

**FICHTENNADELUNTERSUCHUNGEN
IN KÄRNTEN**

**Rasterelektronenmikroskopische und
chemisch – analytische Ergebnisse**

ZWISCHENBERICHT



FICHTENNADELUNTERSUCHUNGEN IN KÄRNTEN

**Rasterelektronenmikroskopische und
chemisch-analytische Ergebnisse**

ZWISCHENBERICHT

UBA-BE-077

Wien, Dezember 1996

Bundesministerium für Umwelt, Jugend
und Familie



Autor: Cristina Trimbacher

Herzlichen Dank allen Mitarbeitern des Amtes der Kärntner Landesregierung, insbesondere der Abteilung 10 F/Landesforstdirektion für die freundliche Unterstützung.

Impressum:

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

© Umweltbundesamt, Wien, Dezember 1996

Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-346-4

KURZFASSUNG

Nadelwachse sind sehr sensible Oberflächenstrukturen, die vor allem auf anthropogene Umwelteinflüsse durch Veränderungen ihrer Mikrostruktur reagieren können. Sie werden daher bereits seit längerem zur Bioindikation herangezogen.

Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 von vier Kärntner Industriestandorten wurden rasterelektronenmikroskopisch hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Nadelwachse nach dem am UBA entwickelten Klassifizierungsverfahren untersucht. Wenn Staubpartikel oder Kristalle auf den Nadeln zu finden waren, wurde deren elementare Zusammensetzung mittels energiedispersiver Röntgenmikroanalyse (EDX) bestimmt. Weiters wurden chemische Nadelanalysen von Schwefel, Chlor, Nährelementen und einigen ausgewählten Schwermetallen durchgeführt.

Brückl: In der Umgebung des Werkes der Donau Chemie bei Brückl wurden fünf Probepunkte untersucht. Die drei nord-östlich des Werksgeländes befindlichen Bäume zeigten leicht beeinträchtigte Wachsstrukturen. An einem dieser Punkte konnten zahlreiche Cl-hältige Kristalle auf den Nadeloberflächen detektiert werden. Die chemischen Nadelanalysen ergaben für einen der drei Punkte um bis zum Dreifachen des Grenzwertes erhöhte Chlorwerte sowie erhöhte Schwefelwerte. Für einen zweiten wurden um bis zum Zweifachen des Grenzwertes erhöhte Cl-Werte verzeichnet.

Radenthein: An allen fünf Probepunkten des Untersuchungsraums waren die Schwefelgehalte in den Nadeln erhöht. Davon wies der ca. 5 km nördlich des Magnesitwerks der Firma Veitsch Radex AG befindliche Probepunkt die am stärksten beeinträchtigten Wachsstrukturen auf. Weiters waren die Nadeln dieses Standortes zum Teil massiv mit Ca- und Fe-hältigem Staub überzogen. Die chemischen Analysen ergaben für diesen Punkt hohe Ca-Werte in den Nadeln.

Treibach-Althofen: An zwei von insgesamt fünf untersuchten Probepunkten konnten Beeinträchtigungen der Nadelwachse beobachtet werden. Diese waren besonders an dem südlich des Werkes befindlichen Punkt am Nordrand des Wollschartwaldes markant, da an diesen Nadeln große Bereiche mit vollständig fehlendem Spaltöffnungswachs zu finden waren. Darüberhinaus ergaben die Nadelanalysen für diesen Probepunkt deutlich erhöhte Cl-Werte. Zusätzliche Schwermetallanalysen der Elemente Molybdän, Nickel und Vanadium, welche nur im Raum Treibach-Althofen durchgeführt wurden, zeigten, daß die höchsten Mo- und V-Konzentrationen ebenfalls in Nadeln dieses südlich des Werkes befindlichen Probepunktes gemessen wurden.

Wietersdorf: Von den insgesamt fünf untersuchten Probepunkten in diesem Gebiet wies der nord-östlich des Wietersdorfer & Peggauer Zementwerks gelegene die am stärksten beeinträchtigten Wachsstrukturen auf und war zusätzlich durch Ca-, Si- und Fe-hältigen Fremdstaub kontaminiert. Massivste Staubebelegung und zahlreiche Gipskristalle kennzeichneten die Fichtennadeln des nahe der werkseigenen Bruchanlage befindlichen Punktes südlich des Werkes. Die Nadelanalysen dieses Probepunktes ergaben ebenso hohe Ca- und K-Werte sowie erhöhte S-Werte.

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einleitung	1
1.1 Nadelwachse und Bioindikation	1
1.2 Ziele der Arbeit	2
2 Methodik	3
2.1 Probenahme und Probenvorbereitung	3
2.2 Beurteilungsmethode	3
2.2.1 Wachsmorphologie	3
2.2.2 Qualitätsklassen	4
2.2.3 Erhebungsdesign	6
2.3 Chemisch-analytische Methoden	6
3 Brückl	11
3.1 Lage und Klima	11
3.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort	11
3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	13
4 Radenthein	19
4.1 Umweltrelevante Angaben zum Standort	19
4.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	19
5 Treibach-Althofen	25
5.1 Lage und Klima	25
5.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort	25
5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	27

6	Wietersdorf	32
6.1	Lage und Klima	32
6.2	Umweltrelevante Angaben zum Standort	32
6.3	Ergebnisse der Nadeluntersuchungen	34
7	Quellennachweis	40

1 EINLEITUNG

1.1 Nadelwachse und Bioindikation

Wachse 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. Vor allem anthropogene Luftschadstoffe können die Mikrostruktur dieser Nadelwachse beeinträchtigen. Mit Hilfe des Raster-elektronenmikroskops (REM) können diese Wachstrukturen sichtbar gemacht und Veränderungen (z. B.: Wachsschmelzungen, Wachserosion) 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 diesen gasförmigen Luftschadstoffen können ebenso luftgetragene Stäube in der Nähe von Emissionsquellen die Wachstrukturen schädigen (z. B.: alkalischer Magnesitstaub - BERMADINGER ET AL. 1987) oder die Spaltöffnungen vollständig bedecken, wodurch deren Funktion erheblich beeinträchtigt wird (TRIMBACHER & DITRICH 1989). Daher werden Nadelwachse bereits seit längerem zur Bioindikation herangezogen.

Im Rahmen einer Studie des Umweltbundesamtes wurde eine Methode zur Klassifizierung von Nadelwachsschmelzungen bei Fichten mit dem Raster-elektronenmikroskop entwickelt (TRIMBACHER ET AL. 1995). Diese Evaluierungsmethode beruht auf einer Einteilung der im REM beobachtbaren Strukturveränderungen der Stomatawachse, d. h. der über den eingesenkten Spaltöffnungen befindlichen Wachse (Grad der Wachsschmelzung in Prozent der Gesamtstomatafläche) in fünf Qualitätsklassen. Die Standardisierung der Methode ermöglicht vergleichbare Ansprachen der Wachqualität von Fichtennadeln.

1.2 Ziele der Arbeit

Mit dieser Methode wurden in der vorliegenden Studie Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang 1995) vier ausgewählter Industriestandorte in Kärnten mit unterschiedlichen Emissionen (*Brückl, Radenthein, Treibach-Althofen* und *Wietersdorf*) untersucht um zu testen, inwieweit der Parameter der mittleren Wachsqualität zur Dokumentation der aktuellen Umweltbelastung in der Umgebung von Emittenten geeignet ist.

Die in diesem Bericht dargestellten Ergebnisse der Kärntner Industriestandorte sind Teil eines umfangreichen österreichweiten Untersuchungsprogrammes, bei dem Fichtennadeln aus industriell belasteten Gebieten, aus urbanen Ballungsräumen, von Autobahnprofilen sowie aus unbelasteten Hintergrundstandorten hinsichtlich ihrer Wachsqualität als auch ihrer Nadelgehalte an klassischen Schadstoffen wie Schwefel oder Chlor, der Nährelemente und ausgewählter Schwermetalle analysiert wurden. Der vorliegende Bericht beinhaltet noch keine Interpretation der Daten. Diese wird erst in einer Zusammenschau aller Ergebnisse des Untersuchungsjahres 1995 und nach einer umfangreichen statistischen Auswertung erfolgen und in einer eigenen Publikation des Umweltbundesamtes (Monographie oder Report) erscheinen.

2 METHODIK

2.1 Probenahme und Probenvorbereitung

Die Probenahme von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1995 an den Untersuchungsstandorten erfolgte gemäß den Bestimmungen der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen durch Mitarbeiter der Landesforstdirektion Kärnten. Die für die vorliegende Untersuchung ausgewählten Standorte sind Teile des Österreichischen Bioindikatornetzes (BIN). Eine Mischprobe des 1. Nadeljahrganges von mehreren Ästen aus dem Lichtkronenbereich (7. Quirl) zweier benachbarter Fichten (vorherrschend und herrschend nach KRAFT 1884) eines Standortes wurde geworben und dem Umweltbundesamt auf dem Postweg übermittelt.

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. Anschließend wurden insgesamt 24 Nadeln der jeweiligen Ausgangsprobe auf sechs Aluminium-Trägertischchen montiert und mit einer leitenden Goldschicht versehen. 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. Die Klassifizierung der Nadelwachse bzw. Bestimmung der Wachsqualität erfolgte nach der im folgenden Kapitel beschriebenen Beurteilungsmethode. Mittels röntgenenergie-dispersiver Mikroanalyse (EDX) wurde die elementare Zusammensetzung anhaftender Fremdpartikel (Staub, Kristalle) bestimmt.

2.2 Beurteilungsmethode

2.2.1 Wachsmorphologie

Für die Beurteilung der Wachsqualität von Fichtennadeln wurde ausschließlich das Stomatawachs von Nadeln des 1. Nadeljahrganges herangezogen. Das zwischen

den Spaltöffnungen befindliche Nadelwachs wurde dabei nicht berücksichtigt. Die unterschiedlichen Ausbildungsformen und die verschiedenen Verschmelzungsgrade des epistomatären Wachses, wie sie im REM beobachtet werden können, werden im folgenden näher erläutert und photographisch dokumentiert. Dies ist deshalb notwendig, da diese Kriterien, nämlich der Verschmelzungsgrad in % der Stomatafläche sowie die Art der Wachsverschmelzung, den Definitionen der einzelnen Qualitätsklassen des Schlüssels zugrundegelegt sind.

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

2.2.2 Qualitätsklassen

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

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

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

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

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

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

Sonderklasse 6: In dieser Klasse werden jene Spaltöffnungen zusammengefaßt, die entweder durch das Fehlen jeglicher Wachsstruktur gekennzeichnet sind (Abb. 6) oder deren Bewertung durch das Auftreten eines dichten Staubüberzuges (Abb. 5) oder durch massiven Befall von Pilzen, Algen und ähnlichem biologischem Material nicht möglich ist. Fremdpartikel, die in die Spaltöffnung eindringen, können diese entweder vollständig verschließen oder offen halten, wodurch es zu einer Störung des Schließmechanismus kommen kann. Derartige „Sonderfälle“ werden bei der Bildung des Standortmittels nicht berücksichtigt (siehe 2.2.3 Erhebungsdesign). Es handelt sich jedoch dabei um eine wichtige zusätzliche Information, die bei der Beschreibung eines Standortes berücksichtigt wird.

2.2.3 Erhebungsdesign

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

2.3 Chemisch-analytische Methoden

Zur Bestimmung der Schwefelgehalte der Nadeln wurden die Nadelproben bei 80° C im Umlufttrockenschrank getrocknet, von den Holzteilen befreit, anschließend vermahlen und vor der Analyse bei 105° C nachgetrocknet. Die Schwefelanalysen der Proben wurden mit einem LECO SC-132 Schwefelanalysator durchgeführt.

Für die Bestimmung des Chloridgehaltes wurden die Nadeln mit einem Salpetersäure-Eisessig-Gemisch extrahiert. Nach dem Filtrieren wurde der Chloridgehalt der Nadelproben elektrochemisch mit einem Chloridometer der Fa. Buchler bestimmt.

Die Bestimmung des Stickstoffgehaltes erfolgte nach Kjeldahl.

Für die Bestimmung der anderen Hauptnährelemente und der Schwermetalle wurden die Nadelproben bei 30° C getrocknet, vermahlen und anschließend mit einem Salpetersäure-Perchlorsäure-Gemisch aufgeschlossen. Die Analysen erfolgten mittels ICP-AES Gerät Optima 3000 XL (Fa. Perkin-Elmer) in Anlehnung an ÖNORM M 6279.

Alle Analysen wurden im Zentrallabor des Umweltbundesamtes durchgeführt. Alle Werte beziehen sich auf die bei 105°C getrocknete Nadelprobe.

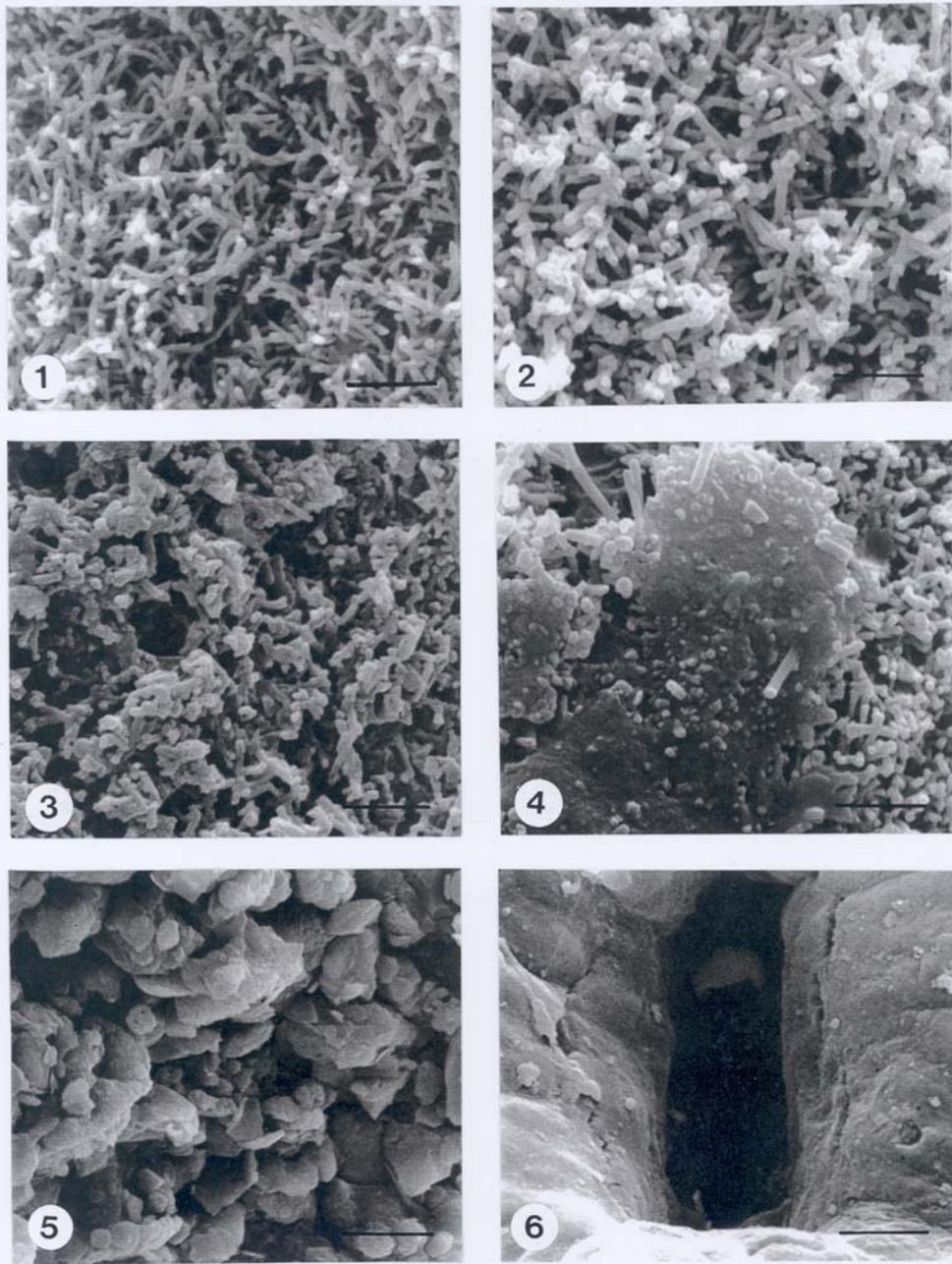
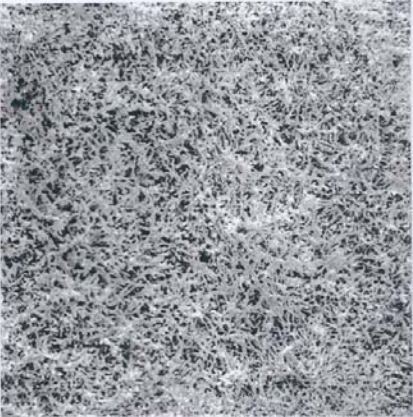
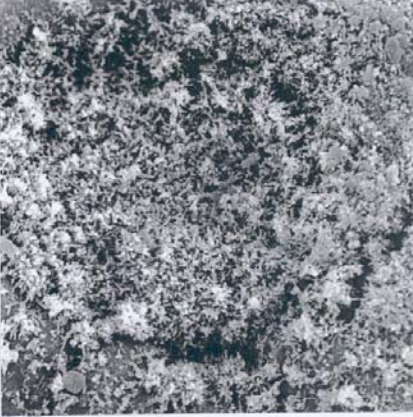
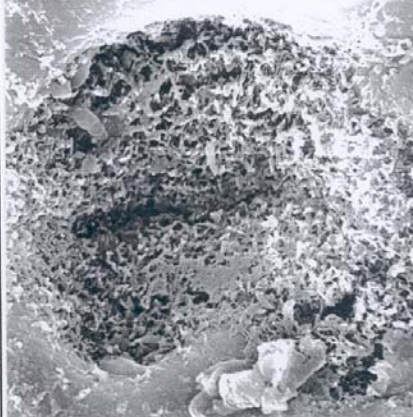


Abb. 1 - 6: REM-Aufnahmen unterschiedlicher Ausbildungsformen der Stomatawachse bei der Fichte. Intakte Wachsröhrchen (Abb. 1), kleinflächige Wachsfusionen (Abb. 2), netzartige Wachsstrukturen (Abb. 3), Wachsplatte (Abb. 4), Staubbelaag (Abb. 5), vollständig kahle Spaltöffnung (Abb. 6). Abb. 1 - 4: Vergrößerungsmaßstab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

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

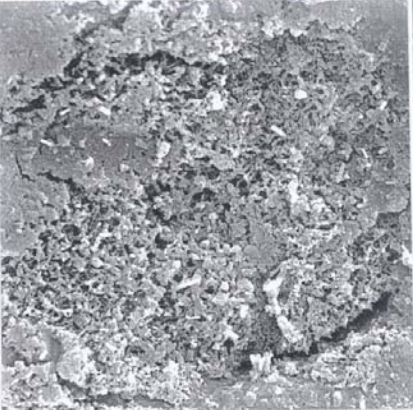
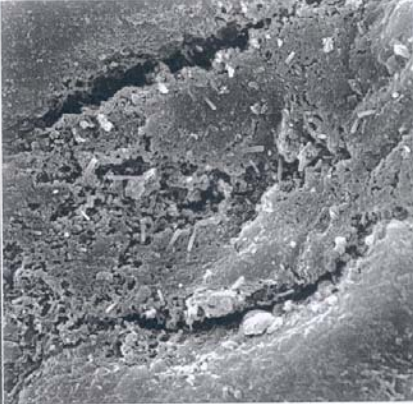
Qualitätsklassen	Beurteilung des Stomatawachses	Typisches Erscheinungsbild im REM, 2000x
4	Mehr als 50 bis max. 75 % der Stomatafläche weisen plattenartig verschmolzene Wachsstrukturen auf.	
5	Mehr als 75 bis 100 % der Stomatafläche weisen verschmolzene Wachsstrukturen auf, d. h. die Spaltöffnung ist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

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

3 BRÜCKL

3.1 Lage und Klima

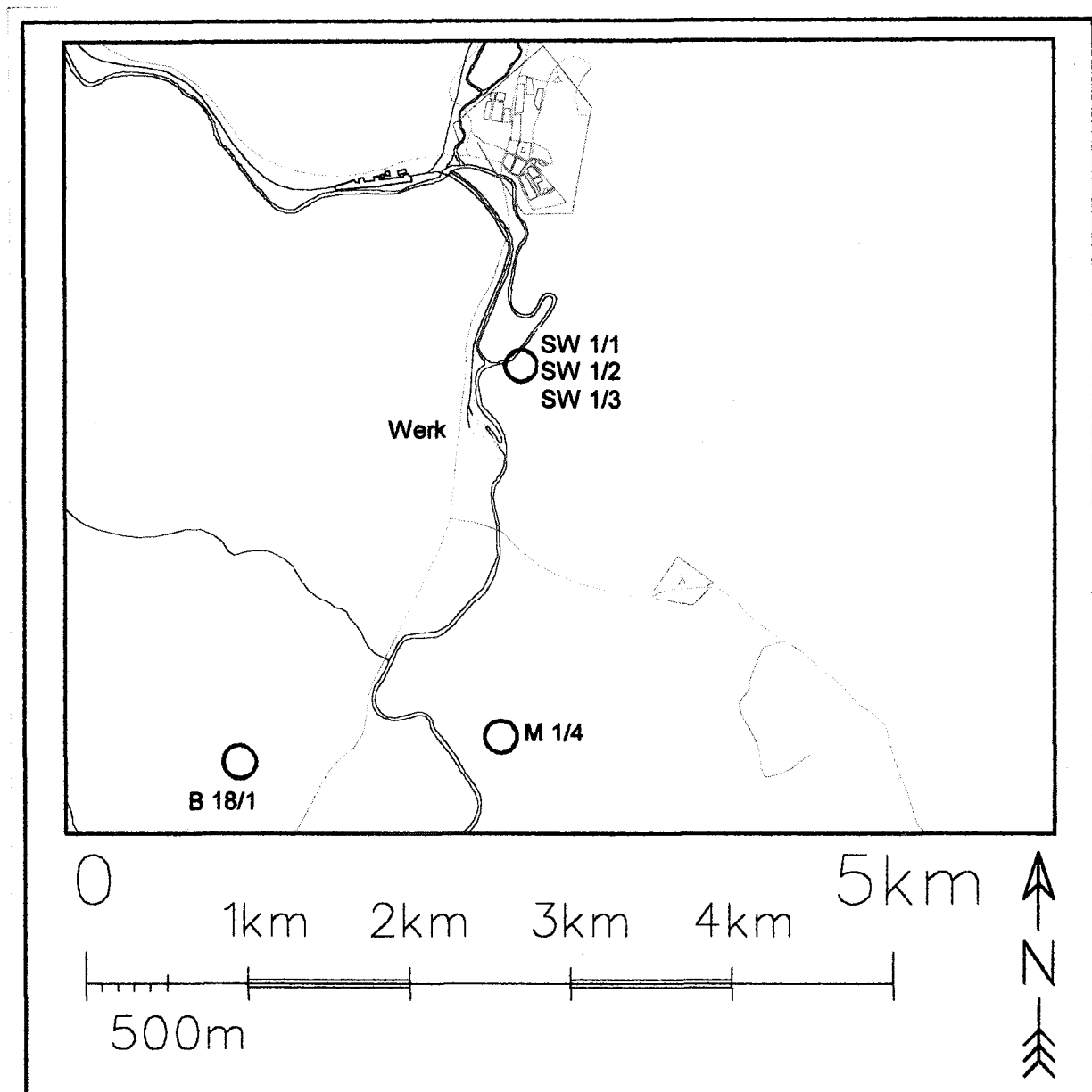
Das Werk der Donau Chemie Brückl liegt südlich von Brückl an der Gurk am Nordrand des Klagenfurter Beckens auf einem Schotterkegel der Gurk. Durch die Lage des Werks am Beginn der Weitung des Gurktales und des dort ca. Nord-Süd verlaufenden Tales ist mit häufigem Auftreten von Nord- und Südwinden zu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

3.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort

Die DONAU CHEMIE betreibt in Brückl eine Kochsalz-Elektrolyse. 1910 wurde die Elektrolyse nach dem Diaphragma-Verfahren zur Herstellung von Chlorkalk, Natronlauge und Ätznatron in Betrieb genommen. 1944 wurde die Chlor-Alkali-Elektrolyse auf das Amalgam-Verfahren umgestellt. In den 60-iger und 70-iger Jahren stellte die Erzeugung von chlorierten Lösungsmitteln durch Weiterreaktion des Koppelproduktes Chlor einen wesentlichen Produktionszweig dar (PER- und TRI-Produktion). Anfang der 90-iger Jahre wurden die Weichen zu einer Umstrukturierung der Produktpalette gestellt und die Produktion von chlorierten Lösungsmitteln (Chlorchemie) stark reduziert. Als Alternative wurde die Produktion von anorganischen Chlor-Verbindungen (Chloridchemie) forciert (Produktion von Eisen(III)-Chlorid). Durch weitere Umweltschutzmaßnahmen und durch die Errichtung umfassender Sicherheitssysteme sowie durch Sanierungsmaßnahmen konnte eine Verbesserung der Emissionssituation erreicht werden (BERICHT ÜBER DIE UMWELTSITUATION AN AUSGEWÄHLTEN LANGJÄHRIGEN INDUSTRIESTANDORTEN 1992).

Aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse (Amalgam-Verfahren) sind prinzipiell Quecksilber- und Chloremissionen möglich. Für die Chlorwasserstoff-Emissionen aus den Salzsäuresyntheseöfen liegt bescheidmäßig ein Emissionsgrenzwert von 30 mg/m^3 vor. Die tatsächlichen Emissionen lagen 1991 bei $4\text{-}6 \text{ mg HCl/m}^3$, das entspricht ca.

11,5 kg/a. Aus der Lösungsmittelherstellung sind CKW-Emissionen (Chlorierte Kohlenwasserstoffe) zu erwarten. Aufgrund der Emissionsangaben kann geschlossen werden, daß Belastungen durch CKW, HCl, Cl₂ und Hg auftreten können, die aber insbesondere für CKW aufgrund von Produktionsdrosselung rückläufig sein müßten. Derzeit ist ein Verfahren nach dem Forstgesetz wegen Überschreitung der in der 2. Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen festgelegten Nadelgrenzwerte für Chlor anhängig.



Lageskizze der Probenahmepunkte am Industriestandort Brückl/Kärnten.

Ca. 500 m nördlich des Werkes befindet sich eine Betriebsdeponie, auf der bis 1981 Produktionsrückstände (Karbidekalk) abgelagert wurden. Südlich des Werksgeländes befinden sich Deponieflächen zur Ablagerung von Klärschlämmen der Donau Chemie.

3.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die mittlere Wachsqualität des südwestlich vom Werk gelegenen Standortes B 18/1 lag bei $2,1 \pm 0,74$. Von den bewerteten Spaltöffnungswachsen konnten 15 % der Qualitätsklasse 1, 57 % der Qualitätsklasse 2, 20 % der Qualitätsklasse 3 sowie 8 % der Qualitätsklasse 4 zugeordnet werden. Beurteilungen entsprechend Qualitätsklasse 5 fehlten aufgrund der weitgehend gut erhaltenen Wachsstrukturen. Eine charakteristische Spaltöffnung ist in Abbildung 9 dargestellt. An den Nadeloberflächen konnten vereinzelt Gipskristalle detektiert werden (Abbildung 10). Die Staubbelegung lag bei 7 %. Bei den wenigen anhaftenden Fremdpartikeln handelte es sich vor allem um Einzelpartikel und nicht um größere Partikelagglomerate, deren elementare Zusammensetzung keine Auffälligkeiten erkennen ließ und daher eher den umgebenden Boden repräsentiert.

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

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

Die beste Wachsqualität (MW $1,9 \pm$ SD 0,46) der untersuchten Probepunkte im Gebiet Brückl wies der Standort M 1/4 südlich des Werkes auf. Die Belegung der

Nadeloberfläche mit Partikeln lag wiederum bei 7 %, organisches Material konnte an 15 % der untersuchten Stomata detektiert werden.

Von den drei in Werksnähe gelegenen Probepunkten SW 1/1, SW 1/2 und SW 1/3 wies der Standort SW 1/3 mit einem Wert von $2,6 \pm 0,92$ die am stärksten beeinträchtigten Wachsstrukturen des Untersuchungsgebietes auf. Zahlreiche, im Durchschnitt 5 µm große chlorhaltige Kristalle konnten an den Nadeloberflächen des Punktes SW 1/2 nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, daß diese von Emissionen des Werks stammen (Abbildungen 11 bis 13).

Die Chloranalysen der Fichtennadeln ergaben für den werksnahen Probepunkt SW 1/1 eine erhebliche Überschreitung des Cl-Gehaltes bis zum Dreifachen des Grenzwertes (Siehe Abbildung 1). Dieser Standort wies ebenso die höchsten Schwefelwerte auf und zeigte im Rasterelektronenmikroskop mit 21 % die höchste Belegung mit Epibionten (Pilzhyphen, Sporen, Algen, ...) des Untersuchungsgebietes. Möglicherweise setzt die Chlorbelastung die Resistenz der Nadeln gegen Infektionen durch Biopathogene herab, wodurch ein rascherer Befall durch Parasiten begünstigt wird.

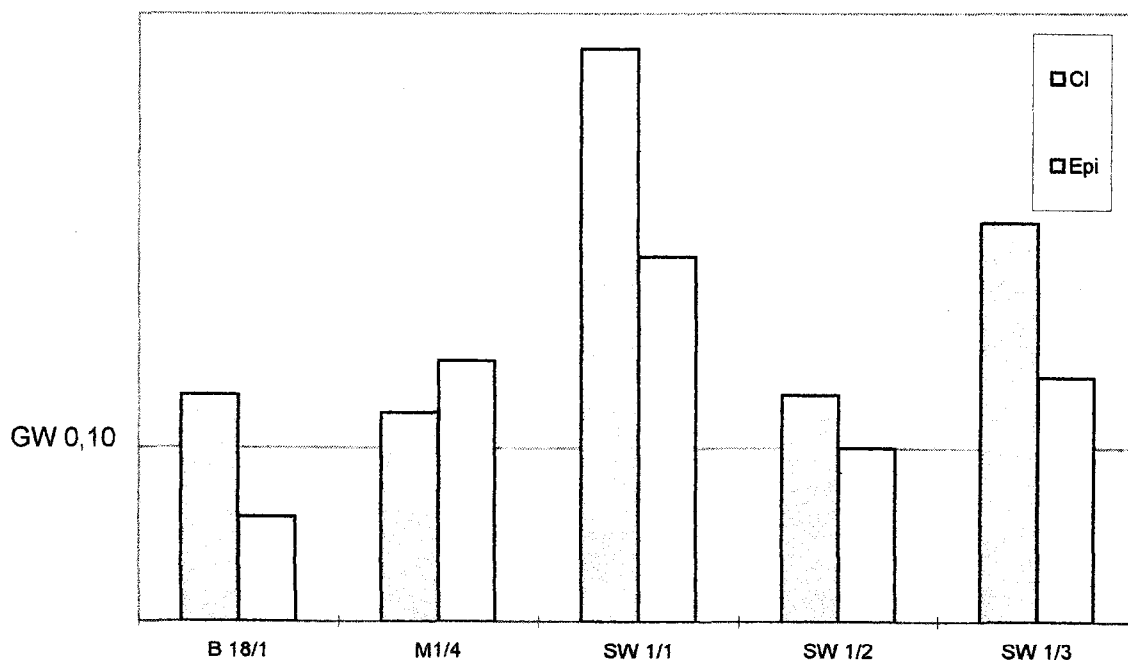


Abb. 8: Darstellung der Chlorwerte in den Nadeln und der Belegung der Nadeloberfläche mit Epibionten. Grenzwert für Chlor im 1. Njg.: 0,1%. Graue Balken - Cl, weiße Balken - Epibionten.

Die Schwefelwerte in den Nadeln waren an allen Probepunkten erhöht. Die übrigen Schwermetall- und Nährelementgehalte der Nadeln wiesen keine Auffälligkeiten auf.

PP	Cl	S-Gesamt	N-Kjeldahl	Ca	K	Mg	P
Nr.	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B 18/1	0,13	0,14	1,4	7285	9237	1069	2585
M 1/4	0,12	0,13	1,3	8149	5920	1432	1292
SW 1/1	0,33	0,15	1,4	4919	7112	1010	1737
SW 1/2	0,13	0,13	1,3	6165	7892	1261	1504
SW 1/3	0,23	0,14	1,5	4030	8167	1447	1468

Tabelle 2: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Brückl. GW für Cl im 1. Njg.: 0,1 %, GW für S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
Nr.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B 18/1	3,2	35	872	28	18
M 1/4	3,2	36	1335	35	77
SW 1/1	4,0	30	793	52	42
SW 1/2	4,3	41	1070	36	23
SW 1/3	3,9	33	579	38	32

Tabelle 3: Metallgehalte der Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Brückl.

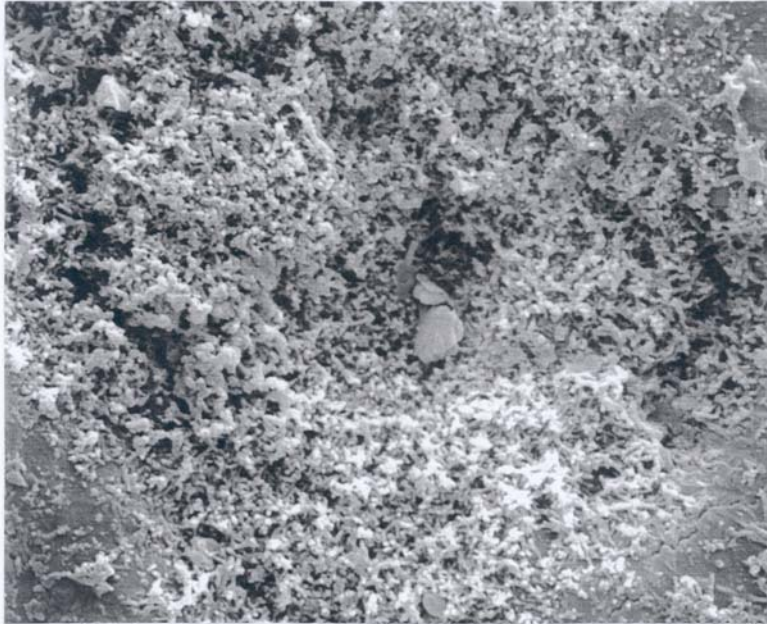


Abb. 9: **Brückl**, Probepunkt B 18/1, REM-Aufnahme einer charakteristischen Spaltöffnung mit weitgehend intakter Wachsstruktur. Vergrößerung: 3000fach.

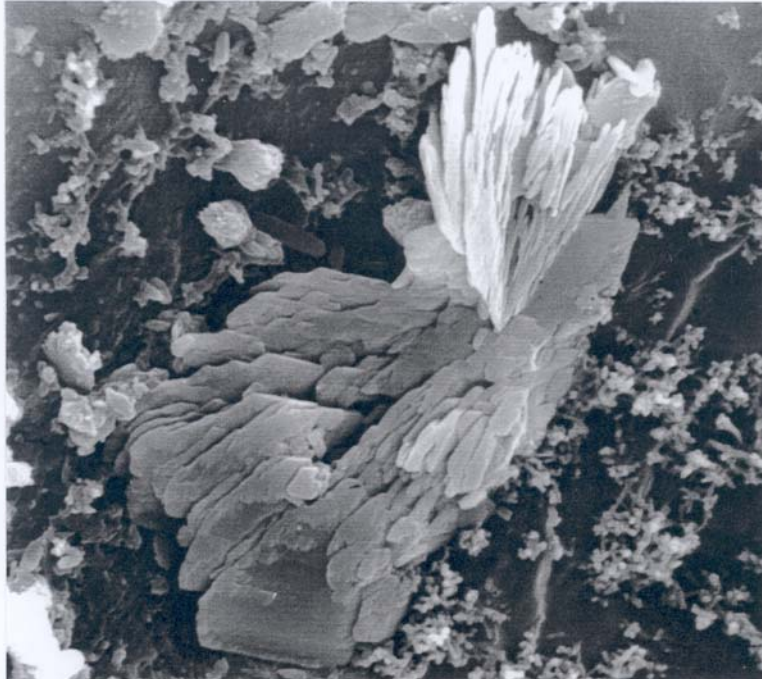


Abb. 10: **Brückl**, Probepunkt B 18/1, REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche. Vergrößerung: 4600fach.



Abb. 11: **Brückl**, Probepunkt SW 1/2, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen kleinen chlorhaltigen Kristallen (Pfeile). Vergrößerung: 750fach.

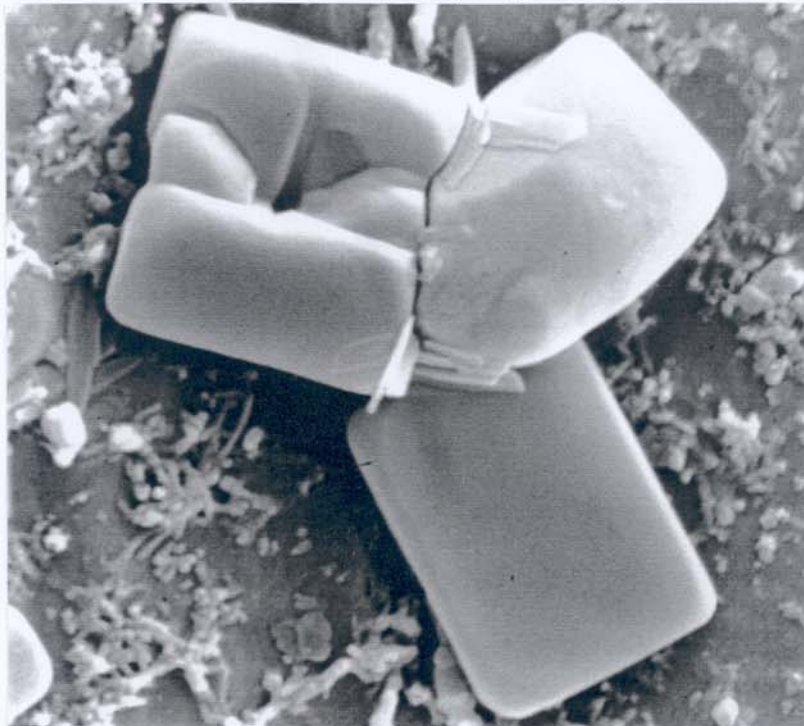


Abb. 12: **Brückl**, Probepunkt SW 1/2, REM-Aufnahme eines einzelnen Kristalles. Vergrößerung: 7500fach.

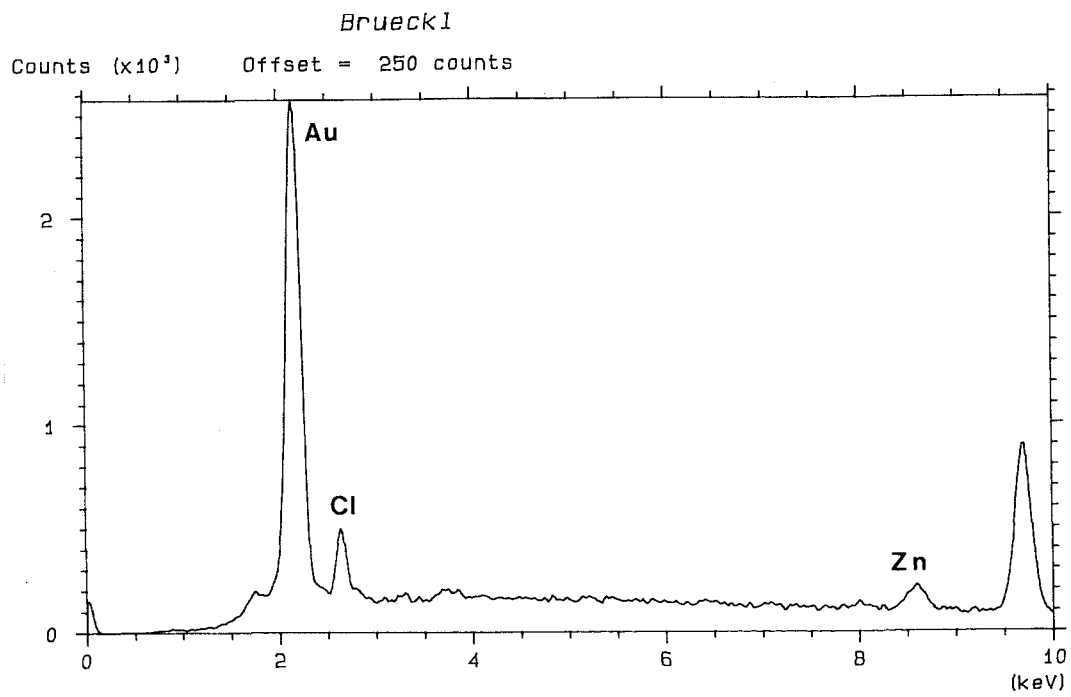


Abb. 13: Brückl, Probepunkt SW 1/2, EDX-Spektrum des Kristalles in Abb. 12.

4 RADENTHEIN

4.1 Umweltrelevante Angaben zum Standort

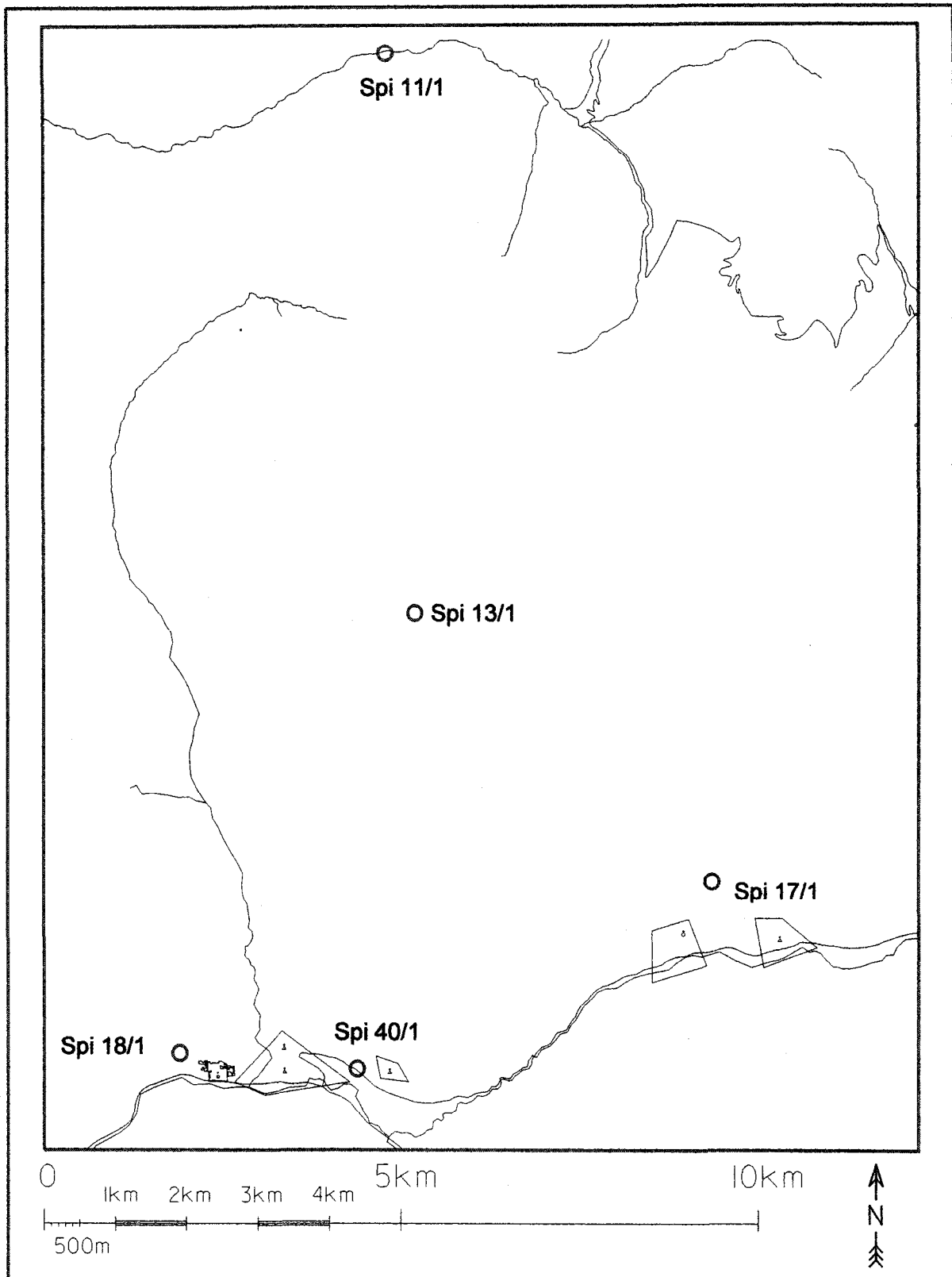
Die Firma Veitsch Radex AG in Radenthein stellt feuerfeste Erzeugnisse her. Die jährliche Produktion beläuft sich auf 100.000 t feuerfeste Steine, 15.000 t feuerfeste Massen und 35.000 t kaustisch gebrannten Magnesit. Von umweltrelevanter Bedeutung sind vor allem die Emissionen von SO₂, NO_x, Staub (Magnesium) und CO₂. Etwa 60 % der Gesamtemissionen von Kohlendioxid werden durch den Brand des Magnesits, etwa 40 % durch die verwendeten Brennstoffe verursacht. Durch die Umstellung der Befuerungseinrichtungen für die Drehrohröfen, Tunnelöfen, Temperanlagen und Kesselhaus von Erdöl auf Erdgas konnten die SO_x Emissionen deutlich reduziert werden. Weiters wurde eine Entschwefelungsanlage installiert, um auch die prozeßbedingten SO₂-Emissionen zu reduzieren.

4.2 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen der Nadelwachse ergaben, daß die mittlere Wachsqualität des Hintergrundstandortes Spi 11/1 nördlich des Werkes bei $2,3 \pm 0,64$ lag. 66 % der untersuchten Spaltöffnungen wurden mit Qualitätsklasse 2 bewertet. Beurteilungen entsprechend den Qualitätsklassen 1 und 5 fehlten. Staubbörmige Fremdpartikel konnten nicht gefunden werden. Die Belegung der Oberflächen mit Epibionten lag bei 13 %.

Interessanterweise zeigten die Nadelwachse der beiden werksnahen Probepunkte Spi 18/1 (Abb. 14) und Spi 40/1 (Abb. 15) die am wenigsten beeinträchtigten Wachsstrukturen des Untersuchungsgebietes. Vereinzelt auf den Nadeloberflächen des Punktes Spi 40/1 auftretende Gipskristalle sowie erhöhte Schwefelgehalte der Nadeln lassen jedoch einen Immissionseinfluß vermuten.

Mit einem Wert von $3,4 \pm 0,96$ wies der im Norden befindliche Probepunkt Spi 13/1 die stärksten Wachsdegradationen des Untersuchungsgebietes Radenthein auf.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Radenthein/Kärnten.

41 % der untersuchten Spaltöffnungen waren massiv mit Pilzhyphen und Sporen überzogen (Abb. 16). Manche Nadelbereiche wiesen zusätzlich einen dichten Staubbelaag auf, der als metallische Komponente stets Eisen enthielt. In Abbildung 17 ist eine Spaltöffnung mit einer derart dichten Partikelbelegung dargestellt. Aufgrund dieser massiven Belegung der Spaltöffnungsbereiche mit Staub und Pilzhyphen konnten die Wachsstrukturen von insgesamt 4 % der untersuchten Stomata nicht klassifiziert werden und wurden mit Sonderklasse 6 bewertet. Die Nährelementanalysen der Fichtennadeln dieses Probestandes ergaben stark erhöhte Calcium-Werte (über 1 % !) sowie eine Grenzwertüberschreitung bei Schwefel (Tabelle 5). Diese Untersuchungsergebnisse lassen darauf schließen, daß die Nadeln dieses Probestandes direkt den Emissionen des Werks ausgesetzt sind.

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

Tabelle 4: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelaagung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Radenthein.

Für den Punkt Spi 17/1 nordöstlich des Werks ist ebenso eine Beeinflussung anzunehmen, da die Nadeln durch hohe Calcium-Gehalte sowie einer Wachsqualität von MW 2,7 ± 0,77 gekennzeichnet sind.

Die Schwefel- und Nährelementgehalte der untersuchten Fichtennadeln sind in Tabelle 5, die Metallgehalte in Tabelle 6 dargestellt.

PP	S-Gesamt	N-Kjeldahl	Ca	K	Mg	P
Nr.	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Spi 11/1	0,13	1,5	5315	6393	2220	2444
Spi 13/1	0,14	1,2	12141	8051	1435	1724
Spi 17/1	0,13	1,2	9010	7891	1651	1629
Spi 18/1	0,17	1,1	3616	8734	1921	2232
Spi 40/1	0,14	1,1	4441	7689	2332	1406

Tabelle 5: Schwefel- und Nahrelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Radenthein. GW fur S im 1. Njg.: 0,11 %.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
Nr.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Spi 11/1	4,4	81	1654	41	52
Spi 13/1	3,6	50	846	60	105
Spi 17/1	4,7	55	319	38	37
Spi 18/1	4,3	44	64	66	41
Spi 40/1	4,4	39	21	52	25

Tabelle 6: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Radenthein.



Abb. 14: **Radenthein**, Spi 18/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit charakteristischen, weitgehend unbeeinträchtigten Spaltöffnungen. Vergrößerung: 750fach.

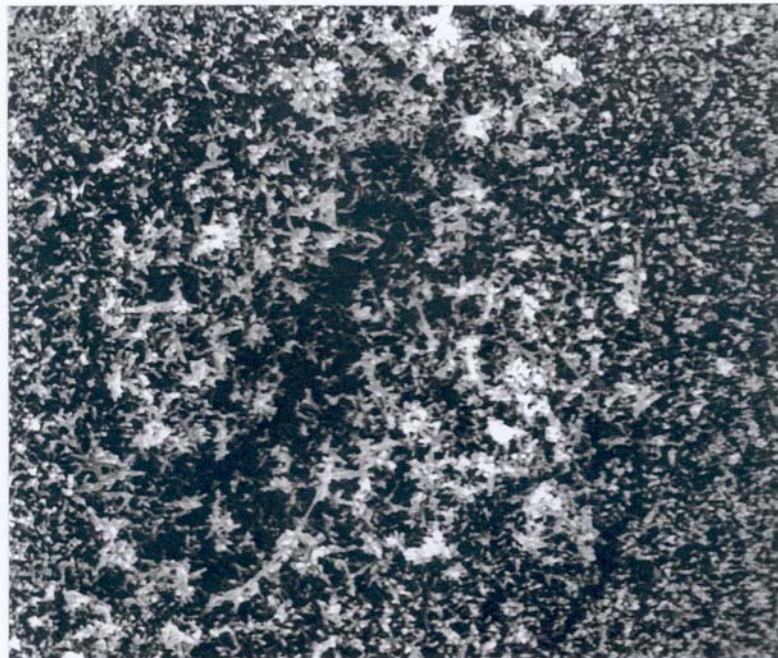


Abb. 15: **Radenthein**, Spi 40/1, REM-Aufnahme einer typischen Spaltöffnung. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 16: **Radenthein**, Spi 13/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit zahlreichen Pilzhypen und Staubpartikeln. Vergrößerung: 300fach.

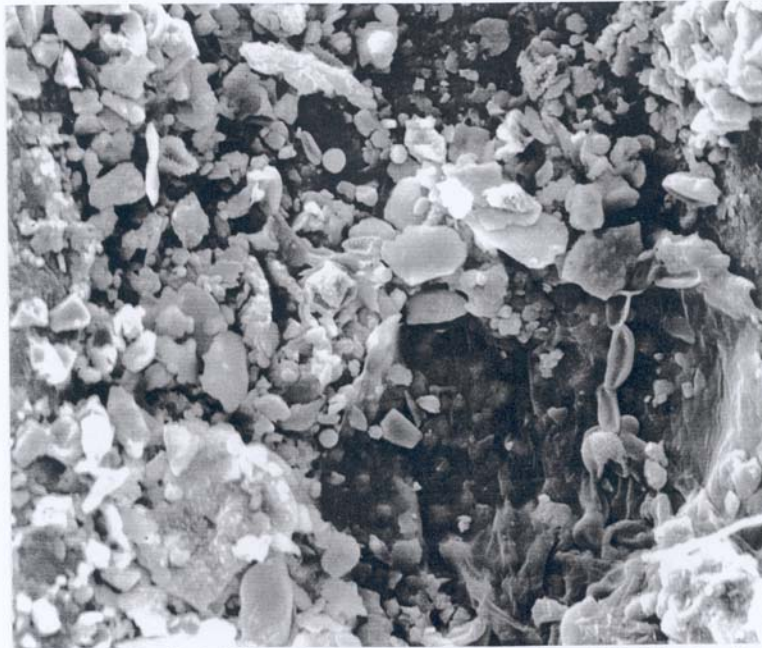


Abb. 17: **Radenthein**, Spi 13/1, REM-Aufnahme von Staub und Epibionten, Detailansicht. Vergrößerung: 1500fach.

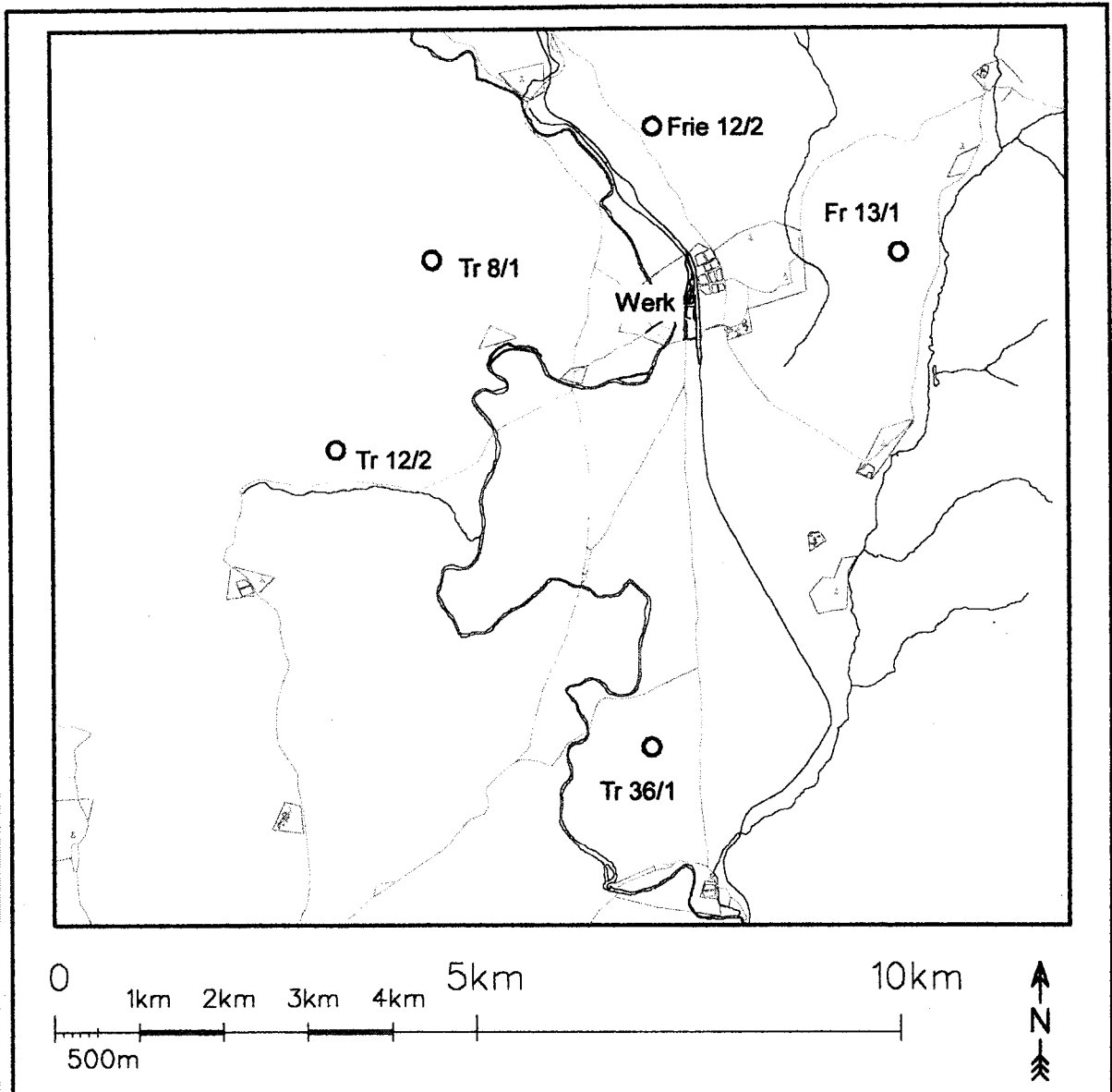
5 TREIBACH-ALTHOFEN

5.1 Lage und Klima

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

5.2 Umweltrelevante Angaben zum Standort

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



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen/Kärnten

Die Luft in der Umgebung der TCW war vor allem durch Staubemissionen mit hohem Schwermetallgehalt (insbesondere Nickel und Vanadium) aber auch durch Chlor- und Fluoremissionen (Cl_2 , HCl , HF) belastet. In den werksnahen Staubbiederschlägen wurden hohe Konzentrationen an Ni, Mo, V, Cr und Co gefunden (VOGEL ET AL. 1991). Die Bodenbelastung lag in Werksnähe bei den Elementen Ni, V und Mo deutlich über den zur Orientierung herangezogenen Grenzkonzentrationen (Klärschlammverordnung der Steiermark). 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. Durch emissionsmindernde Maßnahmen bzw. die Stilllegung von Anlagenteilen konnten die Staub- und Chloremissionen in den letzten Jahren deutlich gesenkt werden.

5.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Die am stärksten beeinträchtigten Wachsstrukturen wiesen die Nadeln des südwestlich der TCW gelegenen Probepunktes Tr 12/2 auf (MW 2,7). Besonders auffällig war, daß 43 % der untersuchten Nadeln massiv mit Pilzhyphen und Sporen bedeckt waren, die sich vor allem auf den epistomatären Bereich konzentrierten (Abb. 18 und 19).

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

Tabelle 7: Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung), Staubbelegung und Belegung der Nadeln mit Epibionten im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

Der südlich des Werks gelegene Probepunkt Tr 36/1 wies eine Besonderheit auf. Bei den Untersuchungen im REM waren häufig Nadelbereiche mit Spaltöffnungen ohne jegliche Wachsstruktur zu beobachten (Abb. 20 und 21). Dieses Phänomen konzentrierte sich vor allem auf die apikalen Nadelteile. Insgesamt 8 % der untersuchten Spaltöffnungen waren davon betroffen und wurden daher mit Sonderklasse 6 bewertet. Zusätzlich waren die Nadeloberflächen noch durch

zahlreiche Epibionten (35 %) kontaminiert. Weiters ergaben die Nadelanalysen für diesen Probepunkt deutlich erhöhte Chlorwerte (Tab. 8) und auch die höchsten Molybdän-, Nickel- und Vanadiumwerte aller untersuchten Bäume aus dem Raum Treibach-Althofen (Tab. 9). Die Nickelgehalte in den Nadeln liegen im Toleranzbereich. ZVACEK (1988) fand bei Fichten an sieben Waldstandorten in Österreich Konzentrationen zwischen 0,1 und 13,6 ppm im 1. Nadeljahrgang. Die Molybdän- und Vanadiumwerte des Probepunktes Tr 36/1 sind nach wie vor als erhöht zu bezeichnen. Sie liegen jedoch deutlich unter den Konzentrationen, die in einer früheren Untersuchung des Umweltbundesamtes im Raum Treibach in Fichtennadeln eines in der Nähe befindlichen BIN-Punktes gefunden wurden (VOGEL ET AL. 1991: 8,0 mg/kg Mo, 22,9 mg/kg V). Die Molybdängehalte in Fichtennadeln des obersten Quirls liegen üblicherweise zwischen 0,04 und 0,2 ppm (vgl. BERGMANN 1993). Eine Schweizer Untersuchung an Fichten von 47 Standorten in Winterthur ergab für gewaschene Nadeln Vanadiumwerte von 0,04 bis 0,113 ppm (WYTTENBACH ET AL. 1991).

PP	Cl	S-Gesamt	N-Kjeldahl	Ca	K	Mg	P
Nr.	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Frie 12/6	0,36	0,14	1,2	4213	4968	1351	1840
Frie 13/1	0,14	0,13	1,4	9698	5128	994	1330
Tr 8/1	0,13	0,12	1,3	7373	5053	1515	1451
Tr 12/2	0,12	0,14	1,2	6446	5079	1146	1651
Tr 36/1	0,24	0,10	1,2	11395	6041	815	1234

Tabelle 8: Chlor-, Schwefel- und Nährelementgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen. GW für Cl im 1. Njg.: 0,1 %; GW für S im 1. Njg. 0,11 %.

Über das Dreifache des Chlorgrenzwertes erhöhte Chlorgehalte wurde in Nadeln des werksnahen Probepunktes Frie 12/6 nachgewiesen. Demgegenüber lag die Wachsqualität der Fichtennadeln bei MW 1,9, was Werten aus unbelasteten Hintergrundstandorten und somit intakten Wachsstrukturen entspricht. Eine charakteristische Spaltöffnung ist in Abbildung 22 dargestellt.

PP	Cu	Zn	Mn	Fe	Al	Mo	Ni	V
Nr.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Frie 12/6	3,4	19	2620	74	78	0,55	9,06	1,20
Frie 13/1	5,4	22	230	39	24	< 0,4	3,20	< 0,28
Tr 8/1	4,5	25	2990	45	58	< 0,4	10,38	< 0,26
Tr 12/2	4,1	30	2080	60	179	< 0,4	4,87	0,53
Tr 36/1	2,8	20	2560	76	102	2,95	10,42	6,63

Tabelle 9: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Treibach-Althofen.

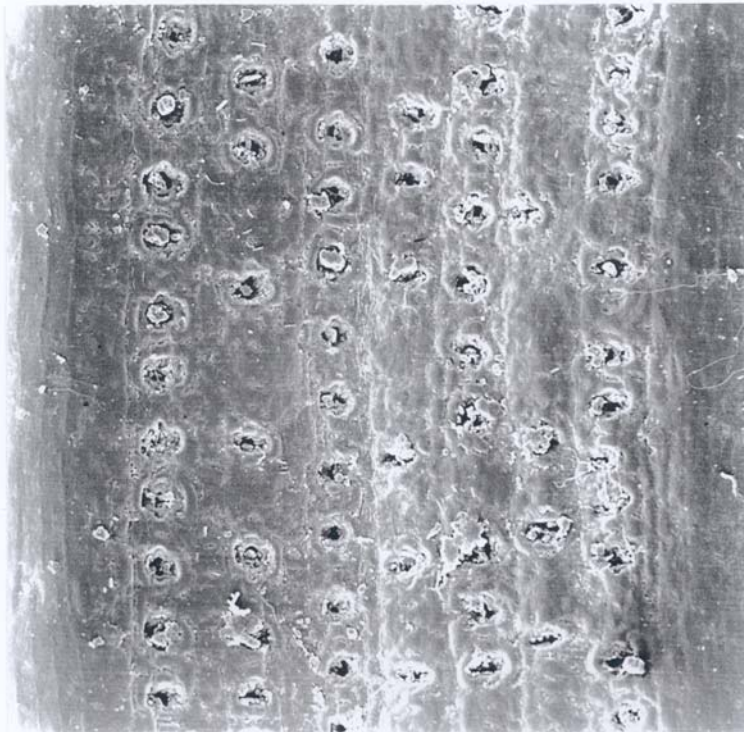


Abb. 18: Treibach-Althofen, Tr 12/2, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche, fast alle Spaltöffnungen sind mit Pilzsporen verstopft. Vergrößerung: 150fach.

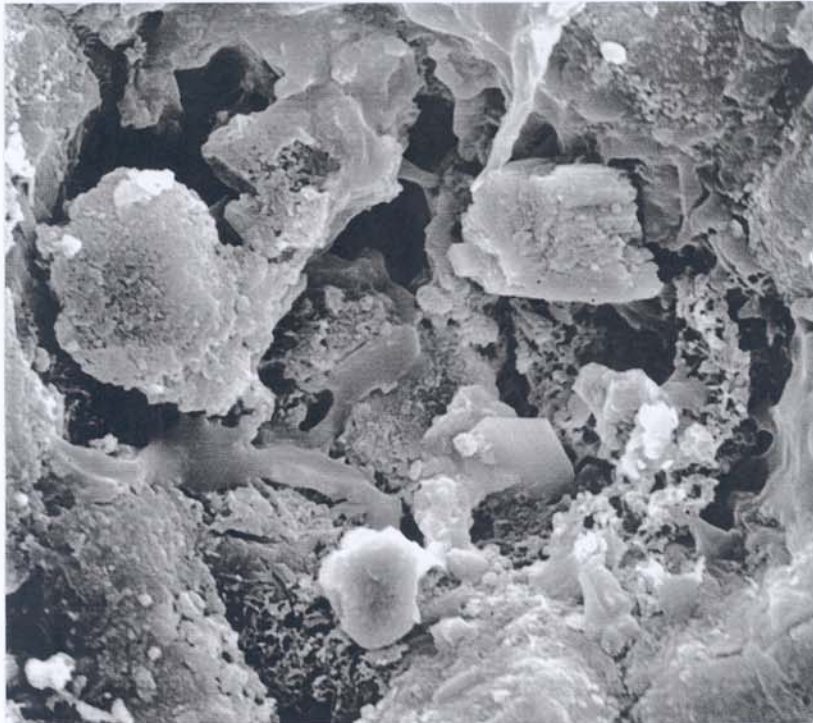


Abb. 19: **Treibach-Althofen**, Tr 12/2; REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit Pilzhyphen und bereits degradierten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.

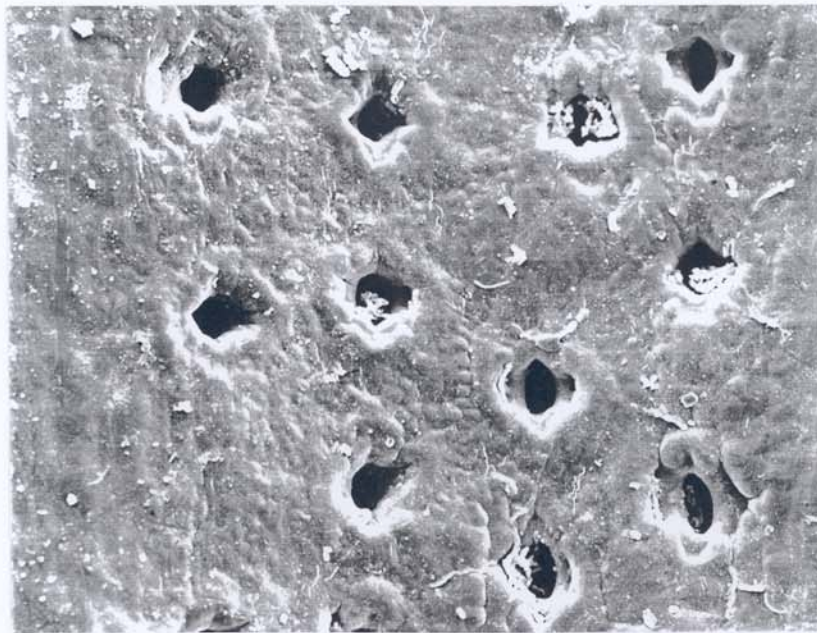


Abb. 20: **Treibach-Althofen**, Tr 36/1, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit Spaltöffnungen ohne jegliche Wachsstruktur. Vergrößerung: 350fach.

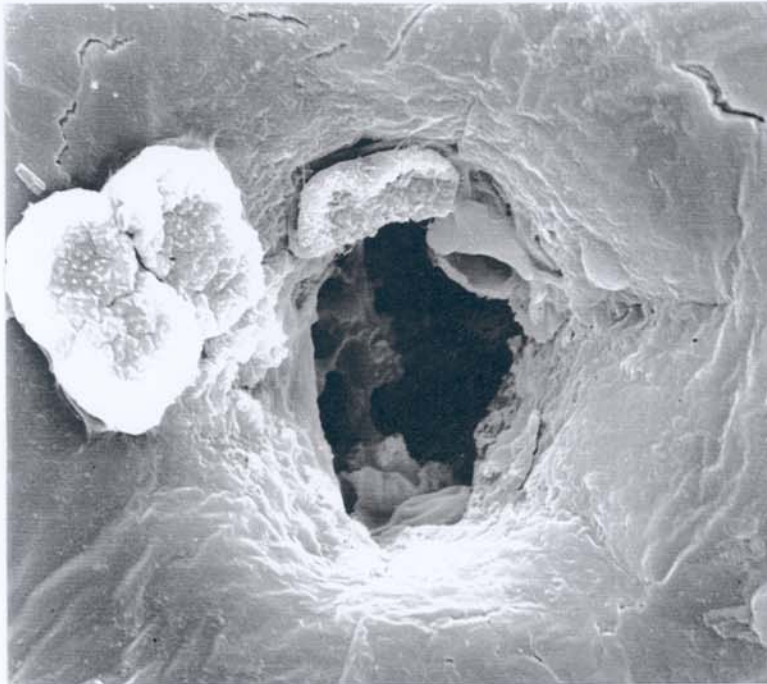


Abb. 21: **Treibach-Althofen**, Tr 36/1, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung ohne Stomatawachs, Sporen (Pfeil). Vergrößerung: 2500fach.

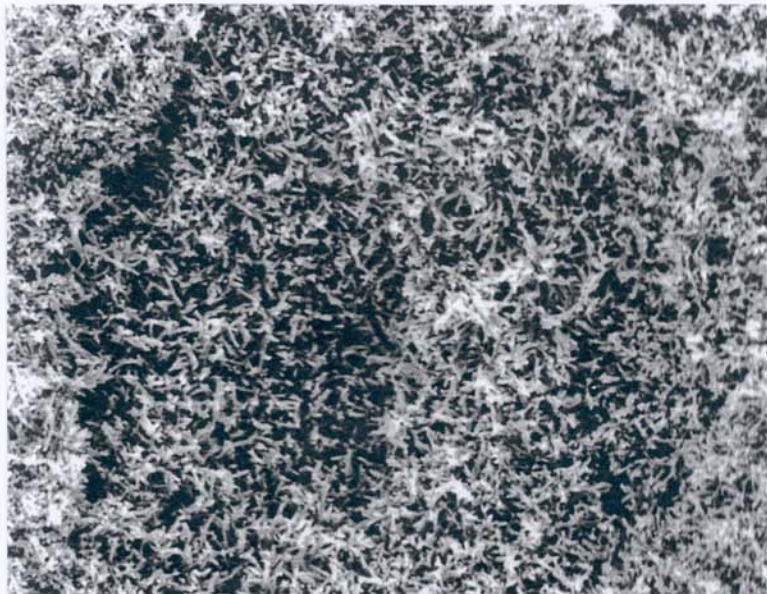


Abb. 22: **Treibach-Althofen**, Frie 12/6, REM-Aufnahme einer Spaltöffnung mit intakten Wachsstrukturen. Vergrößerung: 3000fach.

6 WIETERSDORF

6.1 Lage und Klima

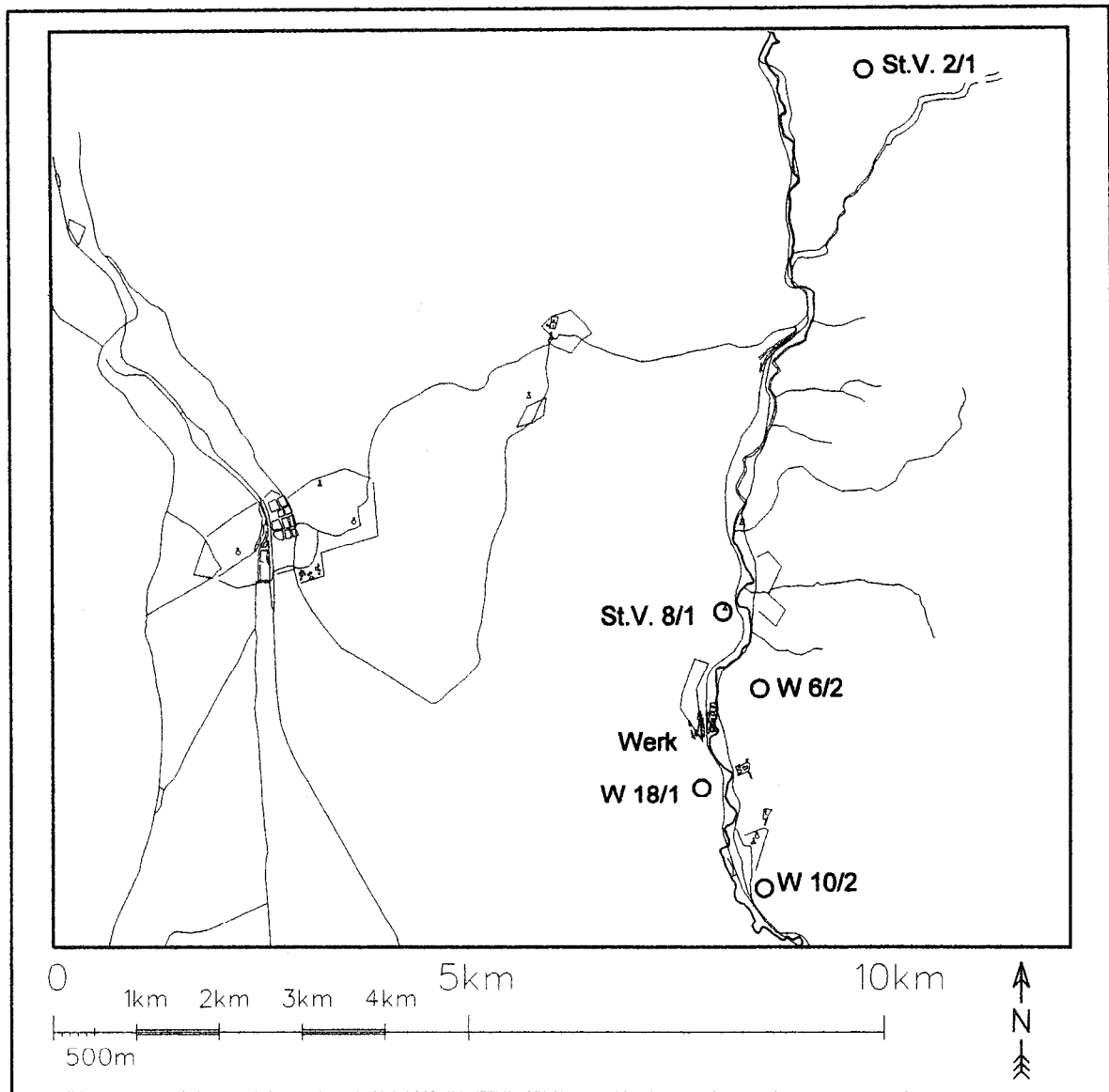
Das Untersuchungsgebiet Klein St. Paul-Wieterdorf befindet sich im Nord-Süd orientierten Görschitztal. Dieses liegt am Fuß der Westabdachung der Saualpe und wird durch einen in Nord-Süd-Richtung sich erstreckenden Bergrücken vom Krappfeld getrennt. Im Zentrum des Talverlaufs ist die Weitung von Klein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

6.2 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, NO_x, SO_x und CO.

Im Auftrag der Kärntner Landesregierung wurde im Jahre 1986 die „Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf“ durchgeführt, um detaillierte Erkenntnisse über die Staubbelastung (besonders Schwermetalle) in diesem Gebiet zu erhalten. Allgemein können bei der Zementproduktion in den Drehrohröfen (1000 bis 1450°C) verschiedene, auch alternative Brennstoffe (Altöl, Altreifen, etc.) verwendet werden. Aus umwelthygienischer Sicht sind je nach Energieträger unterschiedliche Schwermetallemissionen zu erwarten. In der genannten Schwerpunktstudie dienten die Bestimmungen der Staubbiederschlagsproben zur Beurteilung der Schwermetallbelastung. Durch umfangreiche Emissionsschutzmaßnahmen seitens des Werkes konnte die Staubbelastung gesenkt werden.

Es wurden für den Raum nur zeitweise erhöhte Cadmium- und Zinkwerte gefunden. Die Schwermetallwerte ließen keine gesundheitliche Gefährdung bei den zum damaligen Zeitpunkt eingesetzten Brenn- und Ausgangsstoffen erwarten.



Lageskizze der Probepunkte im Untersuchungsgebiet Wietersdorf/Kärnten.

6.3 Ergebnisse der Nadeluntersuchungen

Mit einer mittleren Wachsqualität von 3,0 wies der werksnahe Probepunkt W 6/2 die stärksten Wachsdegradationen im Untersuchungsgebiet auf. 15 % der untersuchten Spaltöffnungen waren mit staubförmigen Fremdpartikeln bedeckt (Abb. 23 und Spektrum 24). Der Staub setzte sich im wesentlichen aus den Elementen Silicium, Calcium und Eisen zusammen. Die Belegung der Nadeloberfläche mit Pilzhyphen oder Sporen lag bei 18 %. Eine charakteristische Spaltöffnung mit beginnenden Wachsdegradationen ist in Abbildung 25 dargestellt.

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

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

Für den südwestlich des Zementwerks in der Nähe des Steinbruchs gelegenen Probepunkt W 18/1 konnte eine Staubebelegung von 54 % nachgewiesen werden (Abb. 26). Bei 4 % der untersuchten Spaltöffnungen war eine Klassifizierung der Wachsstrukturen durch den dichten Staubebelag nicht möglich. Sie wurden daher Sonderklasse 6 zugeordnet. Zusätzlich wurden zahlreiche Gipskristalle auf den Nadeln beobachtet (Abb. 27 und 29 und Spektrum 28). Die Nadelanalysen dieses Probepunktes ergaben auch hohe Calcium- und Kaliumgehalte sowie eine Grenzwertüberschreitung bei Schwefel (0,17 %). Ein Immissionseinfluß durch das Werk und den Steinbruch ist daher anzunehmen.

PP	S-Gesamt	N-Kjeldahl	Ca	K	Mg	P
Nr.	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
St. V 2/1	0,12	1,1	4893	6620	1237	1365
St. V 8/1	0,13	1,0	4351	8894	915	1457
W 6/2	0,17	1,2	6017	8051	777	2577
W 10/2	0,13	1,3	6561	7619	1101	1312
W 18/1	0,17	1,1	8399	9809	986	1029

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

PP	Cu	Zn	Mn	Fe	Al
Nr.	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
St. V 2/1	3,6	29	1066	35	57
St. V 8/1	3,3	40	53	37	32
W 6/2	3,8	21	596	67	43
W 10/2	3,8	37	53	33	25
W 18/1	3,3	56	32	103	81

Tabelle 12: Metallgehalte von Fichtennadeln im Untersuchungsgebiet Wietersdorf.



Abb. 23: *Wietersdorf, W 6/2*, REM-Aufnahme einer Nadeloberfläche mit Sporen und Staubpartikeln. Vergrößerung: 350fach.

Wietersdorf

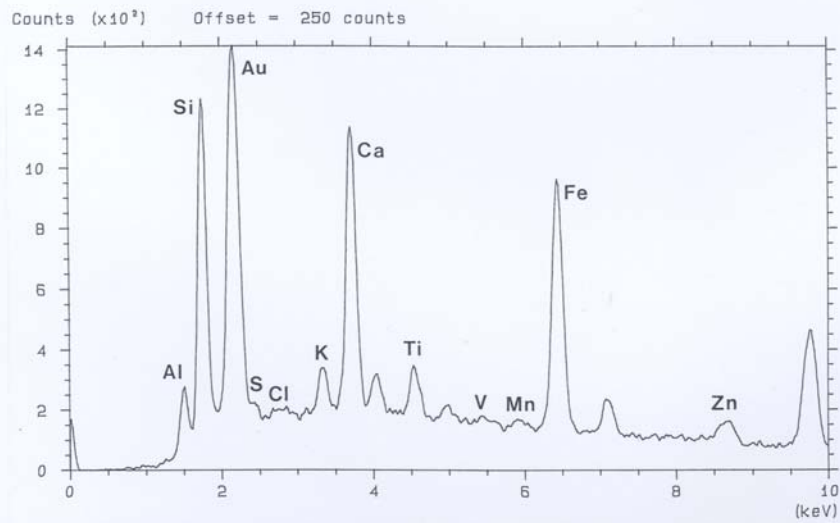


Abb. 24: *Wietersdorf, W 6/2*: EDX-Spektrum der anhaftenden Staubpartikel.

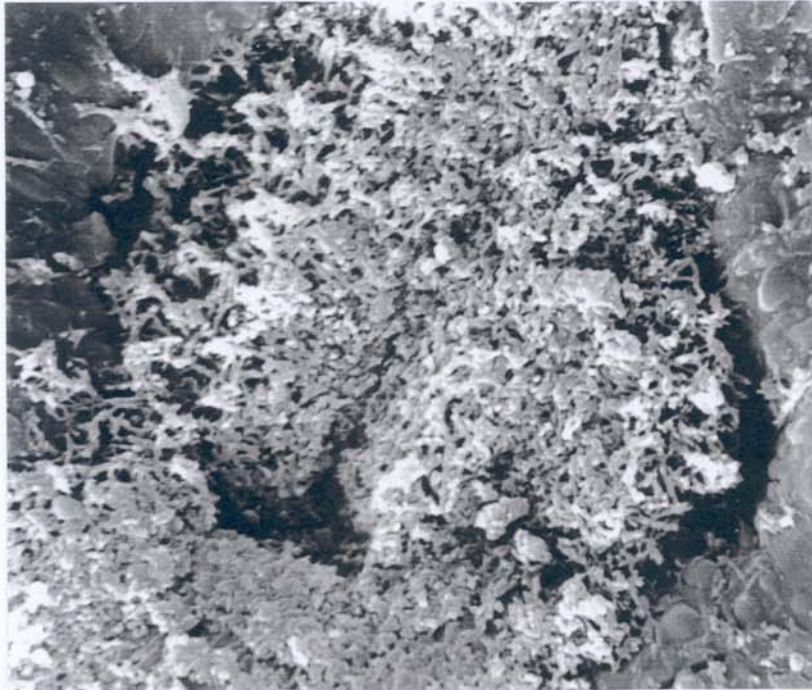


Abb. 25: **Wietersdorf, W 6/2**: REM-Aufnahme einer für diesen Probepunkt charakteristischen Spaltöffnung mit beginnender Wachsdegradation. Vergrößerung: 3000fach.



Abb. 26: **Wietersdorf, W 18/1**, REM-Aufnahme eines Nadelbereiches mit massiver Staubebelegung. Vergrößerung: 350fach.

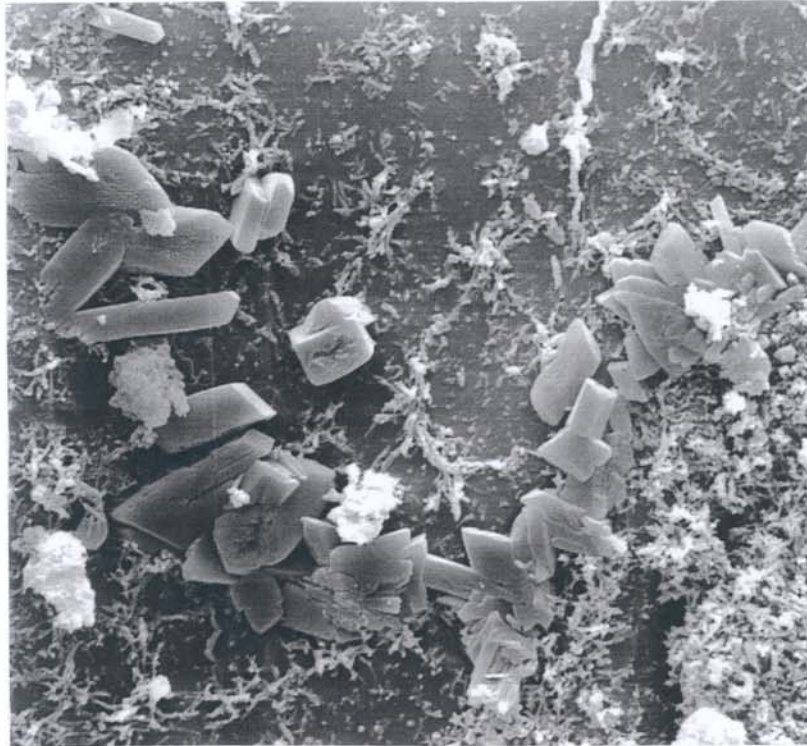


Abb. 27: **Wietersdorf, W 18/1**, REM-Aufnahme von kleinen Gipskristallen. Vergrößerung: 2300fach.

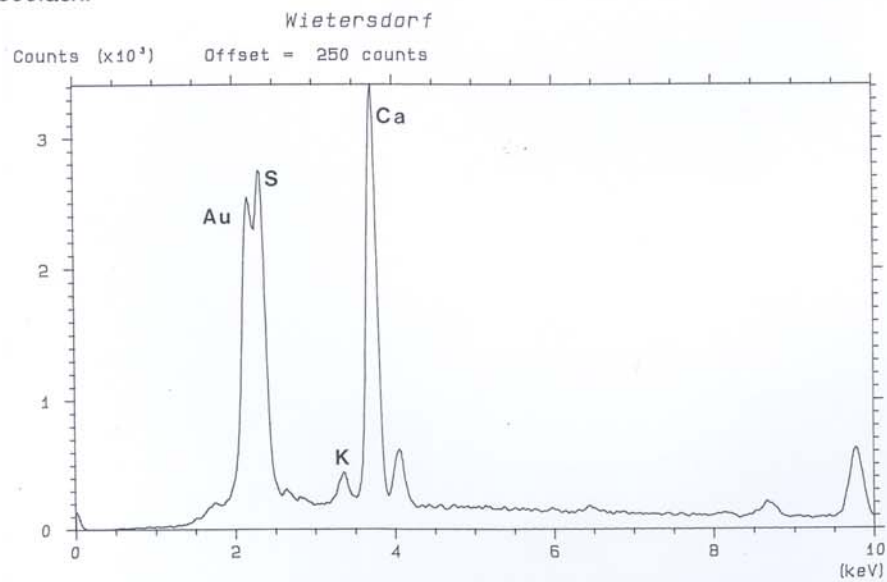


Abb. 28: **Wietersdorf, W 18/1**, EDX-Spektrum der in Abb. 27 und 29 dargestellten Gipskristalle.

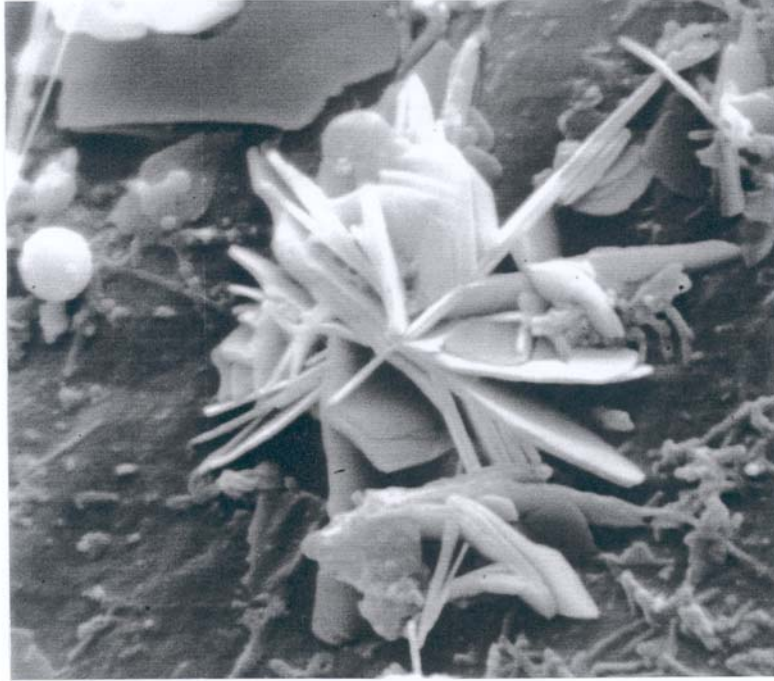


Abb. 29: *Wietersdorf, W 18/1, REM-Aufnahme von Gipskristallen. Vergrößerung: 7000fach.*

7 QUELLENNACHWEIS

BERGMANN, W., 1993:

Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart.

BERICHT ÜBER DIE UMWELTSITUATION AN AUSGEWÄHLTEN LANGJÄHRIGEN INDUSTRIESTANDORTEN. 1992, Umweltbundesamt Wien.

BERMADINGER, E., GRILL, D., GOLOB, P., 1987:

Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse. *Phyton (Austria)* 27/1, S. 15-29.

CROSSLEY, A., FOWLER, D., 1986:

The weathering of Scots pine epicuticular wax in polluted and clean air. *New Phytol.* 103, S. 207-218.

HAFNER, L., 1986:

Zur Feinstruktur der geschädigten Kiefernadel. *AFZ* 45, S. 1119-1121.

HUTTUNEN, S., LAINE, K., 1983:

Effects of air-borne pollutants on the surface wax structure of *Pinus sylvestris* needles. *Ann. Bot. Fennici* 20, S. 79-86.

KARHU, M., HUTTUNEN, S., 1986:

Erosion effects of air pollution on needle surfaces. *Water, Air & Soil Pollut.* 31, S. 417-423.

KOFLER, W. ET AL., 1986:

Lufthygienische Schwerpunktstudie Klein St. Paul-Wietersdorf. Amt der Kärntner Landesregierung.

KOFLER, W. ET AL., 1992:

Lufthygienische Schwerpunktstudie Treibach-Althofen. Amt der Kärntner Landesregierung.

KRAFT, G., 1884:

Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellungen und Lichthieben. Hannover.

ÖNORM M 6279, 1991:

Bestimmung von 33 Elementen mittels ICP-AES.

SAUTER, J. J., KAMMERBAUER, H., PAMBOR, L., HOCK, B., 1987:

Evidence for the accelerated micromorphological degradation of epistomatal waxes in Norway spruce by motor vehicle emissions. Eur. J. For. Path. 17, S. 444-448.

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, S. 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.

VOGEL, W. R., KIENZL, K., RISS, A., 1991:

Die Treibacher Chemischen Werke. Wirkungen auf die Umwelt. Monographie Bd. 26. Umweltbundesamt 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, S. 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.