

# WACHSQUALITÄT, NÄHR- UND SCHADSTOFF- KONZENTRATIONEN VON FICHTENNADELN

Untersuchungsergebnisse 1995

Cristina TRIMBACHER  
Peter WEISS

MONOGRAPHIEN  
Band 90  
M-090

Wien, 1997

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



**Projektleitung**

Cristina TRIMBACHER

**Autoren**

Cristina TRIMBACHER  
Peter WEISS

**Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen der Fichtennadeln**

Cristina TRIMBACHER  
Andreas KNIESCHEK

**Analytik**

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

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

**weitere Mitarbeiter**

Bernhard GRÖGER, Evelyn NEUHOLD, Maria EICHHORN

**GIS**

Felix LUX, Edwin BAUMGARTNER, Gabriele ZEHETNER, Bernhard SCHWARZL

**Übersetzung**

Cristina TRIMBACHER

**Titelphoto**

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

**Impressum**

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

Druck: Wograndl, Mattersburg

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

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1	NADELWACHSE UND BIOINDIKATION .....	1
1.2	ZIELE DER GEGENSTÄNDLICHEN STUDIE.....	1
<b>2</b>	<b>PROBENAHMEN UND STANDORTE</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>UNTERSUCHUNGSMETHODEN</b> .....	<b>4</b>
3.1	RASTERELEKTRONENMIKROSKOPIE .....	4
3.1.1	Beurteilungsmethode .....	4
3.2	CHEMISCH-ANALYTISCHE METHODEN .....	10
3.2.1	Gesamtschwefel.....	10
3.2.2	Chlorid.....	10
3.2.3	Stickstoff.....	10
3.2.4	Nährelemente und Schwermetalle .....	10
3.3	STATISTISCHE METHODEN .....	11
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b> .....	<b>12</b>
4.1	EMITTENTENNAHE STANDORTE .....	12
4.1.1	Arnoldstein .....	12
4.1.2	Breitenau.....	15
4.1.3	Brixlegg .....	22
4.1.4	Brückl .....	24
4.1.5	Graz.....	30
4.1.6	Innsbruck.....	35
4.1.7	Leoben/Donawitz.....	42
4.1.8	Linz.....	51
4.1.9	Radenthein .....	55
4.1.10	Radfeld .....	60
4.1.11	Reutte.....	66
4.1.12	Treibach .....	68
4.1.13	Wiietersdorf .....	75
4.1.14	Zederhaus .....	81
4.2	HINTERGRUNDSTANDORTE .....	84
4.2.1	Ergebnisse für das Jahr 1995 .....	85
4.2.2	Unterschiede zwischen den Jahren 1993 und 1995 .....	95
4.3	VERGLEICHE NACH STANDORTSKATEGORIEN .....	97
4.3.1	Wachsqualität, Gips-, Staub- und Epibiontenbelegung der Fichtennadeln .....	97
4.3.2	Nähr- und Schadstoffgehalte der Fichtennadeln.....	102

<b>4.4</b>	<b>ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN EINZELNEN PARAMETERN .....</b>	<b>121</b>
4.4.1	Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Staub auf den Spaltöffnungen.....	121
4.4.2	Unterschiede zwischen den Standorten mit und ohne Gipskristallen in den Spaltöffnungen .....	123
4.4.3	Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern .....	124
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>126</b>
<b>6</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>129</b>
<b>7</b>	<b>QUELLENACHWEIS .....</b>	<b>130</b>

## ZUSAMMENFASSUNG

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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