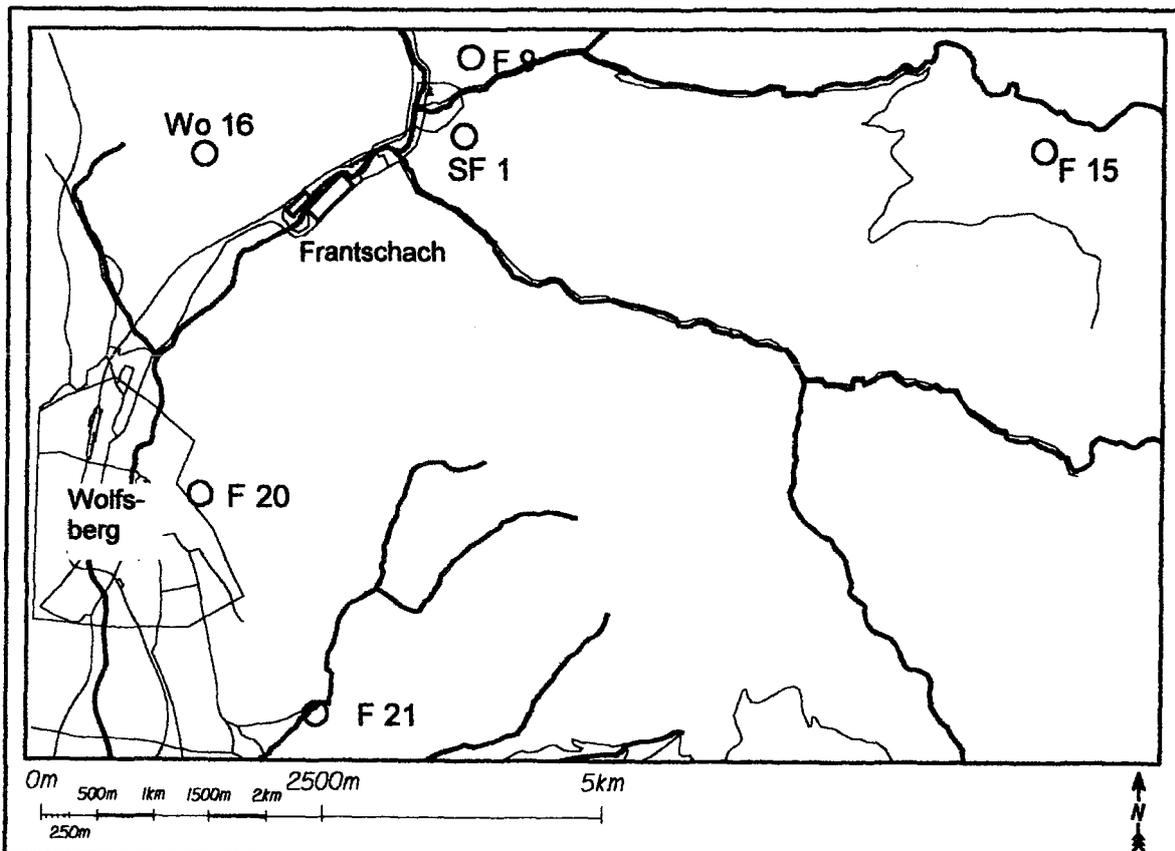
Die Angabe der Ergebnisse erfolgt in mg/kg und bezieht sich auf die bei 105° C getrocknete Probe.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Frantschach

#### 4.1.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

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



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Frantschach/Kärnten.

#### 4.1.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

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

Gipskristalle, die auf Nadeloberflächen entstehen, können als Indikatoren für erhöhte Auswaschung von Nährstoffen aus den Nadeln aufgrund von Schwefelmissionen gewertet werden. Partikuläre Emissionen sind aus Verbrennungsprozessen bekannt. Diese Flugaschepartikel können anhand ihrer Morphologie, ihrer Größe und ihrer chemischen Zusammensetzung identifiziert werden. Dadurch wird es auch zum Teil möglich, Rückschlüsse auf die bei der Verbrennung verwendeten Ausgangsstoffe zu ziehen. So werden beispielsweise bei kohlebefeuerter Anlagen in erster Linie glatte, sphärische Aluminiumsilikatpartikel in die Atmosphäre freigesetzt (LASKUS ET AL., 1981, DEL MONTE & SABBIONI, 1984).

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

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

Die stärkste Belegung der Nadeloberflächen mit Fremdstaub (31%) wurde an den Nadeln des nord-östlich gelegenen Probepunktes F 9 beobachtet. Es wurden im Staub regelmäßig Gipskristalle (Abb. 2 und 3) sowie Rußpartikel und Aluminiumsilikatteilchen (Abb. 4 und 5) detektiert. 13% der untersuchten Stomata waren mit pflanzlichen bzw. tierischen Mikroorganismen besiedelt. Die Wachsqualität der Fichtennadeln lag bei einem Wert von 2,4, welcher einer leichten Beeinträchtigung der Nadelwachse entspricht.

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

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

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

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

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

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

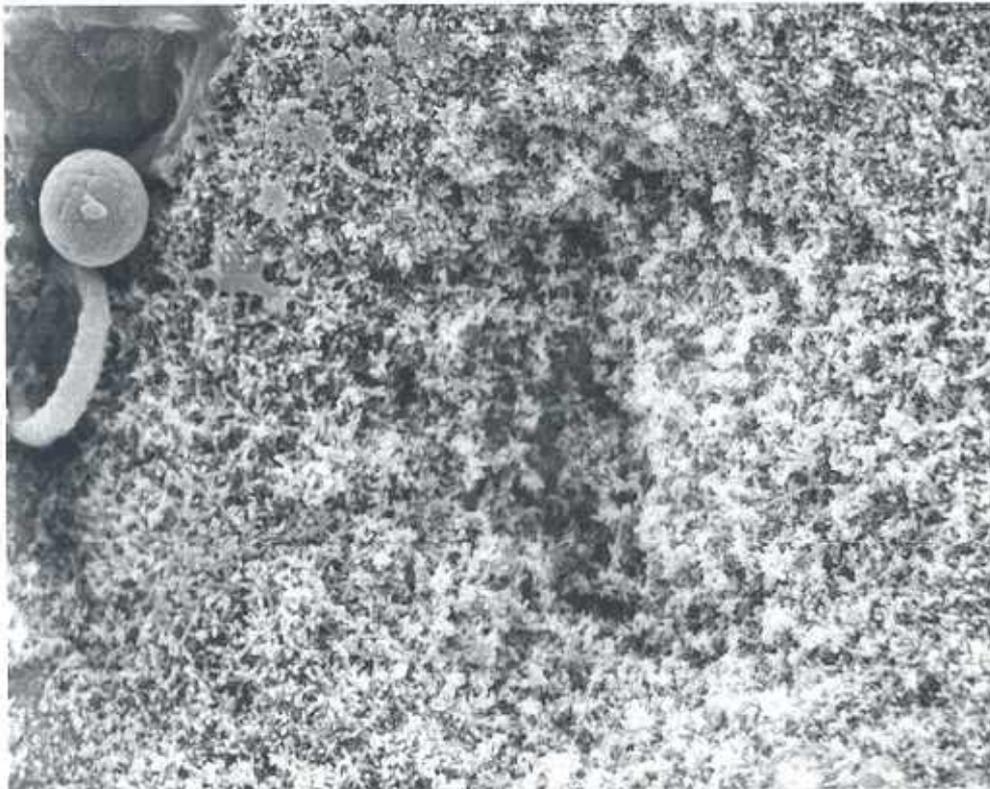
*Tabelle 3: Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg.: 0,11 %) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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

Die Schwefelgehalte der Fichtennadeln lagen mit Ausnahme des Probepunktes F 15 über dem Grenzwert von 0,11% im 1. Nadeljahrgang der 2. VO gegen forstschädliche Luftverunreinigungen (WOHANKA & STÜRZENBECHER, 1989).

*Tabelle 4: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Frantschach. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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



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

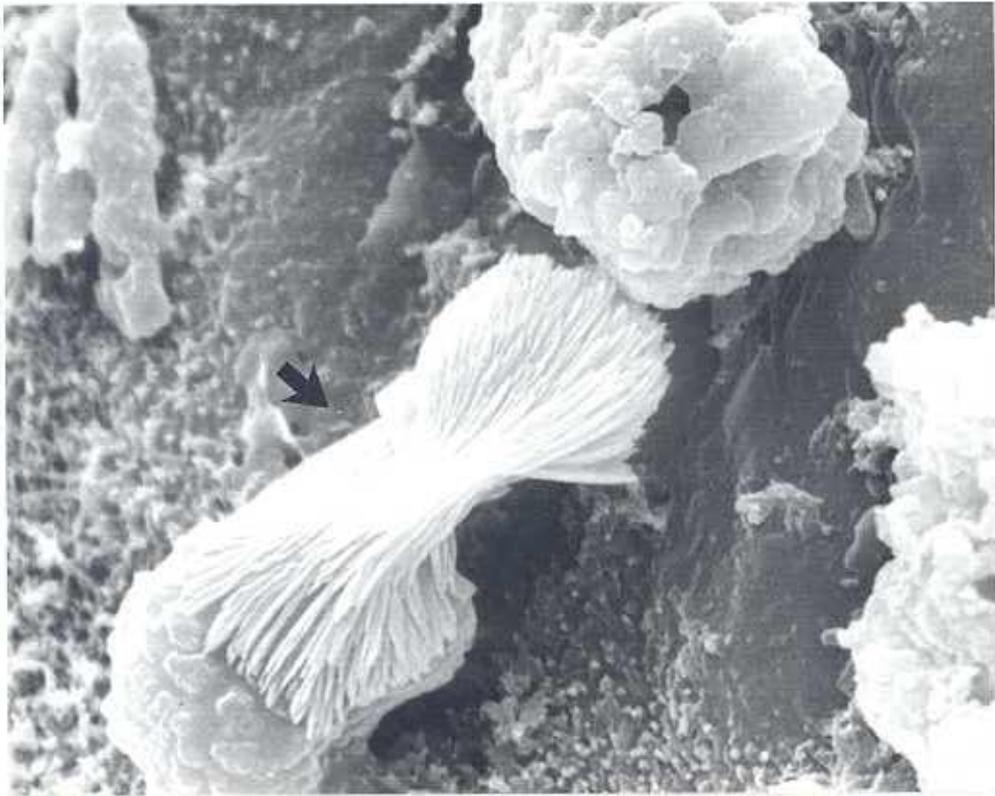


Abb. 2: PP, F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit organischem Material und Gipsnadeln (Pfeil). Vergrößerung: 4400fach.

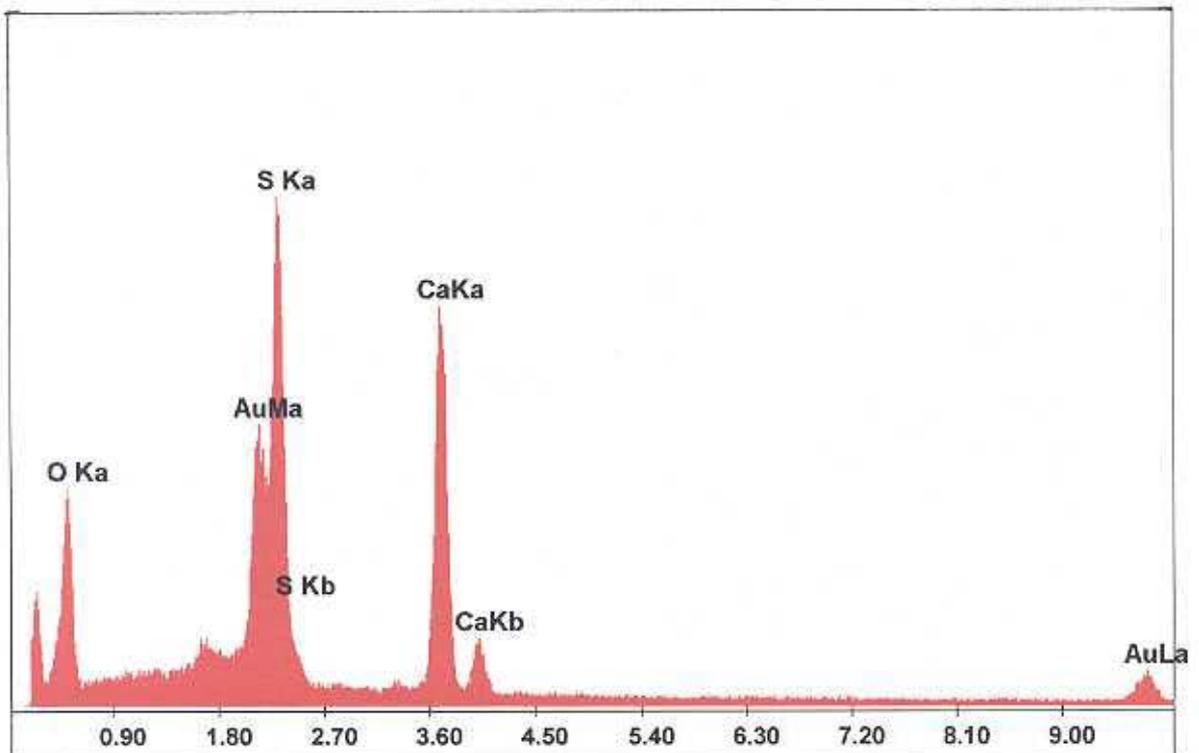


Abb. 3: PP, F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Gips, erkennbar an den charakteristischen Peaks von Schwefel (S) und Kalzium (Ca).

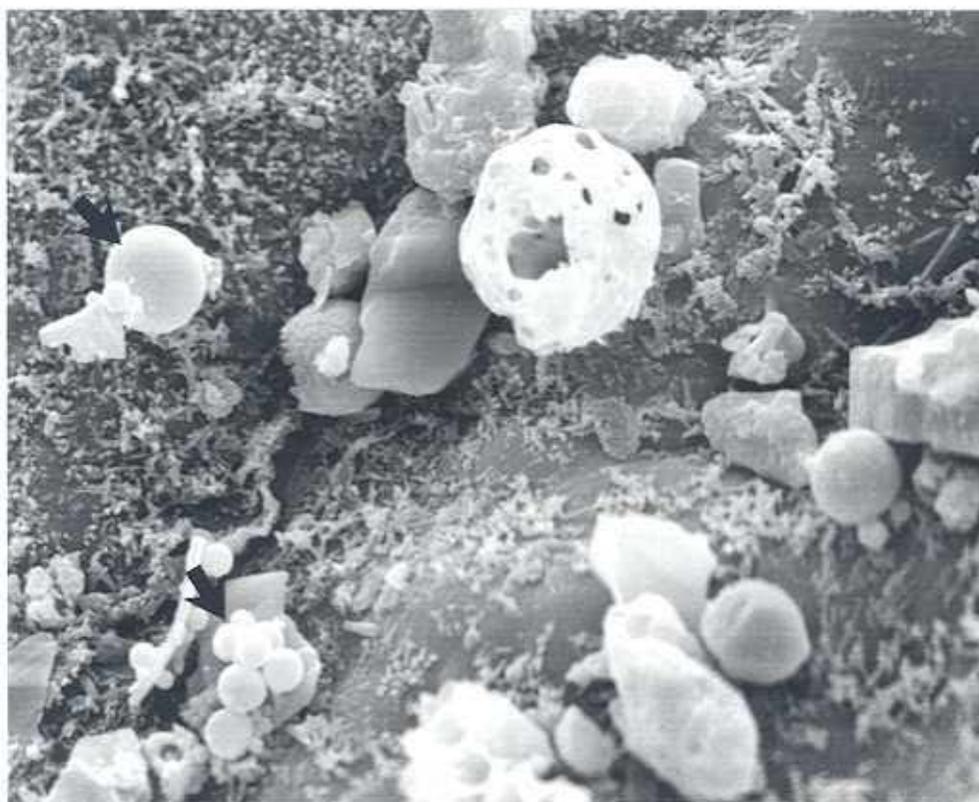


Abb. 4; PP, F 9/Frantschach, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Aluminiumsilikateilchen (Pfeile) und einem Rußpartikel. Vergrößerung: 3000fach.

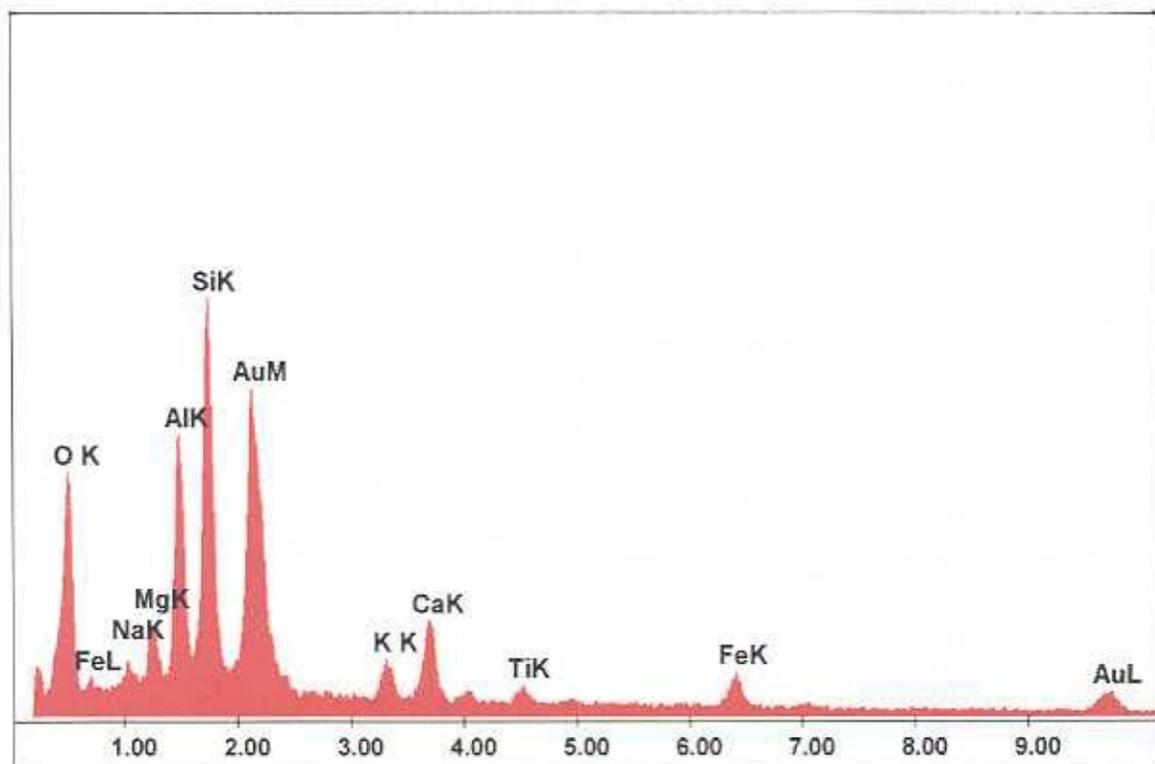
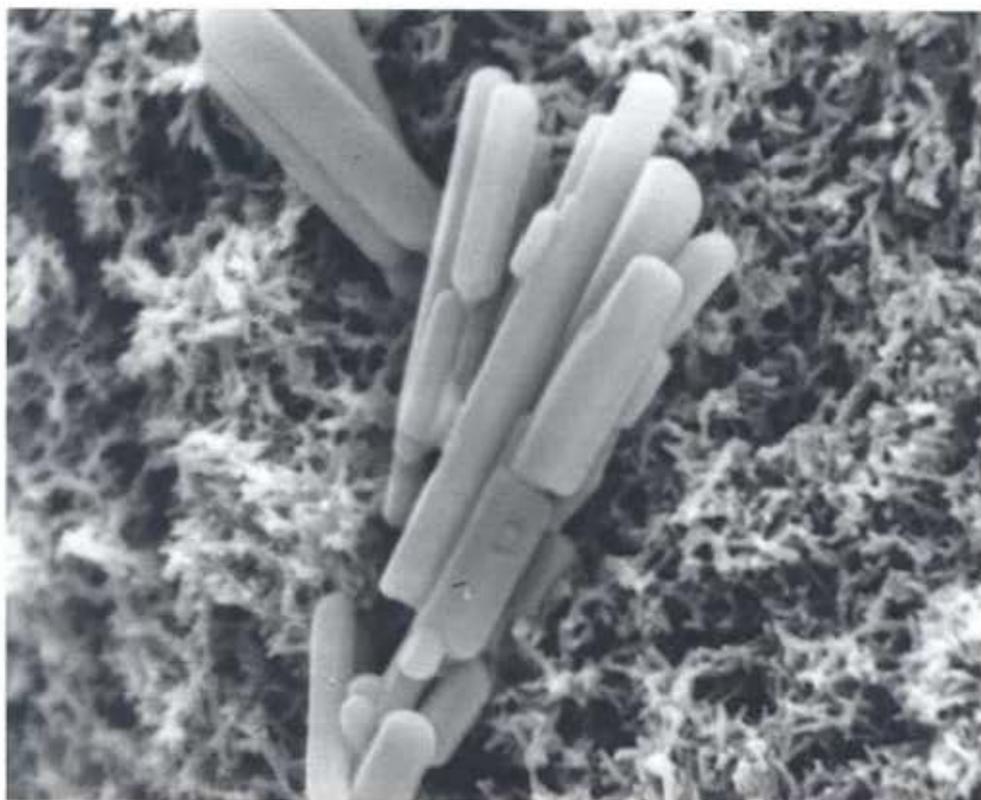


Abb. 5; PP, F 9/Frantschach, EDX-Spektrum von Aluminium (Al)- und Silizium (Si)-haltigen Flugaschepartikeln.

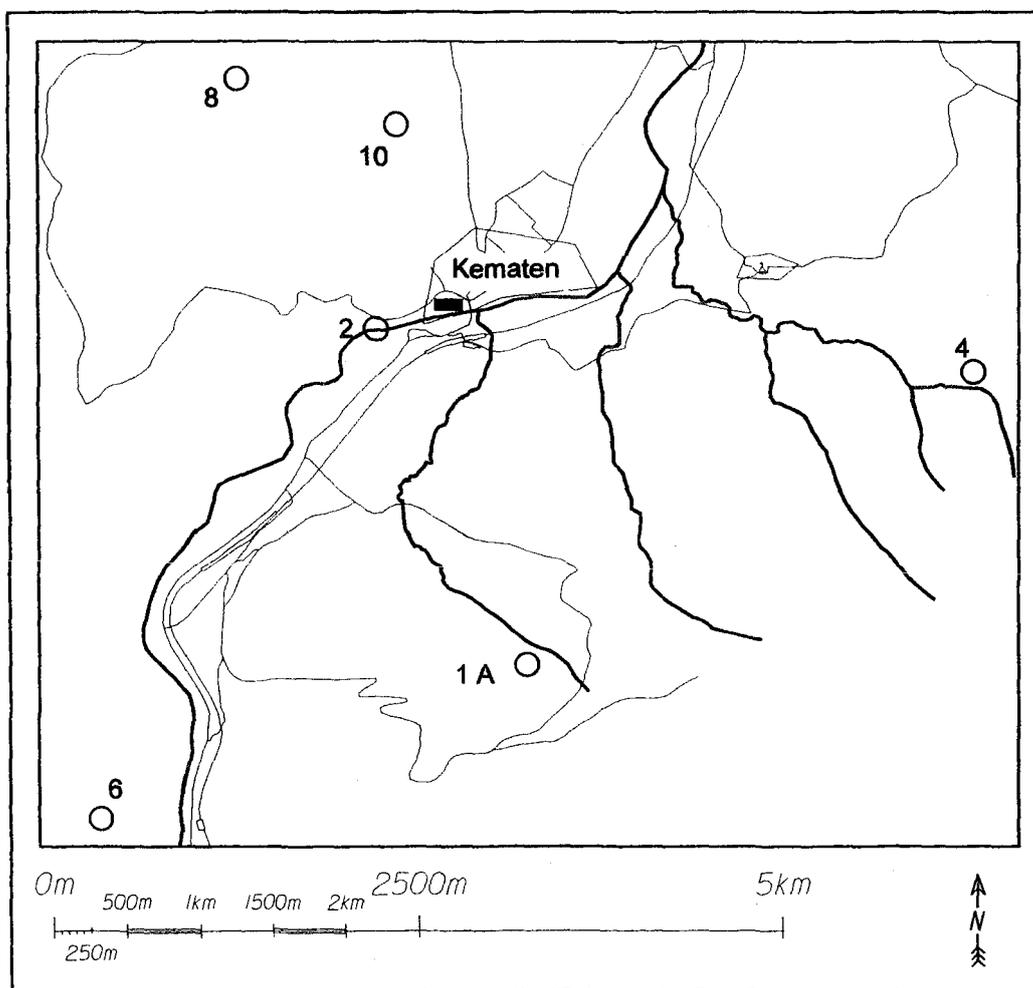


*Abb. 6: PP. WO 16/Frantschach, REM-Aufnahme von Gipskristallen auf einer Spaltöffnung. Vergrößerung: 7500fach.*

## 4.2 Kematen

### 4.2.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

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



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Kematen/Niederösterreich.

#### 4.2.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

In der Umgebung der Neusiedler Papier AG in Kematen an der Ybbs wurden Fichtennadeln von sechs Probepunkten untersucht. Die Wachsqualität der untersuchten Spaltöffnungen lag im Bereich von 2,0 und 2,9 (leicht beeinträchtigt). Die leicht beeinträchtigte Wachsqualität der Fichtennadeln der Probepunkte 4, 8 und 10 war zum Teil mechanisch bedingt (Witterungseinflüsse). Doch wurden auch immer wieder Spaltöffnungen mit apikal verschmolzenen Wachsstrukturen beobachtet, die auch auf anthropogene Umwelteinflüsse hindeuten. Abbildung 7 zeigt eine derartige Spaltöffnung von Fichtennadeln des Probepunktes 8. Die Staubbelegung war gering und lag zwischen 0% und 4%. Mit Ausnahme des Probepunktes 2 wurden auf den Nadeloberflächen der Fichtennadeln vor allem im interstomatären Bereich Gipskristalle und sphärische Flugaschepartikel mit glatter Oberflächenbeschaffenheit detektiert (Abb. 8 und 9). Die Belegung der Spaltöffnungen mit Epibionten lag im Bereich von 4% und 14%.

*Table 5: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.*

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

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

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

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

**Tabelle 7:** Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen.

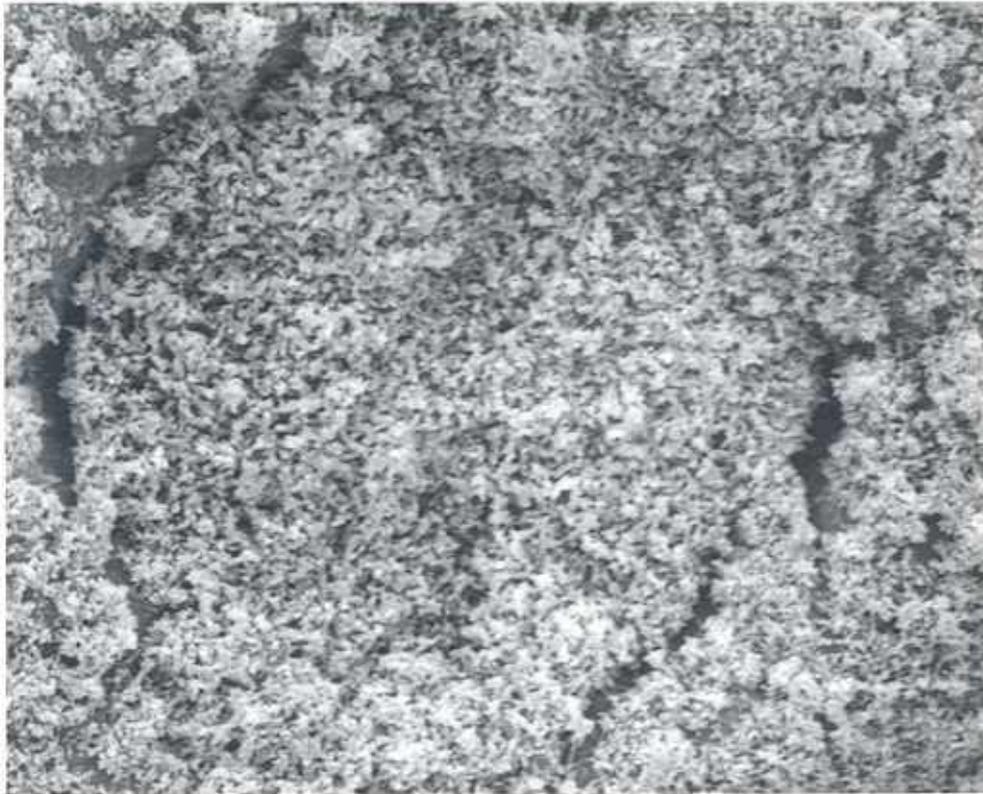
Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.

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

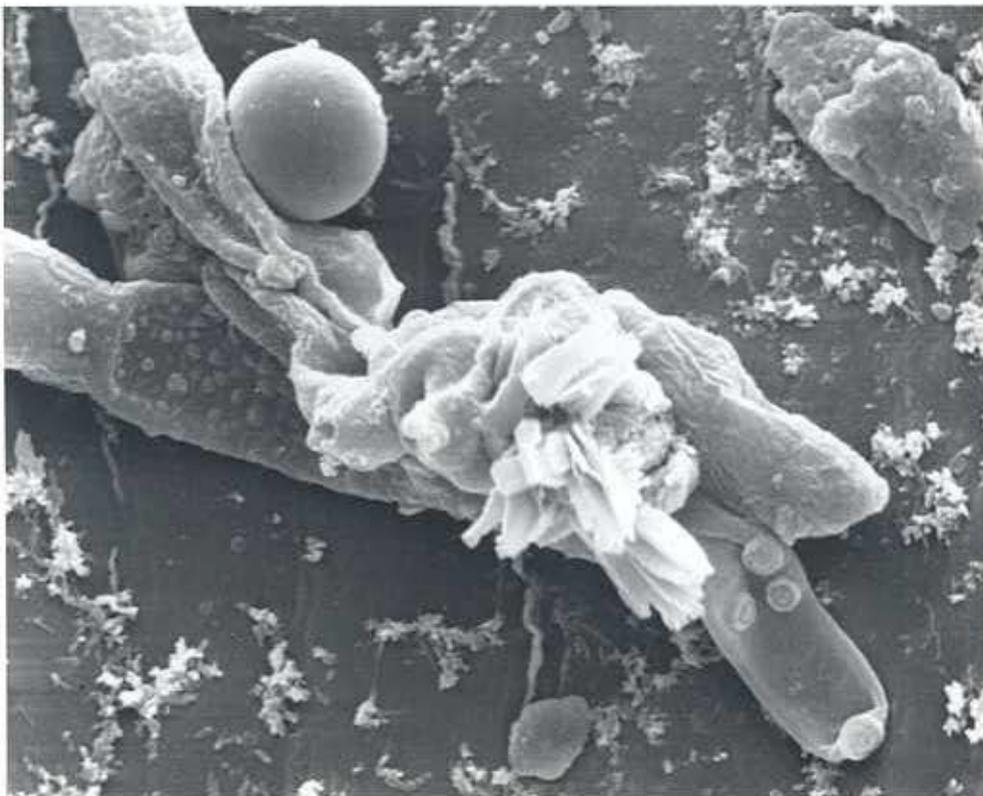
**Tabelle 8:** Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Kematen.

Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.

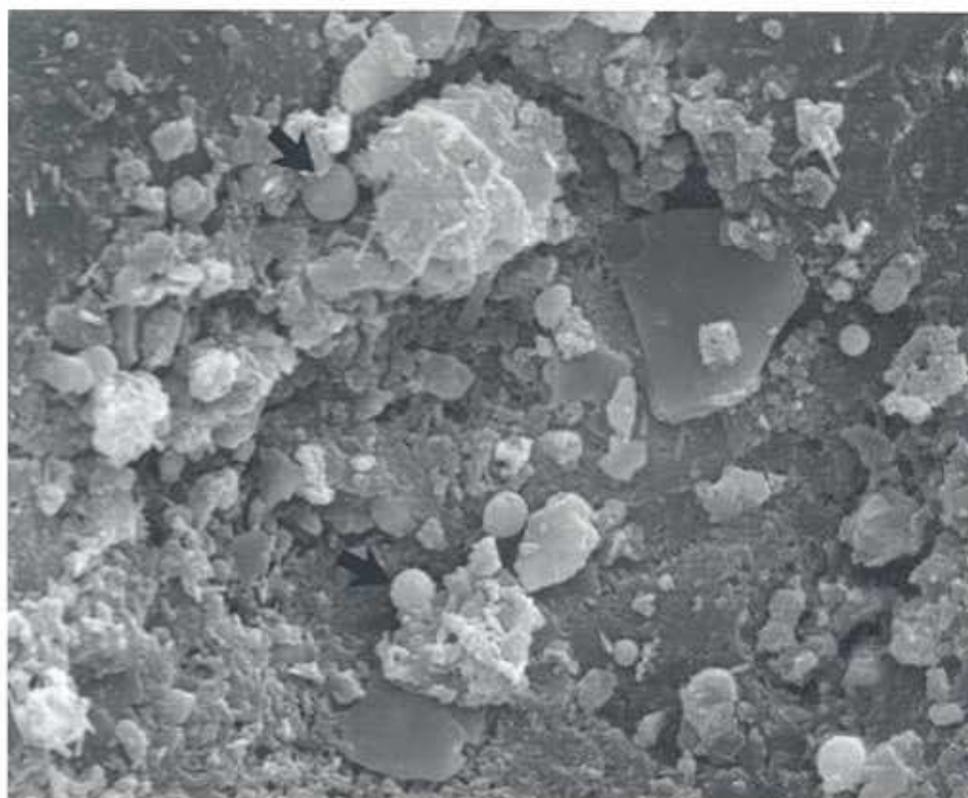
PP	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg
1A	4,3	12	170	54
2	3,6	15	17	64
4	3,6	18	835	56
6	4,7	27	674	76
8	4,0	22	1216	82
10	4,3	31	458	94



*Abb. 7: PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit leicht beeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.*



*Abb. 8: PP. 8/Kematen, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftenden Pilzhyphen, einem glatten, sphärischen Flugaschepartikel sowie kleinen Gipskristallen. Vergr.: 3000fach.*



*Abb. 9: PP. 10/Kematen, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit schlechterer Wachsqualität und Fremdstaub, der sphärische Flugaschepartikel enthält (Pfeile). Vergr.: 3000fach.*

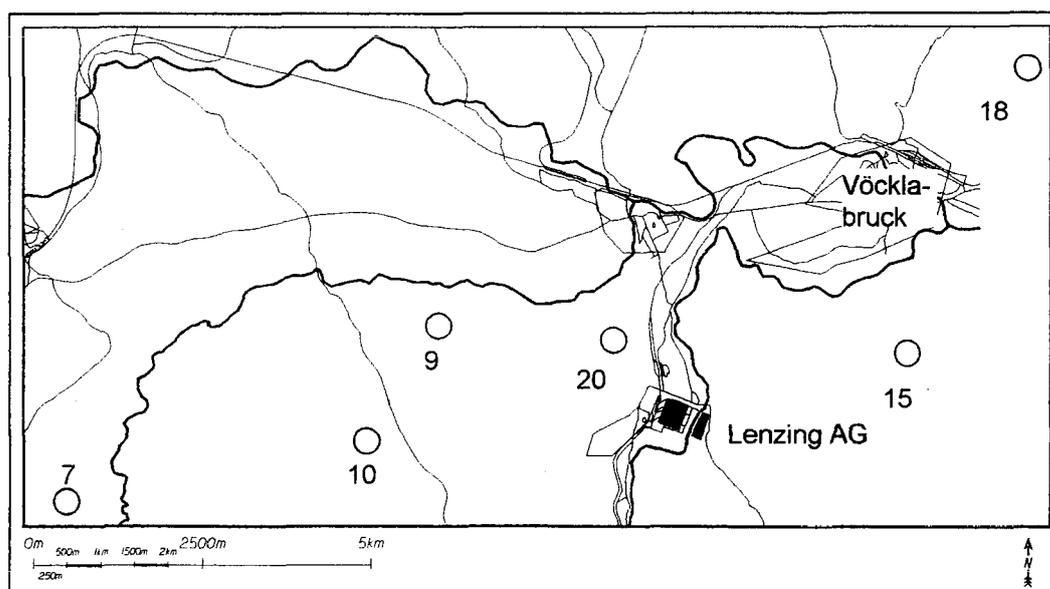
## 4.3 Lenzing

### 4.3.1 Lage und Klima

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

### 4.3.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

Die Lenzing AG wurde im Mai 1938 gegründet. Zu den derzeitigen Produktionsbereichen zählen die Zellstoffherstellung sowie die Herstellung von Viskose und Papier. Bei der Erzeugung von Viskosefasern aus Buchenkunstfaserzellsstoff werden Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff freigesetzt, welche in früheren Jahren zu erheblichen Immissionsbelastungen führten. Durch die Inbetriebnahme einer Luftreinigungsanlage im Jahre 1986 konnten die Emissionen von Schwefelkohlenstoff und Schwefelwasserstoff deutlich gesenkt werden. In den vergangenen Jahren war der Raum Lenzing auch durch teilweise hohe Immissionskonzentrationen von Schwefeldioxid gekennzeichnet. Durch emissionsmindernde Maßnahmen (SO<sub>2</sub>-Sanierungskonzept) konnte eine Verringerung des Schwefeldioxidausstoßes erzielt werden (UMWELTBUNDESAMT, 1992).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Lenzing.

### 4.3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

*Tabelle 9: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Lenzing.*

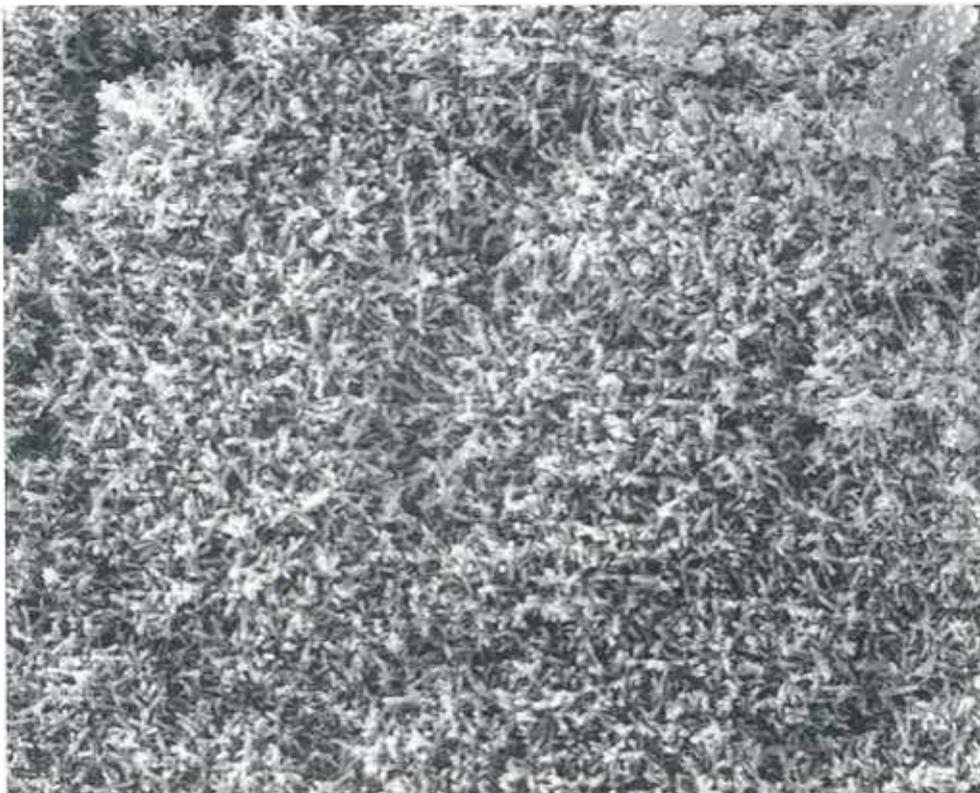
Probepunkt	Wachsqualität	Staub %	Epibionten %
Lenzing 7	2,6 ± 0,97	0	14
Lenzing 9	2,2 ± 0,90	0	19
Lenzing 10	2,2 ± 0,98	0	25
Lenzing 15	1,9 ± 0,56	0	14
Lenzing 18	1,9 ± 0,51	0	6
Lenzing 20	2,4 ± 1,04	0	28

*Tabelle 10: Schwefel- und Nährelementgehalte (GW für S im 1. Njg. 0,11%) von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

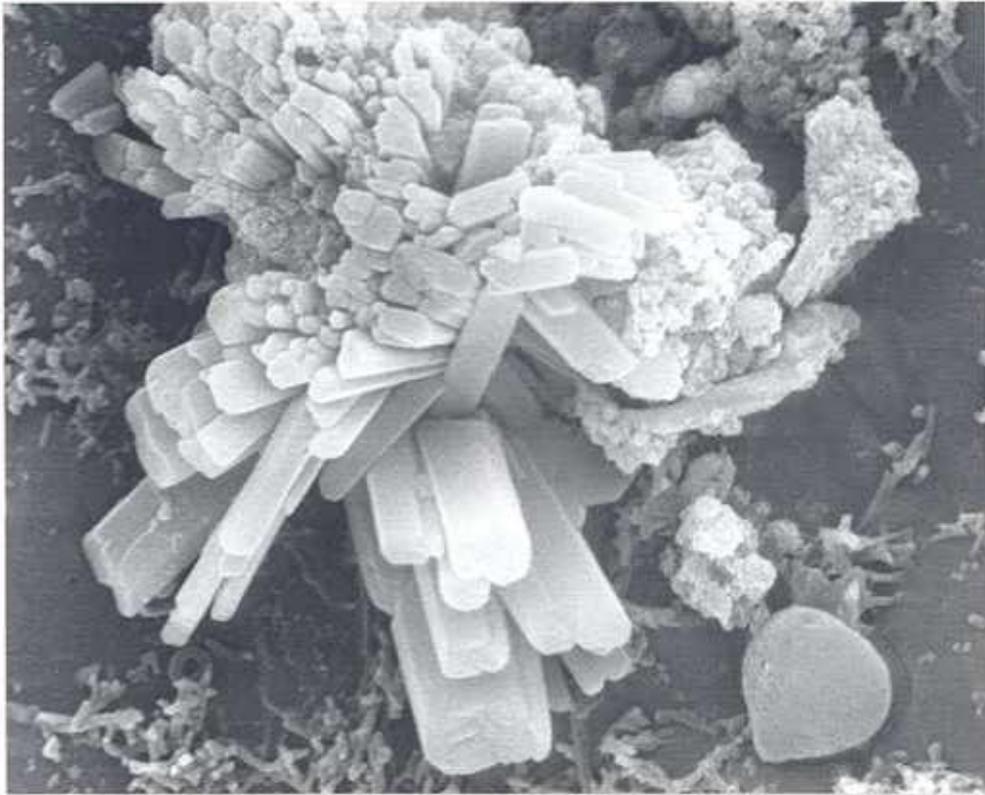
PP	S %	N <sub>Kjeldahl</sub> %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Lenzing 7	0,09	1,2	4057	4416	1216	1482
Lenzing 9	0,12	1,6	4209	6842	1073	1874
Lenzing 10	0,10	1,4	5602	5823	997	1489
Lenzing 15	0,13	1,6	2790	6948	837	1724
Lenzing 18	0,10	1,5	3696	4633	993	1601
Lenzing 20	0,12	1,7	4113	5080	1209	1851

*Tabelle 11: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Lenzing. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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



*Abb. 10: PP. 8/Lenzing, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit weitgehend unbeeinträchtigten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.*



*Abb. 11: PP. 18/Lenzing, REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche.  
Vergrößerung: 6500fach.*

## **4.4 Leoben / Donawitz**

### **4.4.1 Lage und Klima**

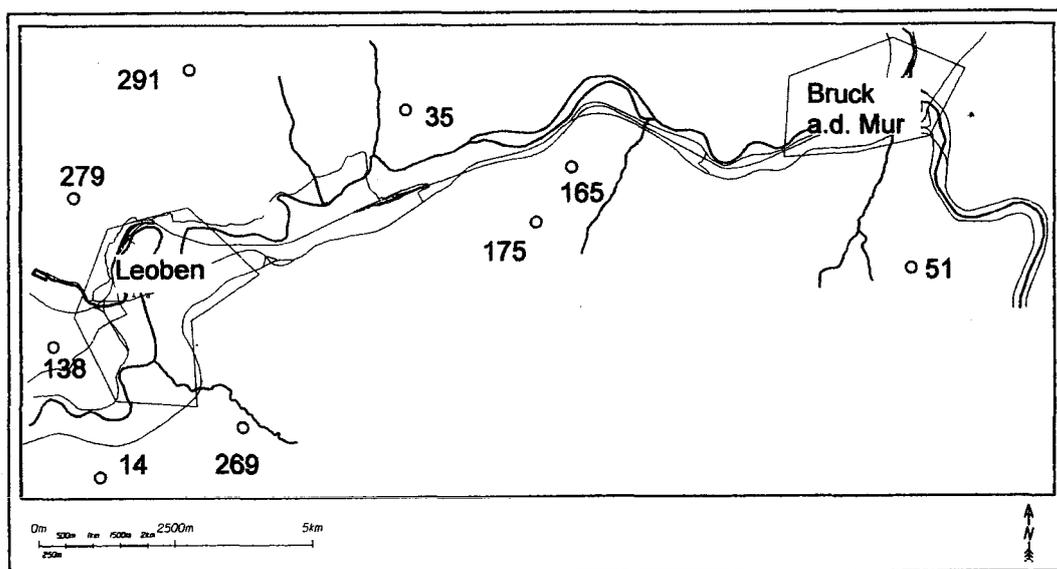
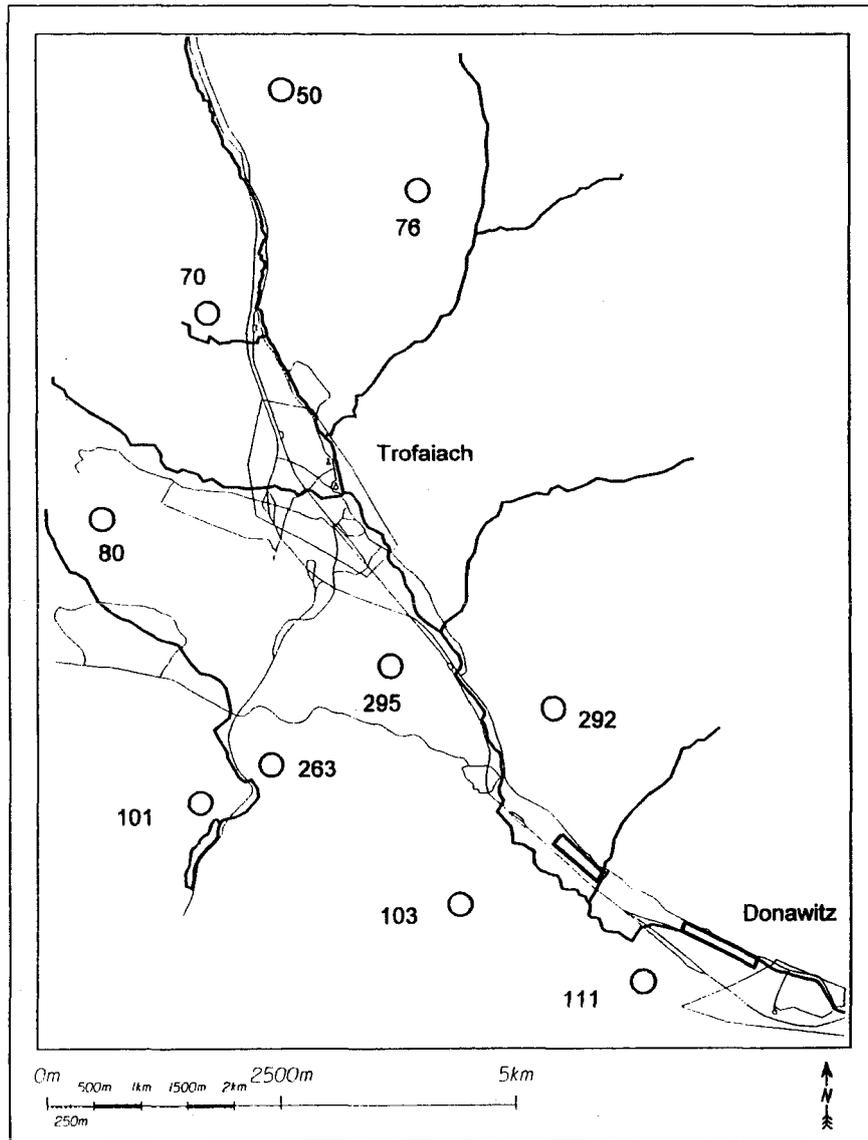
Leoben/Donawitz liegt an der Einmündung des Vordernbergbaches in die Mur. Auf einer schmal ausgebildeten Talterrasse des Vordernbergbaches befinden sich die Werksanlagen der Hütte Voest-Alpine Donawitz. Nach Westen hin wird der Raum von der Schillerhöhe (924 m) abgeschirmt. Das Nordwest-Südost orientierte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

### **4.4.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet**

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

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

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



Lageskizzen der Probestpunkte im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.

#### 4.4.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

Die Wachqualität der insgesamt 19 Probepunkte im Raum Leoben/Donawitz lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,2 (leicht beeinträchtigt). Die Staubebelegung der untersuchten Spaltöffnungen war gering und lag im Bereich von 0% und 7%. Es wurden jedoch im Staub eisenhaltige Flugaschepartikel detektiert, insbesondere auf den Nadeloberflächen der im Nahbereich des Stahlwerkes befindlichen Probepunkte VP 103, VP 111 und VP 138 (siehe Abb. 12 bis 14). Es wurden auch vereinzelt Gipskristalle beobachtet. An 8% bis 25% der untersuchten Spaltöffnungen wurden Epibionten beobachtet.

*Tabelle 12: Wachqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubebelegung, Belegung der Nadeln mit Epibionten, Gipskristallen und eisenhaltigen Partikeln im Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.*

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

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

Die höchsten Schwefelwerte wurden wie bereits 1995, in den Nadeln des Probepunktes VP 111 verzeichnet. Dies war auch der einzige Standort, an dem deutlich erhöhte Fluorwerte in den Nadeln festgestellt wurden. Dieser Standort wies auch die höchsten Eisengehalte des Untersuchungsgebietes auf. Ebenso waren die Bleigehalte der Fichtennadeln an diesem Probepunkt deutlich erhöht. An 25 österreichischen Hintergrundstandorten wurden vergleichsweise dazu Bleigehalte zwischen < 0,1 und 1,6 mg/kg im 1. Nadeljahrgang von Fichten nachgewiesen (WEISS, 1998 in Druck). An fünf unbelasteten Hintergrundstandorten in Österreich wurden während der Perioden 1983-1987 bzw. 1988-1991 Mittelwerte von Bleigehalten zwischen 0,39 mg/kg und 1,16 mg/kg gemessen (HERMAN, 1994).

Die Quecksilbergehalte der Nadeln lagen an allen Probepunkten des Untersuchungsgebietes zum Teil erheblich über denjenigen Werten, die in Fichtennadeln von sieben österreichischen Waldstandorten gemessen wurden (ZVACEK, 1988). Letztere lagen für den 1. Nadeljahrgang im Bereich von 0,01 mg und 0,02 mg/kg.

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

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

**Tabelle 14:** Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Leoben/Donawitz.  
Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.

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

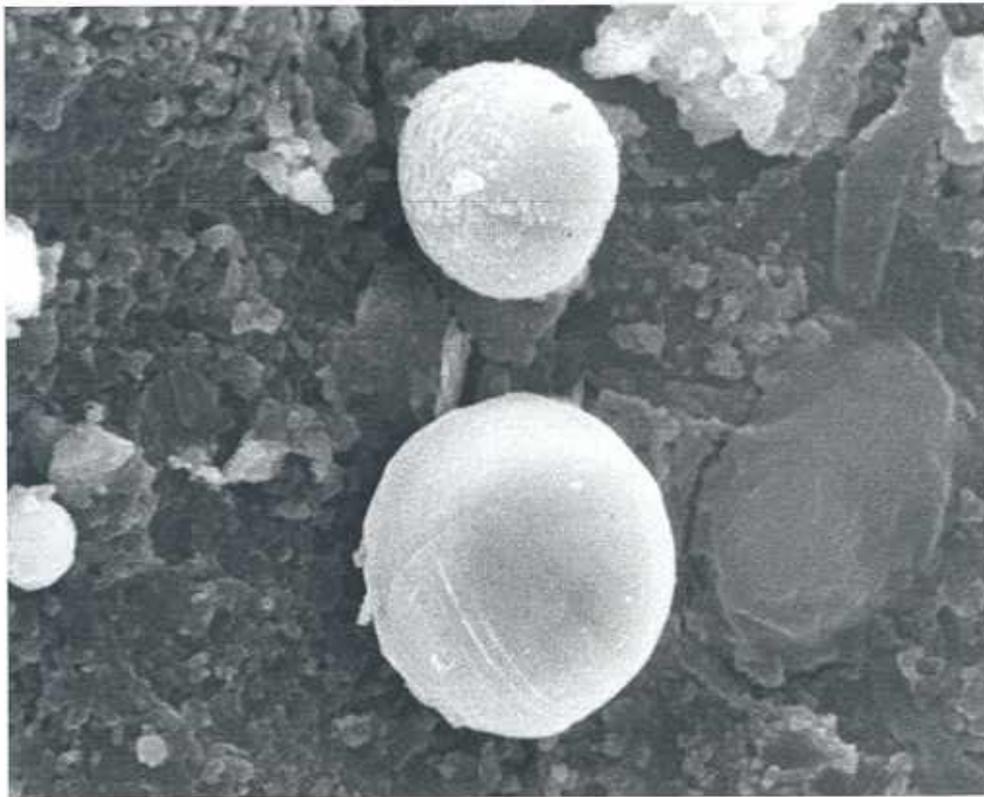


Abb. 12: PP. VP 138/Leoben, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zwei anhaftenden, eisenhaltigen Flugaschepartikeln. Vergrößerung:7250fach.

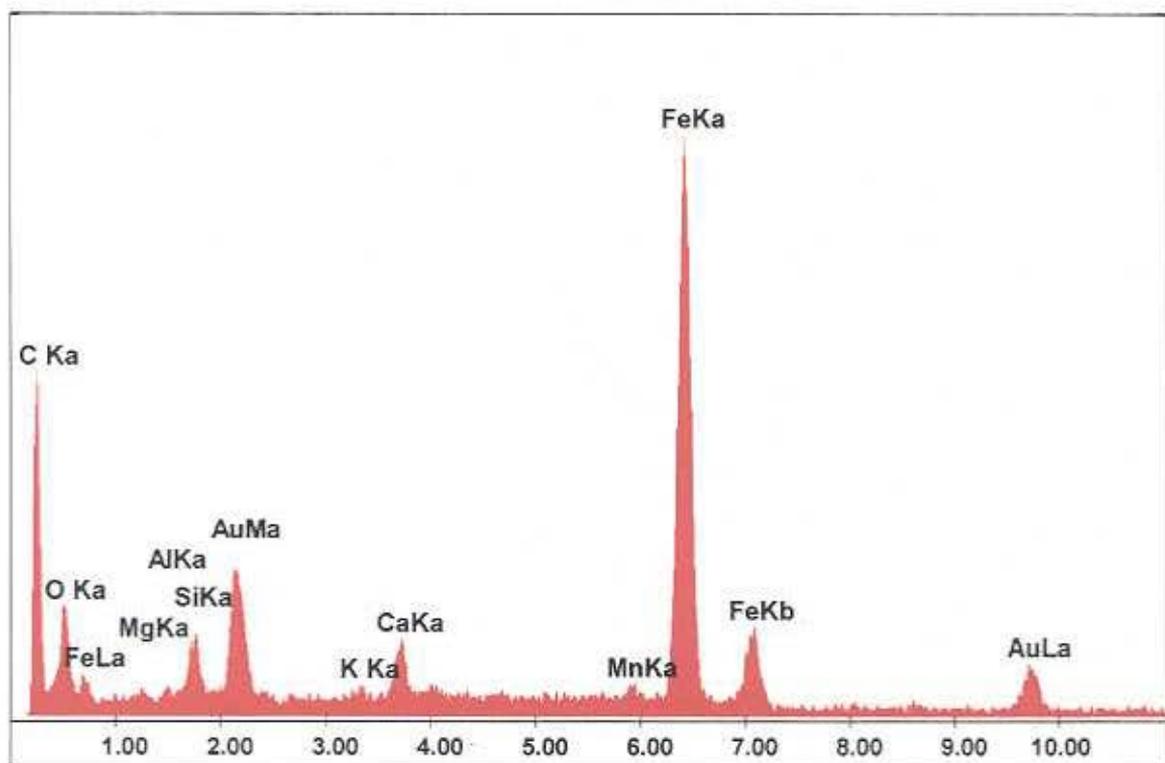
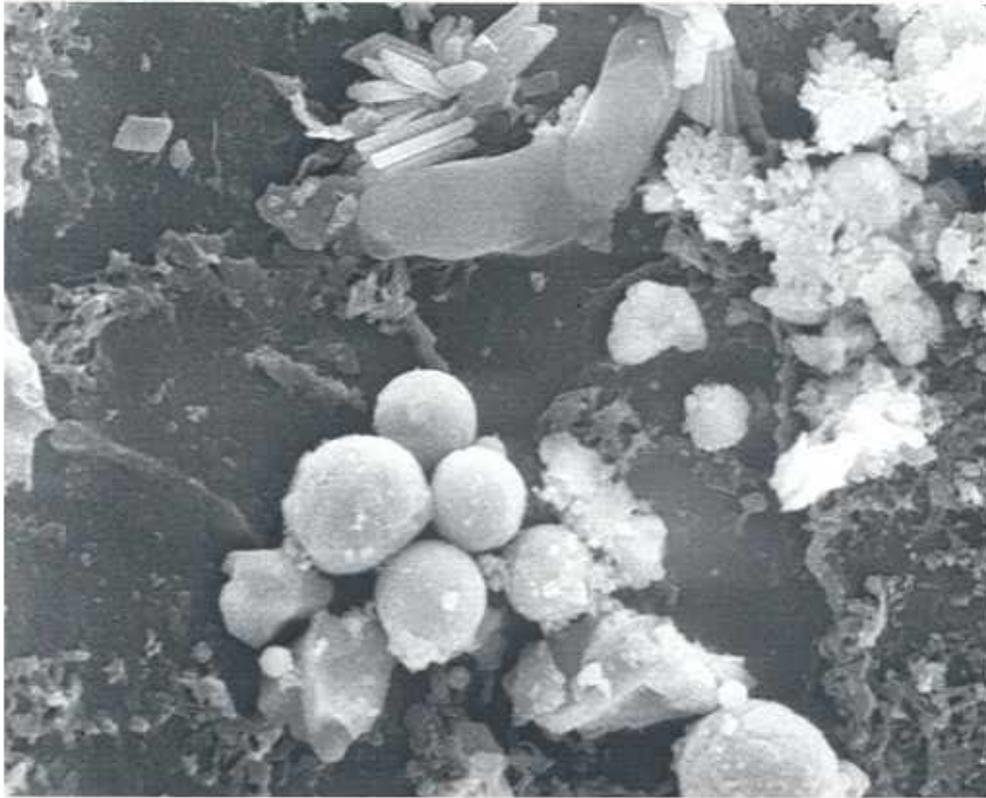


Abb. 13: PP. VP 138/Leoben, EDX-Spektrum der Fe-hältigen Flugaschepartikel in Abb. 12.



*Abb. 14: PP. VP 103/Leoben, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftenden Gipskristallen (Bildmitte oben) und sphärischen Eisenpartikeln. Vergr.: 4400fach.*

## 4.5 Treibach

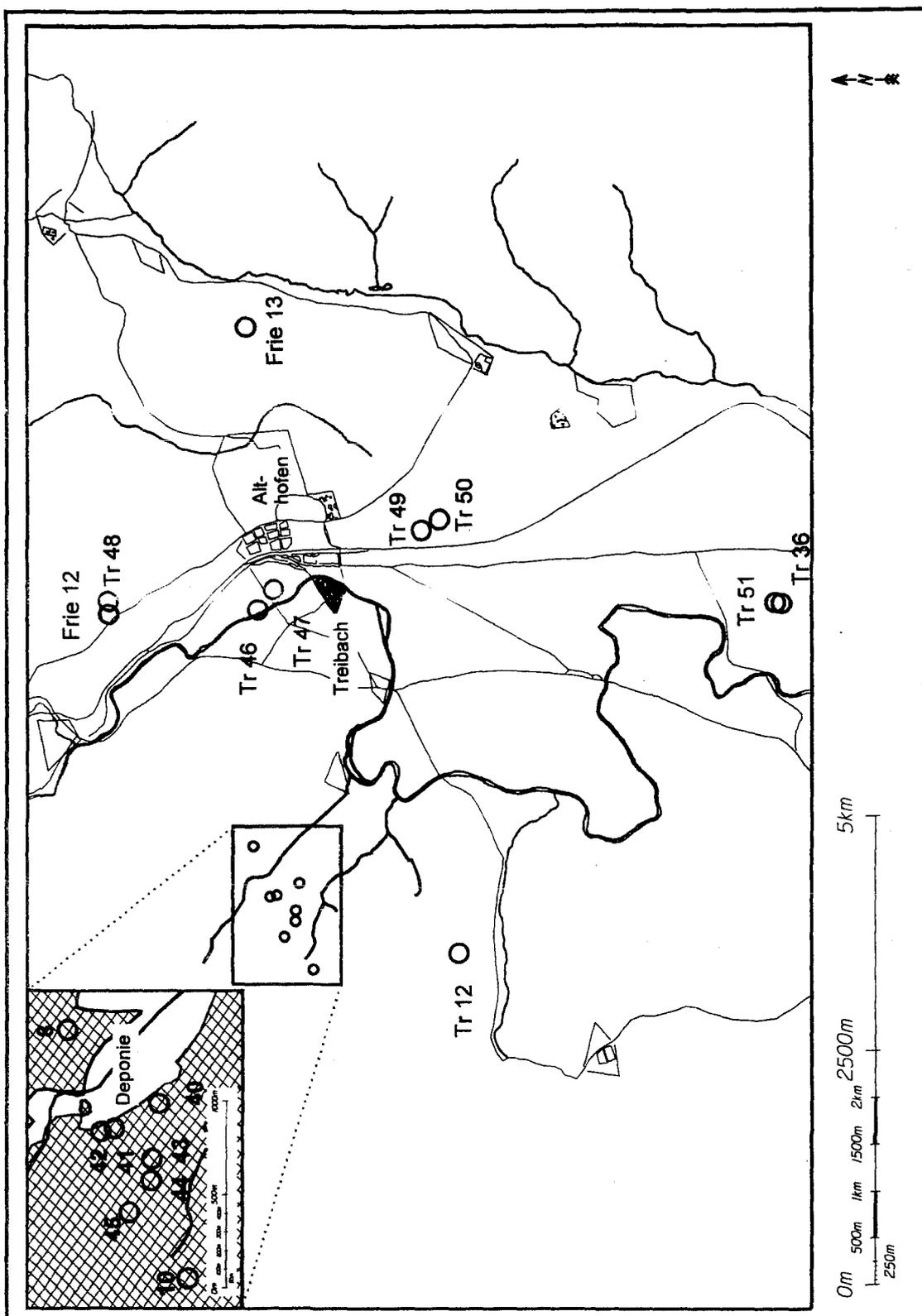
### 4.5.1 Lage und Klima

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

### 4.5.2 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

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

Die Luft in der Umgebung der TCW war vor allem durch Staubemissionen mit hohem Schwermetallgehalt (insbesondere Nickel und Vanadium) aber auch durch Chlor- und Fluoremmissionen belastet. In den werksnahen Staubbiederschlägen wurden hohe Konzentrationen an Nickel, Molybdän, Vanadium, Chrom und Kobalt gefunden (VOGEL ET AL., 1991). Die Bodenbelastung lag in Werksnähe bei den Elementen Nickel, Vanadium und Molybdän deutlich über den zur Orientierung herangezogenen Grenzkonzentrationen. In Pflanzen aus der näheren Werksumgebung wurden vor allem hohe Nickelkonzentrationen gefunden (insbesondere in Pilzen). Um die zurückliegenden Emissionen in gesundheitlicher Hinsicht abzuklären, wurde von 1988 bis 1990 ein umfassendes Meßprogramm durchgeführt. Die Emissions- und Immissionssituation wurde in der 1992 veröffentlichten „Lufthygienischen Schwerpunktstudie Treibach-Althofen“ dargestellt (KOFLER ET AL., 1992). Durch emissionsmindernde Maßnahmen bzw. die Stilllegung von Anlagenteilen konnten die Staub- und Chloremissionen in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden. Lag etwa die Gesamtstaubfracht des Werkes im Jahr 1987 bei 75 Tonnen, wurden im Jahr 1996 nur mehr rund 9 Tonnen emittiert (Quelle: Emissionserklärung 1996 - Werk Treibach). Die Emissionen von Chlor ( $\text{Cl}_2$ ) wurden von rund 3 Tonnen im Jahr 1987 auf 165 kg im Jahr 1996 reduziert (Quelle: Emissionserklärung 1996 - Werk Treibach).



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

### 4.5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

Die Wachqualität der insgesamt 18 Probepunkte lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt). In Abb. 15 ist eine Spaltöffnung des Punktes Tr 44 mit intakten Stomatawachsen dargestellt. Mit Ausnahme der im Nahbereich der Deponie gelegenen Probepunkte war die Staubbelegung der untersuchten Spaltöffnungen sehr gering. Die Belegung der Nadeln mit pflanzlichen und tierischen Mikroorganismen (Epibionten) lag im Bereich von 3% bis 30%.

*Tabelle 15: Wachqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Treibach.*

Probepunkt	Wachqualität	Staub %	Epibionten %
Frie 12	1,8 ± 0,53	0	17
Frie 13	2,0 ± 0,43	0	10
Tr 8	1,9 ± 0,60	3	19
Tr 10	2,0 ± 0,69	1	3
Tr 12	1,8 ± 0,63	4	18
Tr 36	2,0 ± 0,68	1	17
Tr 40	1,9 ± 0,70	8	17
Tr 41	2,0 ± 0,70	6	24
Tr 42	2,3 ± 0,99	40	30
Tr 43	1,8 ± 0,76	8	6
Tr 44	1,7 ± 0,44	0	3
Tr 45	2,0 ± 0,41	0	7
Tr 46	1,8 ± 0,50	0	29
Tr 47	1,9 ± 0,48	0	17
Tr 48	2,1 ± 0,83	1	25
Tr 49	2,1 ± 0,63	1	22
Tr 50	2,2 ± 0,93	7	14
Tr 51	1,7 ± 0,46	0	10

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

*Tabelle 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 Treibach.  
Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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

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

Die Nadeln der beiden Probepunkte Tr 46 und Tr 47, die sich in unmittelbarer Nähe des Werksgeländes befinden, wiesen die höchsten Nickelkonzentrationen der untersuchten Nadelproben auf. Die Gehalte an Nickel lagen geringfügig über dem Bereich von 0,1 bis 13,6 mg/kg von Fichten österreichischer Hintergrund-Waldstandorte (ZVACEK, 1988). An 25 österreichischen Hintergrundstandorten wurden für den 1. Nadeljahrgang Nickelgehalte zwischen 0,3 und 15,3 mg/kg bestimmt (WEISS, 1998, in Druck). Die höchsten Molybdänwerte wurden ebenso in Nadeln des Probepunktes Tr 47 gemessen. Die Molybdängehalte in Fichtennadeln des obersten Quirls liegen üblicherweise zwischen 0,04 und 0,2 mg/kg (vgl. BERGMANN, 1993). Dieser Wertebereich wurde an allen Probepunkten überschritten. Die

höchsten Vanadiumkonzentrationen wurden in Fichtennadeln des Probepunktes Tr 42 gemessen. Eine Schweizer Untersuchung an Fichten von 47 Standorten in Winterthur ergab für gewaschene Nadeln Vanadiumwerte von 0,04 bis 0,113 ppm (WYTTENBACH ET AL., 1991).

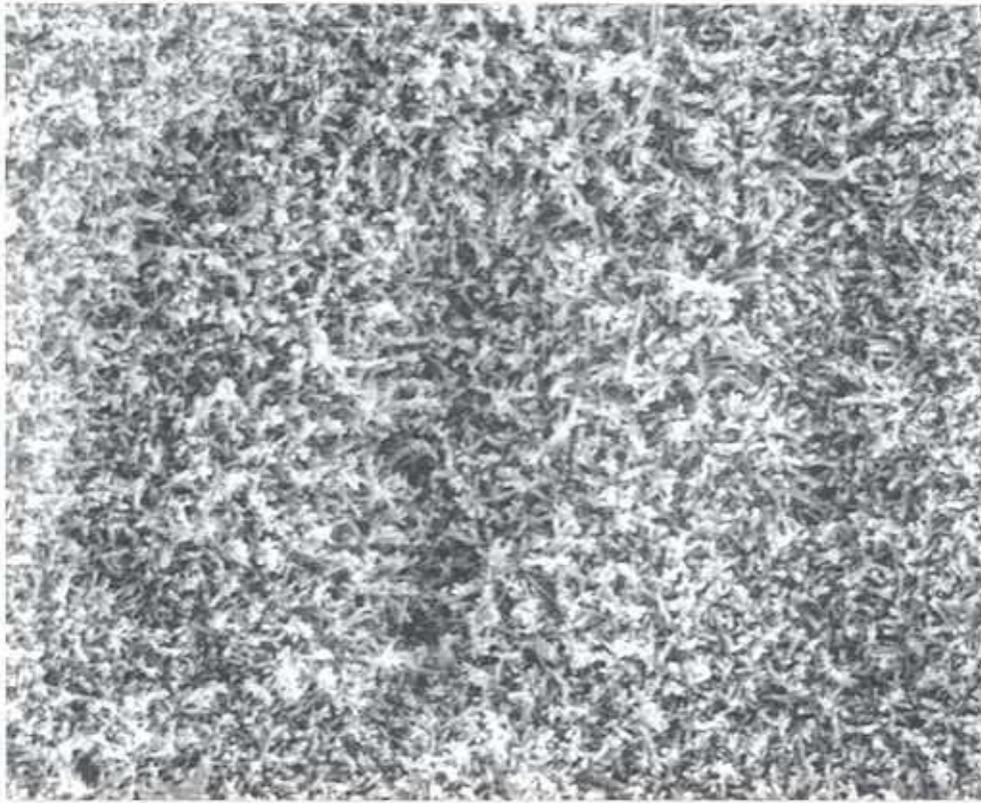
*Tabelle 17: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Treibach. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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

#### 4.5.3.1 Deponie St. Kosmas

Die Wachsqualität der Fichtennadeln lag im Bereich von 1,7 (unbeeinträchtigt) bis 2,3 (leicht beeinträchtigt), wobei der höchste Wert, d. h. die schlechteste Wachsqualität für Nadeln des unmittelbar an die Deponiefläche angrenzenden Probepunktes Tr 42 ermittelt wurde. Darüberhinaus wiesen die Nadeln dieses Standortes massivste Staubebelegung (40% !) auf, so daß 3% der untersuchten Spaltöffnungen nicht bewertet werden konnten und daher mit Sonderklasse 6 klassifiziert wurden (Abb. 16-18). In der Staubaufgabe wurden die Elemente Sauerstoff, Natrium, Magnesium, Aluminium, Silizium, Kalzium, Titan, Vanadium, Chrom, Mangan und Eisen sowie Spuren von Chlor und Kalium detektiert (Abb. 18). Auch die weiteren, im Nahbereich der Deponie gelegenen Standorte Tr 40 und Tr 41 sowie der Standort Tr 43 waren, wenn auch in geringerem Maß, durch Fremdstaub kontaminiert.

Sowohl die Chrom-, Molybdän- als auch die Vanadiumkonzentrationen der Fichtennadeln lagen vor allem an den drei Standorten Tr 41, Tr 42 und Tr 43 zum Teil erheblich über dem üblicherweise feststellbaren Hintergrundkonzentrationen. Die Nickelgehalte der Nadeln waren dagegen unauffällig (Tab. 17).



*Abb. 15: PP, Tr 44/Treibach, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.*



*Abb. 16: PP, Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit anhaftendem Fremdstaub. Vergrößerung: 300fach.*

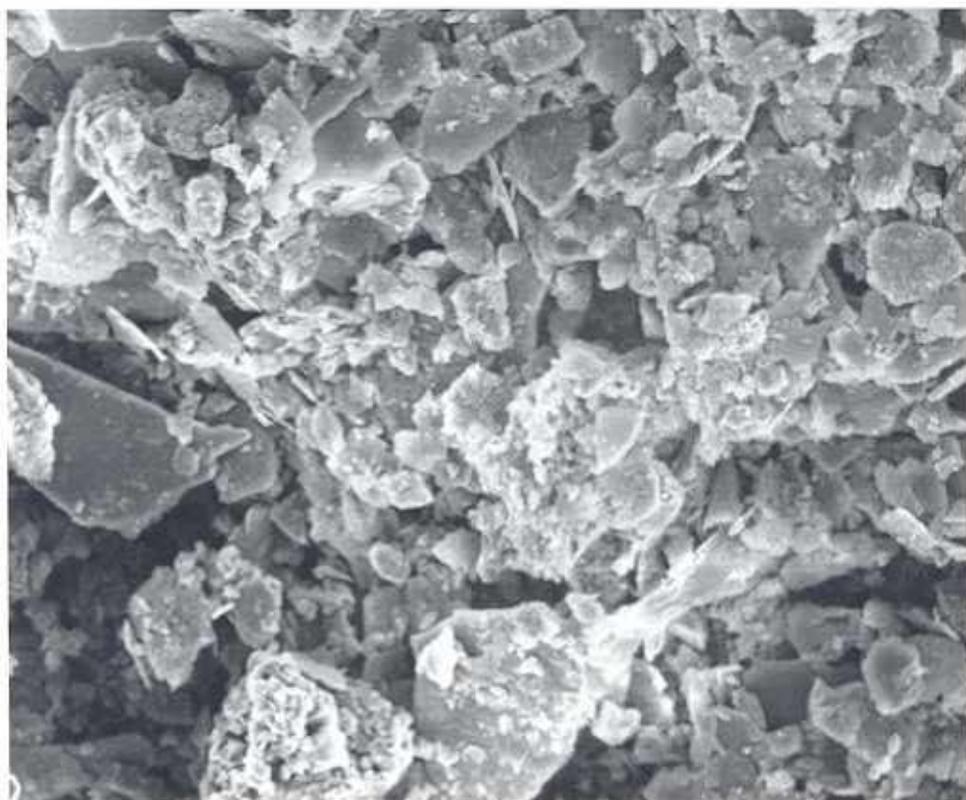


Abb. 17: PP. Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, REM-Aufnahme von Staub, Detail, Vergrößerung: 700fach.

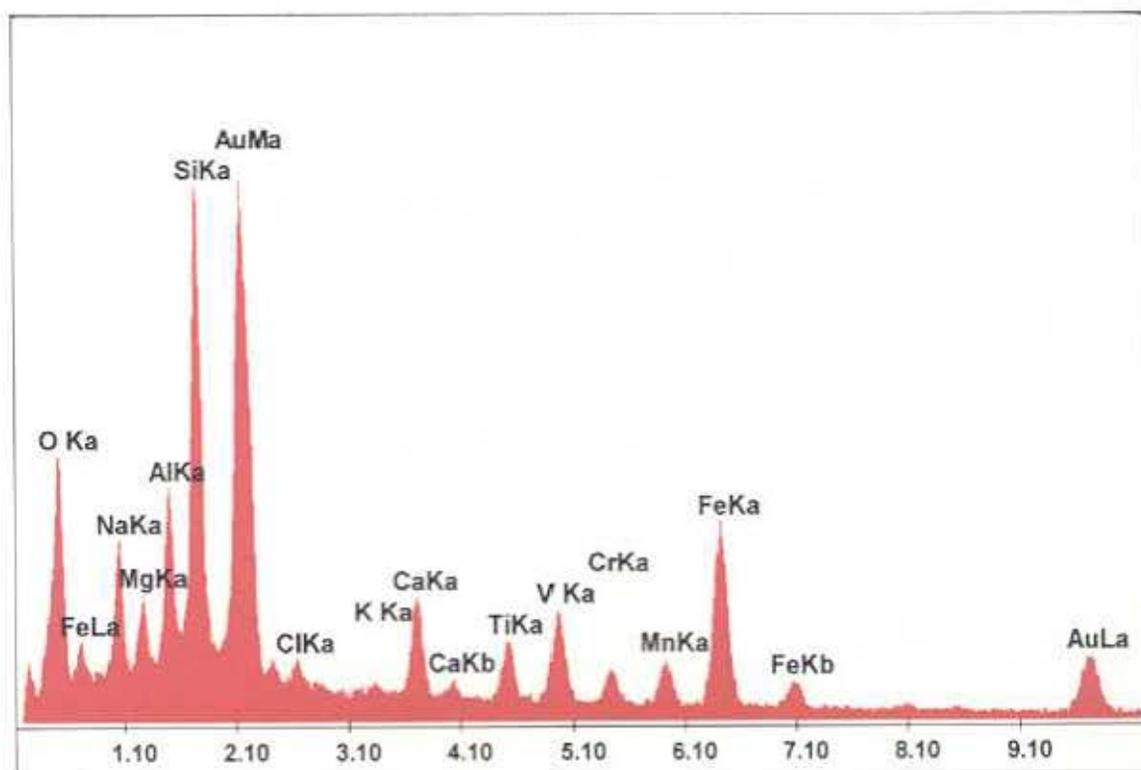


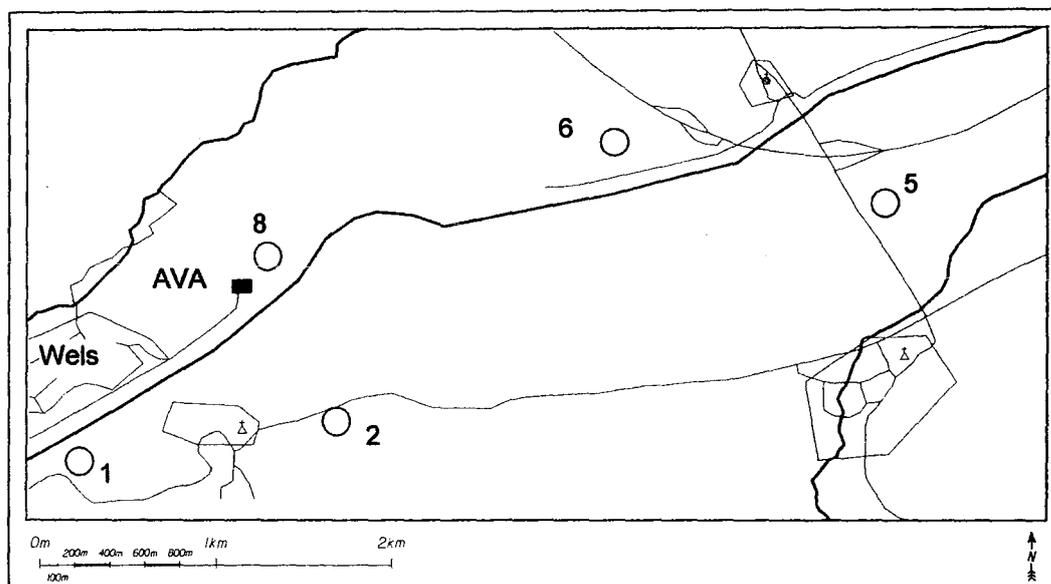
Abb. 18: PP. Tr 42/Treibach-Deponie St. Kosmas, EDX-Spektrum der Staubaufflage.

## 4.6 Wels

### 4.6.1 Umweltrelevante Angaben zum Untersuchungsgebiet

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

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



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wels.

#### 4.6.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

*Tab. 18 : Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wels.*

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

Der höchste Wert, d.h. die stärksten Wachsdegradationen wurden für Nadeln des im Nahbereich der Abfallverbrennungsanlage befindlichen Probepunktes W 8 ermittelt. 1% der Spaltöffnungen konnte aufgrund einer massiven Staubbelegung nicht beurteilt werden und mußte daher Sonderklasse 6 zugeteilt werden. In der Staubaufgabe wurden regelmäßig glatte, sphärische, Si-hältige Flugaschepartikel mit einem Durchmesser  $\leq 5 \mu\text{m}$  sowie großflächige Ansammlungen von Gipskristallen detektiert (Abb. 19). Aufgrund der Morphologie der Kristalle und der großflächigeren Dimensionierung könnte es sich hierbei um luftverfrachteten oder angewehten, giphaltigen Staub handeln. Auf den Nadeloberflächen der beiden Probepunkte W 5 und W 6 fanden sich ebenfalls häufig Gipsnadeln. Vereinzelt sphärische Flugaschepartikel mit einer glatten Oberflächenbeschaffenheit wurden auf Nadeln des Probepunktes W 1 und W 5 beobachtet (Abb. 20).

*Tabelle 19: Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln. 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig*

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

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

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

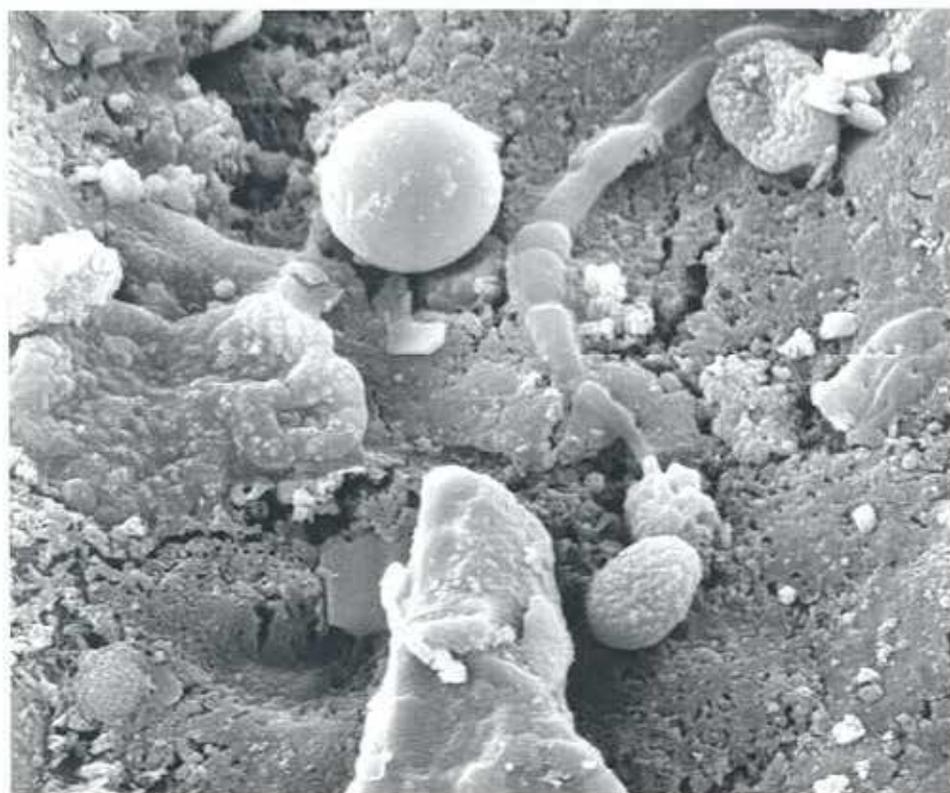
PP	Cl %	S %	N <sub>Kjeldahl</sub> %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
Wels 1	0,09	0,11	1,5	7529	5268	1440	1553
Wels 2	0,12	0,11	1,4	6283	7023	1171	1215
Wels 5	0,09	0,10	1,3	5003	5370	1267	1336
Wels 6	0,09	0,12	1,4	11130	5175	1374	2006
Wels 8	0,09	0,10	1,3	5109	8295	1051	1593

*Tab. 21: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wels. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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



*Abb. 19: PP. W 8/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Gipskristallen. Vergrößerung: 4400fach.*



*Abb. 20: PP. W 5/Wels, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit anhaftenden Pilzhyphe und einem sphärischen Flugaschepartikel. Vergrößerung: 3000fach.*

## 4.7 Wietersdorf

### 4.7.1 Lage und Klima

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

### 4.7.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort

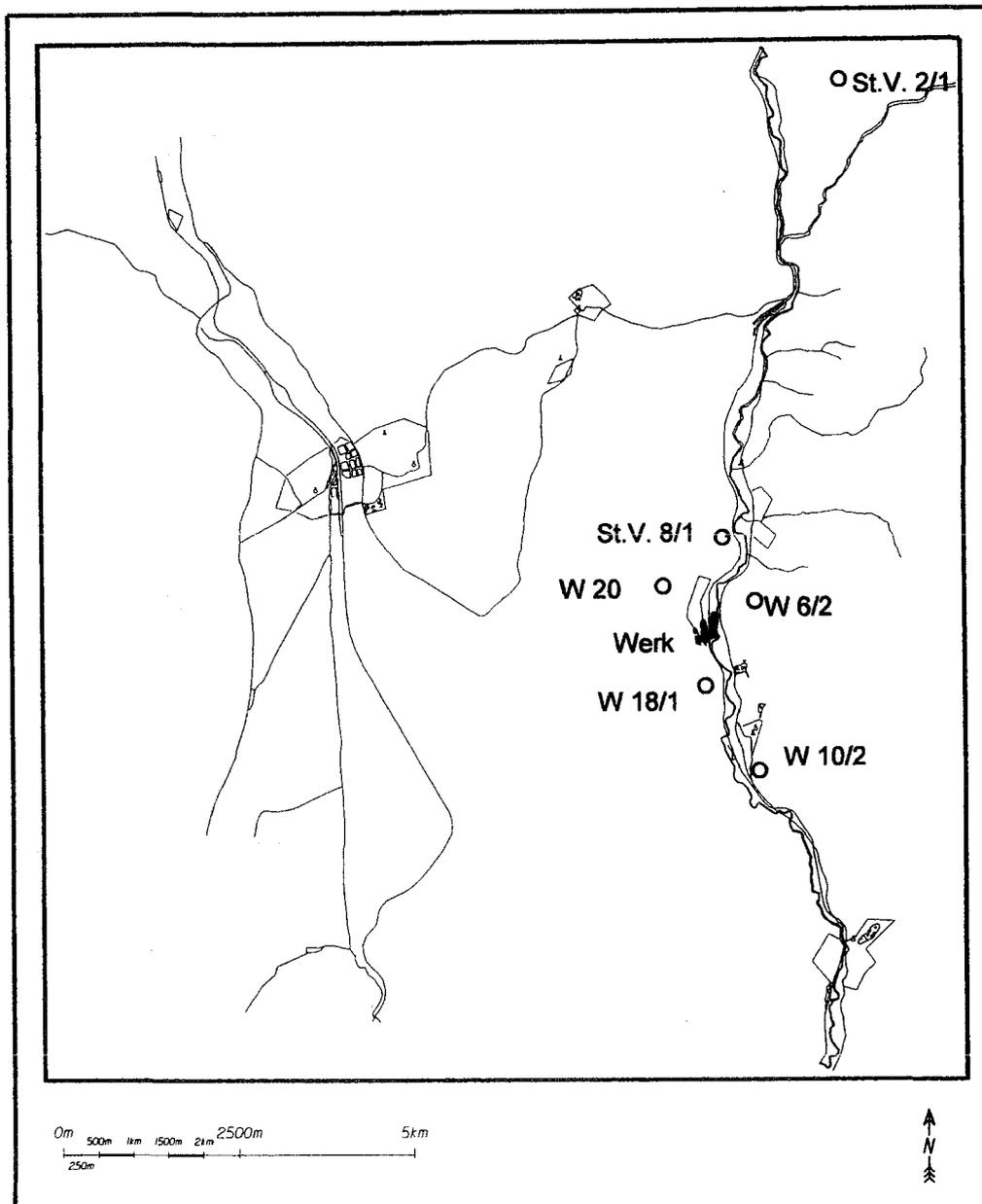
Die Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke produzieren jährlich ca. 200.000 t Zement. Im südwestlich gelegenen werkseigenen Steinbruch werden 550.000 t Rohgestein (Kalk und Ton) gewonnen. Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von Staub, Stickoxiden, Schwefelverbindungen und Kohlenmonoxid.

Im Auftrag der Kärntner Landesregierung wurde im Jahre 1986 die „Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf“ durchgeführt, um detaillierte Erkenntnisse über die Staubbelastung (besonders Schwermetalle) in diesem Gebiet zu erhalten. Allgemein können bei der Zementproduktion in den Drehrohröfen (1000 bis 1450°C) verschiedene, auch alternative Brennstoffe (Altöl, Altreifen, etc.) verwendet werden. Aus umwelthygienischer Sicht sind je nach Energieträger unterschiedliche Schwermetallemissionen zu erwarten. In der genannten Schwerpunktstudie dienten die Bestimmungen der Staubbilddruckproben zur Beurteilung der Schwermetallbelastung. Durch umfangreiche Emissionsschutzmaßnahmen seitens des Werkes konnte die Staubbelastung gesenkt werden. Es wurden für den Raum Wietersdorf nur zeitweise erhöhte Cadmium- und Zinkwerte gefunden. Die Schwermetallwerte ließen keine gesundheitliche Gefährdung bei den zum damaligen Zeitpunkt eingesetzten Brenn- und Ausgangsstoffen erwarten.

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

*Tab.22: Massenströme 93-96 absolut in t/Jahr.  
Quelle: Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH, 1997.*

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



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wietersdorf/Kärnten.

#### 4.7.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

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

**Tabelle 23:** Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.

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

Die stärksten Degradationen der Wachsstrukturen und die dichteste Staubbelegung (35 %) wurden an Nadeln des nahe der werkseigenen Bruchanlage befindlichen Probepunktes Wie 18 verzeichnet. Bereits an Nadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 wurde eine massive Staubbelegung (54%) sowie leicht beeinträchtigte Wachsstrukturen beobachtet (TRIMBACHER, 1996, TRIMBACHER & WEISS, 1997). 1% der untersuchten Spaltöffnungen konnten aufgrund einer massiven Belegung mit schlackenähnlichem Staub und unzähligen kleinen Gipsnadeln nicht beurteilt werden und mußten daher Sonderklasse 6 zugewiesen werden (Abb. 21 und 22). Die EDX-Analysen dieses Fremdstaubes ergaben als Hauptkomponente Kalzium sowie weiters Aluminium, Silizium, Schwefel, Titan, Eisen und Zink. An 17% der untersuchten Stomatawachse wurden Epibionten beobachtet. Die Nadeln dieses Probepunktes enthielten auch die höchsten Gehalte an Schwefel, Eisen und Blei.

**Tabelle 24:** Belegung der Fichtennadeln mit Gipskristallen und sphärischen Silikatpartikeln. 0...nicht gefunden, x...vereinzelt, xx...häufig, xxx...sehr häufig

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

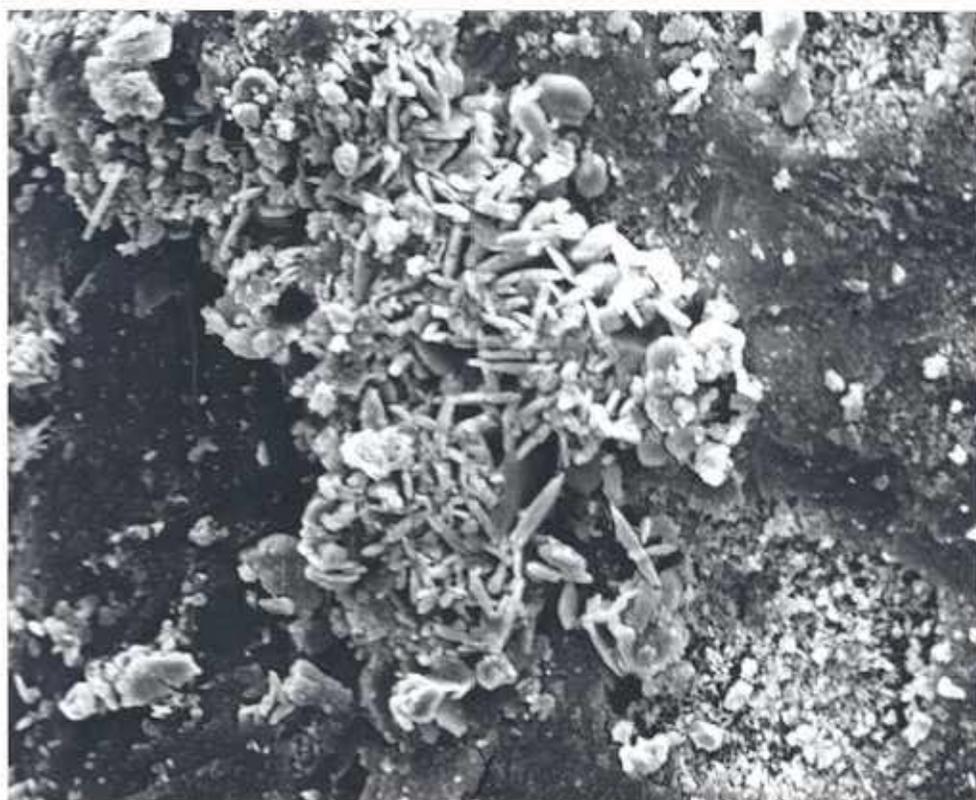
Vereinzelte Gipskristalle konnten ebenso auf den Nadeloberflächen der Probepunkte Wie 20 (nordwestlich in Werksnähe), St. V. 8 (Abb. 23) und St. V. 2 beobachtet werden. Sphärische Silikatpartikel mit einem Durchmesser von rd. 10 µm wurden an Nadeloberflächen der Probepunkte St. V. 2 und St. V. 8 detektiert.

*Tabelle 25: 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 Wiertersdorf.  
Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

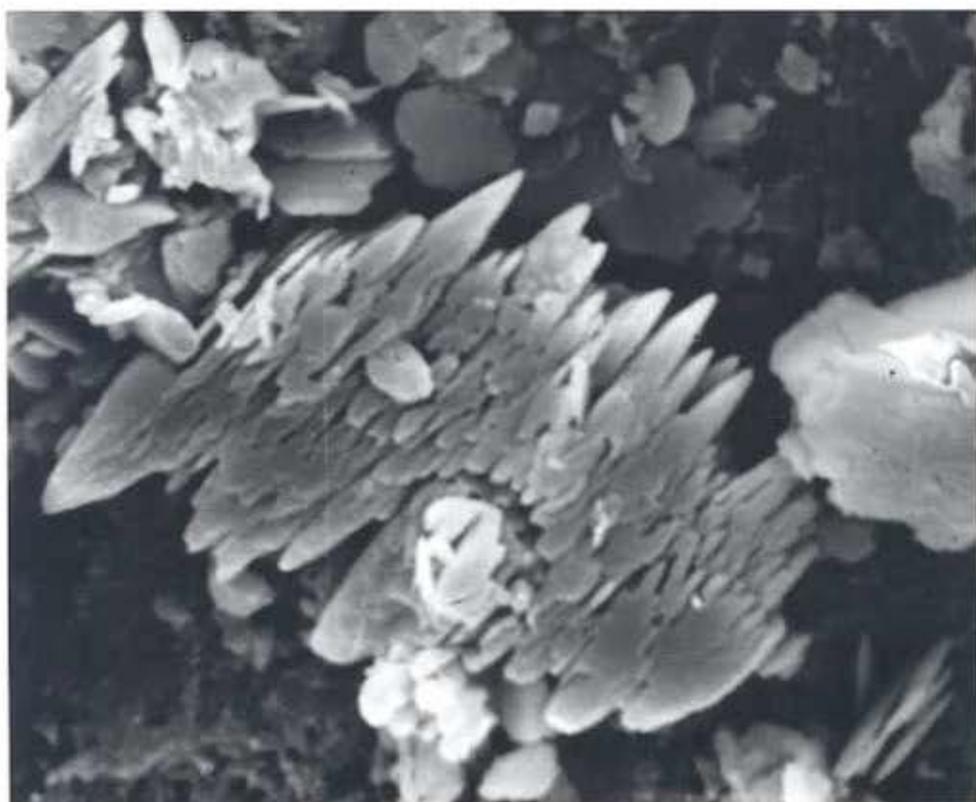
PP	Cl %	S %	N <sub>Kjeldahl</sub> %	Ca mg/kg	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg
St.V. 2	0,10	0,09	1,2	4271	5715	1215	1399
St.V. 8	0,10	0,12	1,1	6839	9259	1144	1554
Wie 6	0,09	0,13	1,5	6683	7730	1317	2570
Wie 10	< 0,08	0,13	1,4	7221	9392	1151	1547
Wie 18	0,08	0,16	1,1	6960	9704	920	1142
Wie 20	0,08	0,09	1,0	6755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

*Tabelle 26: Metallgehalte von Fichtennadeln aus dem Untersuchungsgebiet Wiertersdorf.  
Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Probe.*

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



*Abb. 21: PP. Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit massiver Belegung durch Gipskristalle. Vergrößerung: 950fach.*



*Abb. 22: PP. Wie 18/Wietersdorf, REM-Aufnahme von Gipsnadeln im Detail. Vergrößerung: 4600fach.*



*Abb. 23: PP. Wie 8/Wietersdorf, REM-Aufnahme einer Fichtennadel mit kleinen Gipskristallen.  
Vergrößerung: 3000fach.*

## 5 LITERATUR

- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG, ABT. 15 - UMWELTSCHUTZ (1994):  
Kärntner Umweltbericht 1994.
- BERGMANN, W. (1993):  
Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.
- BERMADINGER, E., GRILL, D. & GOLOB, P. (1987):  
Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse. *Phyton (Austria)* 27/1, 15-29.
- BERMADINGER-STABENTHEINER, E. (1994):  
Problems in interpreting effects of air pollutants on spruce epicuticular waxes. In: PERCY, K. E. (Hrsg.):  
*Air Pollutants and the Leaf Cuticle. NATO ASI Series, Vol. G 36.* Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 320-327.
- CROSSLEY, A. & FOWLER, D. (1986):  
The weathering of Scots pine epicuticular wax in polluted and clean air. *New Phytol.* 103, 207-218.
- DEL MONTE, M. & SABBIONI, C. (1984):  
Morphology and mineralogy of fly ash from a coal-fired power plant. *Arch. Met. Geoph. Biocl., Ser. B* 35, 93-104.
- HAFNER, L. (1986):  
Zur Feinstruktur der geschädigten Kiefernadel. *AFZ* 45, 1119-1121.
- HERMAN, F. (1994):  
Veränderungen der Bleigehalte von Fichtennadeln im Beprobungszeitraum von 1963 bis 1991. In:  
ALEF, K.; FIEDLER, H. & HUTZINGER, O. (Hrsg.): *Eco-Inforna-94, Band 5, Umweltmonitoring und Bioindikation, Umweltbundesamt Wien, 161-170.*
- HUTTUNEN, S. & LAINE, K. (1983):  
Effects of air-borne pollutants on the surface wax structure of *Pinus sylvestris* needles. *Ann. Bot. Fennici* 20, 79-86.
- KARHU, M. & HUTTUNEN, S. (1986):  
Erosion effects of air pollution on needle surfaces. *Water, Air & Soil Pollut.* 31, 417-423.
- KOFLER, W., TEUTSCH, H., KOHLMAIER, U., ASCHBAUER, J., GRITZNER, K.H., HELBIG, K.,  
KOFLER, H., LERCHER, P., WASSERMANN, G., SCHÖNEGGER, J. & SCHORAT, W.U. (1986):  
Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf, Amt der Kärntner Landesregierung.
- KOFLER, W., TEUTSCH, H., VERGEINER, I., KOFLER, H., KOHLMAIER, U., WASSERMANN, G.,  
SCHÖNEGGER, J. & HOFFMANN, G. (1992):  
Lufthygienische Schwerpunktstudie Treibach-Althofen, Amt der Kärntner Landesregierung.
- LASKUS, L., STRUNK, G., VÖGTLIN, R. & WEIHERER, G. (1981):  
Untersuchungen des Rauchgasstaubes von Kraftwerken bei nicht-isokinetischer Probenahme. *Staub-Reinhalt. Luft* 41, 248-253.
- 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.
- THANNER, G. & MOCHE, W. (1996):  
Dioxinimmissionen in Leoben/Donawitz. UBA-BE-066, Umweltbundesamt Wien.

- TRIMBACHER, C. & DITRICH, H. (1989):  
Epicuticuläre Wachsstrukturen von Fichtennadeln als Indikatoren für Langzeitimmissionsbelastungen. UBA-Report-89-039, Umweltbundesamt Wien.
- TRIMBACHER, C. (1991):  
REM-Untersuchungen an Fichtennadeln besonders exponierter Standorte. VDI-Berichte 901, 285-289.
- TRIMBACHER, C.; ECKMÜLLNER, O. & WEISS, P. (1995):  
Die Wachsqualität von Fichtennadeln österreichischer Hintergrundstandorte. Eine neue Klassifizierungsmethode zur standardisierten Beurteilung der Nadelwachse von Fichten mit dem Rasterelektronenmikroskop. Monographie Bd. 57, Umweltbundesamt Wien.
- TRIMBACHER, C. (1996):  
Fichtennadeluntersuchungen in Kärnten. Rasterelektronenmikroskopische und chemisch-analytische Ergebnisse. Zwischenbericht. UBA-BE-077, 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. Untersuchungsergebnisse 1995. M-090, Umweltbundesamt Wien.
- UMWELTBUNDESAMT (1992):  
Bericht über die Umweltsituation an ausgewählten langjährigen Industriestandorten. Bericht gemäß Entschließung des Nationalrates vom 26. Juni 1992, Umweltbundesamt Wien.
- VOGEL, W. R., KIENZL, K. & RISS, A. (1991):  
Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. Monographie Bd. 26. Umweltbundesamt Wien.
- WEISS, P. (1998):  
Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. Umweltbundesamt Wien, Monographie in Druck.
- WOHANKA, E. & STÜRZENBECHER, K. (1989):  
Forstgesetz 1975 in der Fassung der Forstgesetznovelle 1987. Verlag der Österreichischen Staatsdruckerei, Wien.
- WYTENBACH, A., TOBLER, L. & BAJO, S. (1991):  
Elementgehalte von Fichtennadeln im Raum Winterthur und deren örtliche und zeitliche Variation. In: (Stark, M. Hrsg.) Programmleitung NFP (Nationales Forschungsprogramm) Bd. 14, Luftschadstoffe im Wald 5, 75-86. Verlag der Fachvereine Zürich, Schweiz.
- ZVACEK, L. (1988):  
Mikronährstoffe und toxische Metalle an Waldstandorten. Dissertation an der Formal- und Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien.

