©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Phyton (Austria)	**Vol. 27**	Fasc. 1	15–29	17. 7. 1987

Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse

Von

Edith BERMADINGER*), Dieter GRILL*) und Peter GOLOB**)

Mit 22 Abbildungen (3 Tafeln)

Eingelangt am 19. Februar 1986

Key words: *Picea abies,* spruce, magnesite dust, air pollution, wax.

Summary

BERMADINGER E., GRILL D. & GOLOB P. 1987. Influence of magnesite dusts on waxes of spruce needles. – Phyton (Austria) 27 (1): 15–29, with 22 figures (3 plates). – German with English summary.

Several methods of scanning electron microscopy are applied to examine the surface structures of spruce needles influenced by MgO-containing dusts. Such alkaline dusts cause grave alterations of the epicuticular wax structures: short time stress leads to a loosening of the structural wax in the stomatal antechamber caused by a beginning disintegration of the wax tubes at their tips. Long time stress effects a nearly complete fusion of the wax structures. Besides an erosion of the needle surface takes place. These alterations can be observed with needles from a polluted site as well as with needles artificially dusted with MgO. Effects on water relations and photosynthesis are discussed.

Zusammenfassung

BERMADINGER E., GRILL D. & GOLOB P. 1987. Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse. – Phyton (Austria) 27 (1): 15–29, mit 22 Abbildungen (3 Tafeln). – Deutsch mit englischer Zusammenfassung.

Verschiedene REM-Untersuchungsmethoden kommen zur Anwendung, um die Oberflächenstrukturen von Fichtennadeln zu untersuchen, die dem Einfluß MgO-hältiger Stäube ausgesetzt sind. Diese alkalischen Stäube bewirken eine drastische Veränderung der Epicuticularwachse: kurzfristige Belastung führt, bedingt durch eine beginnende Verschmelzung der Wachsröhrchen, zu einer Auflockerung des über

*) Prof. Dr. D. GRILL, E. BERMADINGER, Institut für Pflanzenphysiologie, Karl-Franzens-Universität Graz, Schubertstraße 51, A-8010 Graz (Austria).

**) Dr. P. GOLOB, Zentrum für Elektronenmikroskopie, Steyrergasse 17, A-8010 Graz (Austria).

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

den Spaltöffnungen gelegenen Wachspfropfens; stärkere Belastung hat fast vollständige Verklebungen der Wachsstrukturen über den Stomata zur Folge. Zudem kommt es zu einer Verkahlung der übrigen Oberfläche. Sowohl bei Nadeln aus dem untersuchten Immissionsgebiet als auch bei künstlich mit MgO bestaubten Nadeln können diese Veränderungen beobachtet werden. Auswirkungen auf den Wasserhaushalt und die Photosynthese werden diskutiert.

Einleitung

Nach GRILL & GOLOB 1983 bewirken Neutralstäube lediglich eine Auflagerung auf die Nadeloberfläche. Allerdings kann es durch Verstopfen der Stomata und Blockierung der Schließzellen durch Staubpartikel zu Beeinflussung des Wasserhaushaltes kommen (RICKS & WILLIAMS 1974, FLÜCKIGER & al. 1977, GODZIK & al. 1979). Eine solche Staubschicht vermindert auch den Lichtzutritt und es kommt zu einer Reduzierung der Photosynthese (GARBER 1967).

Wie mehrfach berichtet, sind die Wachsstrukturen an den Oberflächen von Koniferennadeln als Röhrchen ausgebildet (JOHNSON & JEFFREE 1970, GRILL 1973 a, THAIR & LISTER 1975, REICOSKY & HANOVER 1976, HUTTUNEN & LAINE 1983, GÜNTHARDT 1985 u.v.a.).

Das an den Blattoberflächen abgelagerte Wachs hat physiologische Funktionen im Wasserhaushalt der Pflanzen. Es beeinflußt sowohl die cuticuläre Transpiration (SCHÖNHERR 1976) als auch den Gasaustausch durch die Spaltöffnungen (JEFFREE & al. 1971).

Da bei GRILL & GOLOB 1983 jedoch Hinweise bestehen, daß alkalische Stäube die Oberflächenwachse der Koniferen schädigen, haben wir uns die Aufgabe gestellt, mittels REM-Untersuchungen herauszufinden, in welchem Ausmaß Wachse durch derartige Immissionen beeinträchtigt werden. Weiters sollen Experimente mit künstlichen Bestaubungen eine eindeutige Antwort auf die Frage geben, inwieweit Magnesitstäube phytotoxisch sind.

Material und Methode

Das Immissionsgebiet Breitenau ist ein in der Steiermark gelegenes Seitental des Murtales, in dessen engem Talbereich ein Magnesitwerk betrieben wird. Drei Staubfilter sorgen für eine Eliminierung des Grobstaubes sowie eines Großteils des Feinstaubes. Als Energiequelle dient Erdgas. Vor allem auf flachgründigen Hängen und Rücken in Haupt-Windrichtung kann eine sehr starke Schädigung des Fichten- und Kiefernbestandes beobachtet werden (SCHNOPFHAGEN 1980). Zum Teil handelt es sich um alte Schäden vor Einbau von umweltverbessernden Maßnahmen; in besorgniserregendem Ausmaß sind jedoch zunehmende Waldschäden zu beobachten, die letztlich auf die noch vorhandenen alkalisch wirkenden Feinstäube zurückgeführt werden.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Die Proben stammen von mindestens 50-jährigen Fichten; das Untersuchungsmaterial wurde, in unterschiedlicher Entfernung zum Werk, aus dem oberen Kronenbereich entnommen, wobei entweder Zapfenpflücker eingesetzt oder die Bäume gefällt wurden. Die Kontrollen stammen aus einem abseits gelegenen Graben, der im Windschatten des Werkes gelegen und noch zusätzlich durch einen vorgelagerten Rücken geschützt ist. Parallel dazu wurden künstliche Bestaubungen an einem ca. 15-jährigen Fichtenbestand in ± schadstofffreier Lage in der Umgebung von Graz durchgeführt.

a) Künstliche Bestaubung

Bestaubt wurde mit Sinterstaub aus den Staubfiltern des Werkes, sowie mit MgO p. a. (Merck); dieses wurde z. T. durch 24stündiges Erhitzen bei 800–900° C wasser- und carbonatfrei gemacht, derartig aktiviertes MgO wurde im Exsiccator aufbewahrt. Zur Bestaubung wurde ein ca. 6 l fassender Plastiksack mit etwas Magnesitstaub beschickt und dann so über einen ausgewählten Zweig gestülpt, daß stets zwei Nadeljahrgänge eingeschlossen waren; Plastiksack und Zweig wurden nun kurz geschüttelt, der Staub wird aufgewirbelt und lagert sich auf den Nadeln ab.

Kontrollen stammen stets vom selben Baum, aus gleicher Exposition und Insertionshöhe und waren den gleichen Umwelteinflüssen ausgesetzt. Die Bestaubungen erfolgten mehrmals pro Woche. Gesamtdauer: mehrere Wochen bis mehrere Monate in mehreren Versuchsreihen.

Beim Transport ins Labor, der möglichst rasch erfolgte, wurde besonders darauf geachtet, die Zweige weder mechanisch noch thermisch zu belasten. Nadeln wurden mit einer Pinzette dem Zweig entnommen und luftgetrocknet (vgl. GRILL & GOLOB 1983).

b) REM-Untersuchungsverfahren

Zur Untersuchung von Nadeloberflächen kann das REM mit Erfolg herangezogen werden. Einerseits ermöglicht es die direkte Beobachtung der Oberfläche, andererseits kann mit diesem Gerät eine Aussage über Verteilung und Zusammensetzung verunreinigender fester Partikel getroffen werden. Im Folgenden sei deshalb kurz auf die einzelnen Untersuchungsverfahren eingegangen, insbesondere auch deshalb, weil unseres Wissens keine Veröffentlichungen vorliegen, in denen Pflanzenoberflächen mit mehreren im Rahmen der Rasterelektronenmikroskopie einsetzbaren analytischen Verfahren untersucht wurden. Zur rasterelektronenmikroskopischen Abbildung werden im allgemeinen niederenergetische Elektronen (≤ 100 eV) herangezogen, welche beim Auftreffen der hochenergetischen Primärelektronen (10 bis 30 keV) durch inelastische Wechselwirkungen aus der Probe herausgelöst werden. Diese Sekundärelektronen (SE) stammen wegen ihrer niedrigen Energie aus geringen Tiefen unter der Probenoberfläche (etwa 1 nm); die Zahl der ausgelösten Elektronen hängt u. a. von der lokalen

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Neigung der Probe im Auftreffpunkt des rasternden Strahls ab, wodurch sich ein starker Reliefkontrast ergibt. Diese Abbildungsart eignet sich demnach in erster Linie zur Wiedergabe der Oberflächentopographie der Probe, wobei zur Erzielung der benötigten Oberflächenleitfähigkeit und zur Verbesserung der Abbildung gewöhnlich eine Beschichtung mit Schwermetallen (z. B. Au-Sputterung) durchgeführt wird (REIMER & PFEFFERKORN 1977).

Neben den genannten Elektronen können jedoch auch hochenergetische Elektronen die Probe wieder verlassen. Es handelt sich hierbei um Primärelektronen, welche an den Atomkernen der Probe elastische Streuprozesse erlitten haben. Die Intensität dieser rückgestreuten Elektronen (RE) ist abhängig von der Ordnungszahl der streuenden Elemente, sodaß nach Ausmittelung der Richtungsabhängigkeit durch eine geeignete Detektoranordnung (z. B. Halbleiterringdetektor) vorzugsweise Materialkontrast erzeugt werden kann. Rasterelektronenmikroskopische Abbildungen, die auf diese Weise hergestellt werden, zeigen nur geringen Reliefkontrast, Probeninhomogenitäten werden hingegen umso heller wiedergegeben, je höher die mittlere Ordnungszahl an der betrachteten Stelle der Probe ist. Zusätzlich treten die abbildenden Elektronen wegen ihrer höheren Energie aus wesentlich größeren Tiefen unter der Probenoberfläche (etwa 1 µm) aus, sodaß man mit dieser Abbildungsart auch Details erkennen kann, die unter der Probenoberfläche liegen. Eine Schwermetallbeschichtung würde den Materialkontrast reduzieren, sodaß für diese Art der Abbildung möglichst dünne leitfähige Schichten niedriger Ordnungszahl (z. B. C) vorzuziehen sind (vgl. GRILL & GOLOB 1983).

Kohlenstoffbedampfungen werden üblicherweise auch dann als Präparationsverfahren herangezogen, wenn die Probe mittels Elektronenstrahlmikroanalyse (Mikrosonde) untersucht werden soll, wenn also die durch die primären Elektronen in der Probe erzeugte Röntgenstrahlung für eine Elementaranalyse herangezogen werden soll. Diese Röntgenstrahlung besteht aus zwei Anteilen und zwar aus dem (für die Probenzusammensetzung) charakteristischen Linienspektrum und aus dem kontinuierlichen Bremsspektrum. Das gesamte aus der Probe austretende Röntgenspektrum wird in jenem Probenbereich erzeugt, in welchem die primären Elektronen ihre Energie abgeben. „Punktanalysen" (Spots) werden bei stationärem Elektronenstrahl durchgeführt; in diesem Fall weist das analysierte Volumen einen Durchmesser von größenordnungsmäßig einem µm auf.

Für flächenhafte Übersichtsanalysen läßt man den anregenden Elektronenstrahl über die Probe rastern. Das gesamte vom Strahl überstrichene Probengebiet liefert dann einen Beitrag zum Röntgenspektrum; die Größe des Analysenfeldes kann über die Vergrößerungseinstellung gewählt werden.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Im allgemeinen wird das aus der Probe austretende Röntgenspektrum mit Hilfe von „energiedispersiven Röntgenspektrometern" simultan registriert. *In diesem Fall liegt die Nachweisempfindlichkeit für die erfaßbaren* Elemente mit Ordnungszahlen ≥ 11 bei etwa 0.1 Gew.%.

Greift man aus dem gesamten Spektrum einen Energiebereich (das sogen. Energiefenster) heraus, der eine oder mehrere Linien eines Elementes enthält, und verwendet man alle Röntgenquanten, deren Energie in diesem Energiebereich liegt, zur rasterelektronenmikroskopischen Bilderzeugung, so gewinnt man ein Verteilungsbild des betreffenden Elementes. Dieses „Elementverteilungsbild" ist aus hellen Punkten aufgebaut, wobei jeder Punkt einem registrierten Röntgenquant entspricht. Die Dichte der hellen Punkte an einer bestimmten Stelle der Probe wird umso größer sein, je höher dort die Röntgenintensität in dem gewählten Energiefenster ist.

Die Röntgenintensität eines Elementes hängt jedoch nicht nur von seiner Konzentration in der Probe ab, sondern auch von den Begleitelementen und den durch die Oberflächentopographie beeinflußten Absorptionsverhältnissen für die aus der Probe austretende Röntgenstrahlung. Des weiteren wird im gewählten Energiefenster nicht nur die charakteristische Strahlung des interessierenden Elementes registriert, sondern auch der entsprechende Anteil des Bremsspektrums, welches ebenfalls durch die Probenzusammensetzung beeinflußt wird. Die genannten Faktoren führen dazu, daß Inhomogenitäten bzw. Oberflächenstrukturen zu Änderungen der Röntgenintensität und damit zu Helligkeitsunterschieden im Elementverteilungsbild führen können, selbst wenn die Konzentration des Analysenelements konstant ist. Eine kritische Beurteilung derartiger Elementverteilungsbilder ist daher unumgänglich (READ 1975).

Für die Beobachtung im REM wurden die auf einem Kupferteller montierten Fichtennadeln durch Kathodenzerstäubung von Gold leitfähig gemacht. Die Beobachtung erfolgte mit einem Cambridge Stereoscan Mark II-a bei 20 kV (GRILL 1973 a, BRUNEGGER & al. 1982). Die röntgenspektrometrische Analyse erfolgte bei unseren Arbeiten bei 10.000–50.000facher Vergrößerung, was Analysenfeldern von 100 bis 4 μm^2 entspricht.

Ergebnisse und Diskussionen

Mittels Ringdetektor konnte festgestellt werden, daß die Staubbelastung der Nadeln in diesem Immissionsgebiet relativ gering ist und nur aus sehr feinen Partikeln besteht (Abb. 7). Die Mikrosondenuntersuchungen ergeben ein eindeutiges Dominieren von Mg in den Auflagerungen; Ca ist nur in sehr geringen Mengen vertreten (Abb. 1). Abb. 8 zeigt das Elementverteilungsbild für Mg und Abb. 2 die Analyse eines Mg-haltigen Staubpartikels. Der dolomithaltige Untergrund kann als überwiegende Mg-Quelle der Staubauflagerungen ausgeschlossen werden, da in diesem Falle bei

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

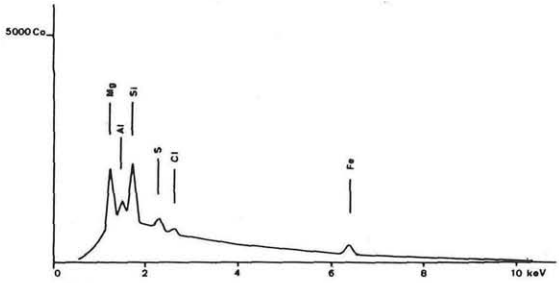


Abb. 1

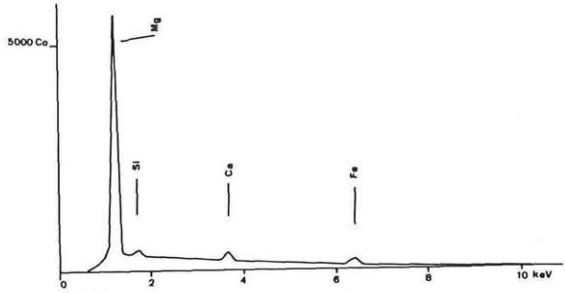


Abb. 2

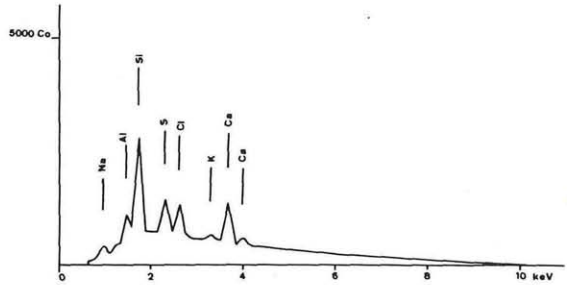


Abb. 3

Abb. 1–6: Analysen mit der Mikrosonde.

Abb. 1: Nadel aus der Breitenau, Vergrößerung: 2000fach.
Abb. 2 und 3: Nadeln aus der Breitenau, Spot.

weitem mehr Ca vorhanden sein müßte. Nicht zuordenbare Staubpartikel (Abb. 7) stammen aus der Humusauflage des Bodens; beim Herunterwerfen der Zweige aus der Krone bzw. dem Fällen der Bäume kann Bodenkontakt nicht vermieden werden. Die Elementanalyse zeigt das typische Bild eines Bodenpartikels (Abb. 3). Cl und z. T. S könnten aus gasförmigen Depositionen am Boden stammen. Die Technologie des Magnesitwerkes und die Besiedelung des Tales lassen derartige Immissionen im Breitenauer Tal erwarten. Damit wurde die Annahme bestätigt, daß der größte Teil der Mg-

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

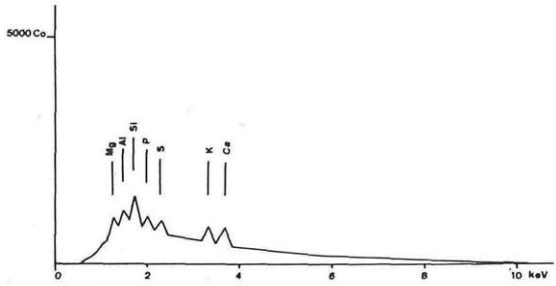


Abb. 4

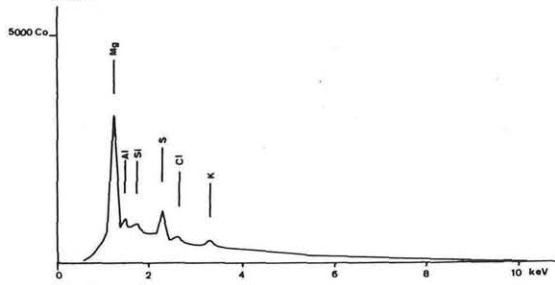


Abb. 5

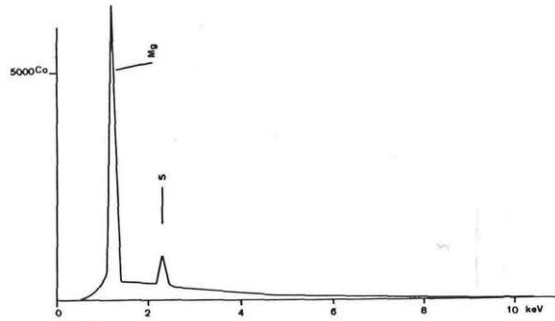


Abb. 6

Abb. 4: Kontrollnadel, unbelastet, Vergrößerung: 2000fach.
Abb. 5: Nadel mit MgO bestaubt, Vergrößerung: 2000fach.
Abb. 6: wie Abb. 5, Spot.

haltigen Staubauflagerungen aus Industrieemissionen stammt. Wie aus der Technologie des Magnesitwerkes ableitbar ist, handelt es sich bei den Immissionen um MgO-haltige Feinstäube, die bei den hohen Temperaturen wasser- und carbonatfrei, also in sehr aktiver Form emittiert werden. Grobstäube und auch ein sehr großer Teil der Feinstäube werden durch Elektrofilter zurückgehalten.

Die Wachse zeigen bei den diesjährigen Nadeln der Kontrollbäume das für unbelastetes Material übliche, locker strukturierte Aussehen. Sowohl

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

auf der Oberfläche als auch über den Spaltöffnungen sind bei Fichtennadeln Wachse anzutreffen (Abb. 13/14) (vgl. GRILL 1973 a, HUTTUNEN & LAINE 1983, GÜNTHARDT & WANNER 1982).

Unter dem Einfluß alkalischer Stäube kommt es eindeutig zu einer Zerstörung der Wachsstrukturen. Einerseits kommt es auf der Nadeloberfläche durch Erosion der Wachse zu einer Verkahlung, andererseits weisen die Wachsstrukturen über den Spaltöffnungen sehr starke Verklebungen auf (Abb. 15/16). Bis in ca. 2,5 km Entfernung vom Werk talauswärts zeigen freistehende Fichten noch derartig ausgeprägte Symptome. Diese nehmen mit wachsender Entfernung vom Werk einerseits, mit zunehmendem Bestandesschutz andererseits wieder ab.

Aus der Literatur ist bekannt, daß das Altern auch unbelasteter Nadeln sich in einer Erosion der Wachse und einem Aggregieren der Wachsröhrchen äußert (GRILL 1973 a, GÜNTHARDT & WANNER 1982), ein Vorgang, der bei schadstoffbelastetem Material offensichtlich bereits die jungen Nadeln ergreift (vgl. auch GRILL 1973 b, HUTTUNEN & LAINE 1983).

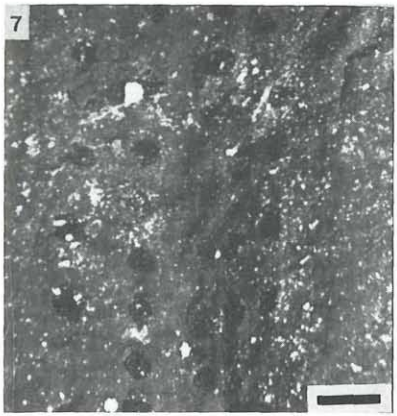
Die älteren Nadeln, die bereits ein- oder zweimal überwintert haben, sind sehr viel stärker beeinflußt als junge Nadeln und zeigen weitgehendere Verklebungen, die bis zum totalen Verschluß der Spaltöffnungen reichen, sowie nur mehr geringe Wachsreste auf der Oberfläche (Abb. 15/16). Auch von der Witterung ist das Ausmaß der Schädigung der Wachse abhängig. Die Vegetationsperiode 1985 war bis August durch besonders häufige und reichhaltige Niederschlagstätigkeit gekennzeichnet, und während dieser Zeit war ein wesentlich geringerer Einfluß auf die Wachse festzustellen; so war auf den jungen Nadeln nur geringe Auflockerung der Wachsstrukturen über den Stomata zu beobachten (Abb. 17/18). Als Ende August für rund 2 Monate eine nahezu niederschlagsfreie Zeit einsetzte, verschlimmerte sich das Aussehen der Wachse zusehends und erfaßte sowohl diesjährige als auch ältere Jahrgänge (Abb. 16). Starke und häufige Niederschläge waschen also die Stäube weitgehend ab, bevor sie mit den Wachsen reagieren können. Bei trockener Wetterlage können sich die Stäube auflagern und mit den Wachskomponenten auf der Oberfläche bei gleichzeitigem Vorhandensein von Tau, Nebel u. a. reagieren.

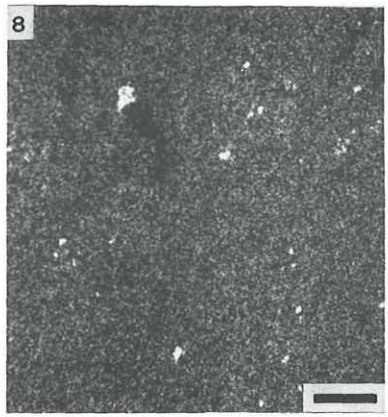
Um die im Immissionsgebiet zu beobachtenden Zerstörungen der Epicuticularwachse von Fichtennadeln eindeutig auf die Staubkomponente

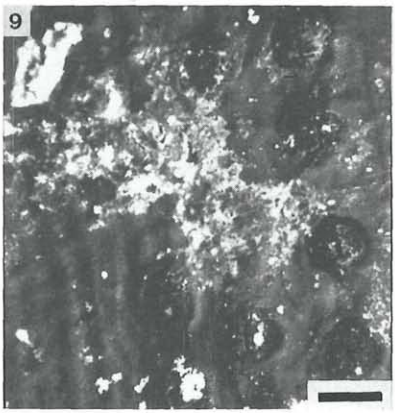
---

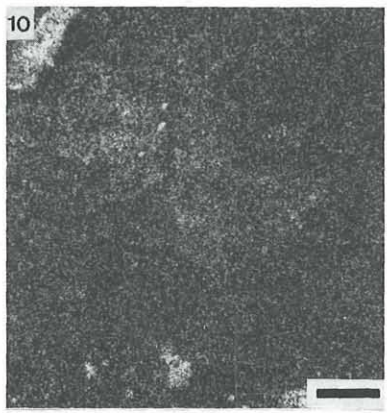
Abb. 7: Ringdetektor, Nadel aus der Breitenau, Maßstrich = 100 µm.
Abb. 8: Mg-Verteilungsmuster zu Abb. 7.
Abb. 9: Ringdetektor, Nadel mit MgO bestaubt, Maßstrich = 50 µm.
Abb. 10: Mg-Verteilungsmuster zu Abb. 9.
Abb. 11: Ringdetektor, Kontrollnadel, Maßstrich = 50 µm.
Abb. 12: Mg-Verteilungsbild zu Abb. 11.

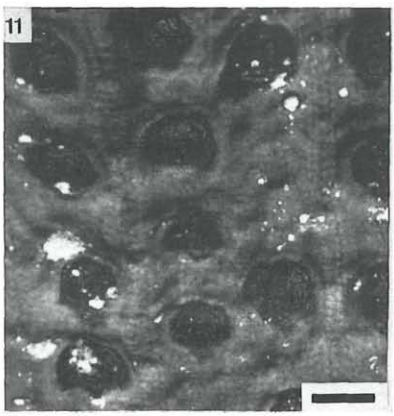
©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

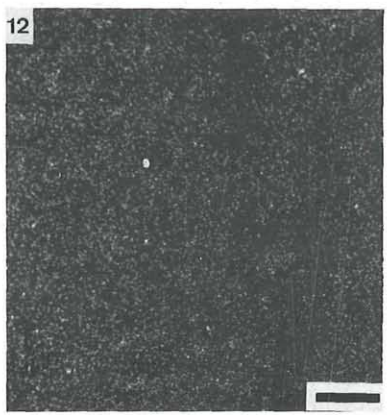












©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

zurückführen zu können, wurden parallel zu den Untersuchungen im Immissionsgebiet auch künstliche Bestaubungen durchgeführt.

Die Untersuchungen mit der Mikrosonde zeigen das Dominieren von Mg in den Auflagerungen der bestaubten Nadeln gegenüber den Kontrollen (Abb. 4/5), und die Analyse eines Staubpartikels belegt, daß es sich um Mg-Stäube handelt (Abb. 6).

Die Aufnahmen bei Verwendung des Ringdetektors zeigen die starke Staubbelastung der künstlich mit MgO bestaubten Nadeln im Gegensatz zu den Kontrollnadeln (Abb. 9/11). Genauso deutlich sind die Unterschiede, wenn man das Verteilungsmuster für Mg darstellt (Abb. 10/12). Die Behandlung mit Sinterstäuben, wie sie an den Filtern des Werkes abgelagert werden, führte bei den Nadeln mehr oder weniger nur zu mechanischen Schädigungen: es kommt zu Eindellungen der Wachsstrukturen, insbesondere über den Spaltöffnungen (Abb. 22).

Erfolgte die Behandlung hingegen mit aktiviertem MgO konnten der Breitenau vergleichbare Beeinflussungen der Wachse erzielt werden. Nach kürzerer Belastung von ca. 2 bis 3 Wochen Dauer waren leichte Verklebungen und Verschmelzungen der Wachsröhrchen zu beobachten. Das Maschennetz der Wachsstrukturen über den Spaltöffnungen war etwas erweitert (Abb. 19/20).

Bei Andauern der Bestaubungen führt eine weitergehende Verschmelzung der Wachsröhrchen miteinander zu starken Verklebungen, die bis zum völligen Verschluß der Spaltöffnungen führen können (Abb. 21).

Nicht vorbehandeltes MgO zeigte im Prinzip die gleichen Auswirkungen, allerdings in geringerer Ausprägung.

Die älteren Nadeln reagieren auch hier schneller und empfindlicher auf eine Staubbelastung. Eine Beeinflussung der Wachsstrukturen mit beginnenden Verklebungen konnte schon viel früher festgestellt werden als bei den jungen Nadeln. Auch waren die Verklebungen immer weitreichender und stärker ausgeprägt.

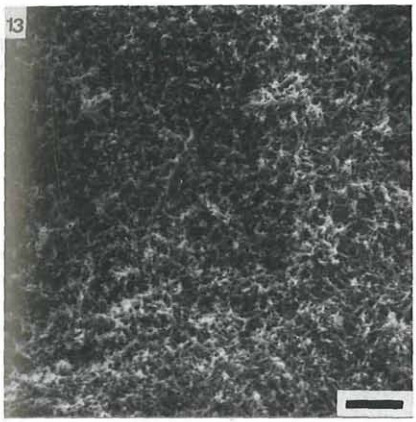
Die in der Breitenau gemachten Beobachtungen bezüglich der Niederschlagstätigkeit und der Ausbildung von Wachsschädigungen konnten auch bei der experimentellen Untersuchung wiederholt werden. In den meisten

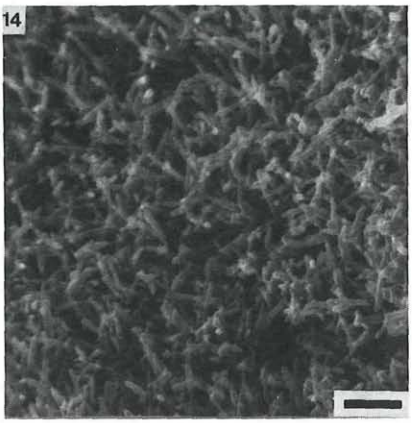
---

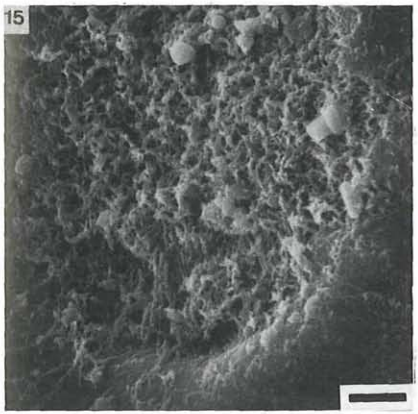
Abb. 13–22: REM-Aufnahmen

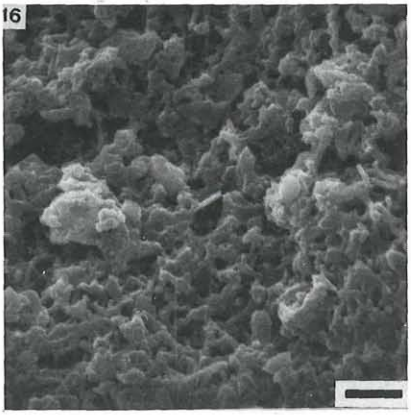
Abb. 13: Kontrolle, unbelastet, Maßstrich = 4.25 µm.
Abb. 14: wie Abb. 13, Maßstrich = 1.6 µm.
Abb. 15: Nadel aus der Breitenau, stark belastet, Maßstrich = 4.25 µm.
Abb. 16: wie Abb. 15, Maßstrich = 1.6 µm.
Abb. 17–21: Nadeln mit steigendem Schädigungsgrad, Maßstrich = 1.6 µm.
Abb. 17 und 18: Nadeln aus der Breitenau.

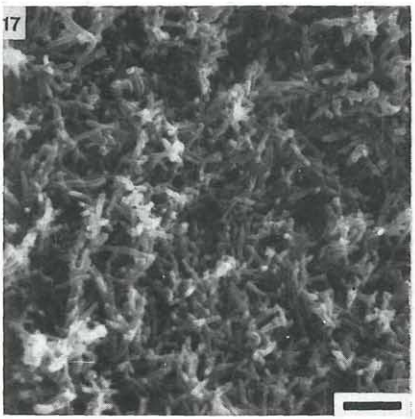
©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

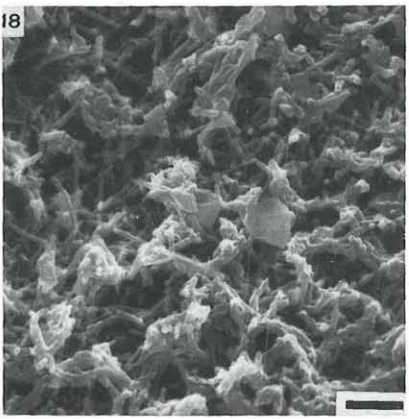












©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Fällen ist die starke Verklebung der Wachse auch mit einer Formänderung der Wachsröhrchen verbunden, in dem diese wesentlich gedrungener und voluminöser aussehen und mit dem Ausdruck „Quellungen" am besten zu charakterisieren wären. Dies deutet auf tiefgreifende Veränderungen auch im Chemismus der Wachse bedingt durch alkalische Stäube. Untersuchungen darüber werden gerade von unserer Arbeitsgruppe durchgeführt. Dazu kommt noch, daß offensichtlich derartig beeinflußte Wachse (sowohl aus der Breitenau, als auch experimentell hervorgerufen) besonders thermolabil werden, was bei den Untersuchungen unbedingt zu berücksichtigen ist. Kontrollnadeln erweisen sich stets als wesentlich robuster.

Sowohl im Immissionsgebiet Breitenau als auch bei den künstlichen Bestaubungen konnten dieselben Veränderungen der Wachsstrukturen beobachtet werden.

Die erste Folge einer Beeinflussung besteht darin, daß der dichte, aber gasgängige Wachspfropfen, bedingt durch leichte anfängliche Verklebungen der Wachsröhrchen miteinander, in eine sehr aufgelockerte Struktur mit großen Poren und Hohlräumen übergeht (Abb. 17–20). In weiterer Folge, bei Andauern der Immissionen, können die Verklebungen fortschreiten und soweit gehen, daß der Raum über den Schließzellen komplett verschlossen ist (Abb. 16/21). Gleichzeitig ist die Nadeloberfläche fast frei von Wachsen.

Die Veränderungen des Wachses über den Spaltöffnungen gehen in Abhängigkeit vom Alter der Nadeln vor sich, wobei die jungen Nadeln eher zu einer Auflockerung der Strukturen, die alten Nadeln hingegen zu einem völligen Verschluß der Spaltöffnungen neigen. In jedem Fall müssen derartige Veränderungen physiologische Konsequenzen mit sich bringen.

Wie JEFFREE & al. 1971 berichten, erhöht das strukturierte Wachs über den Spaltöffnungen die Diffusionswiderstände für Wasserdampf um ⅔ und für CO_2 um ⅓.

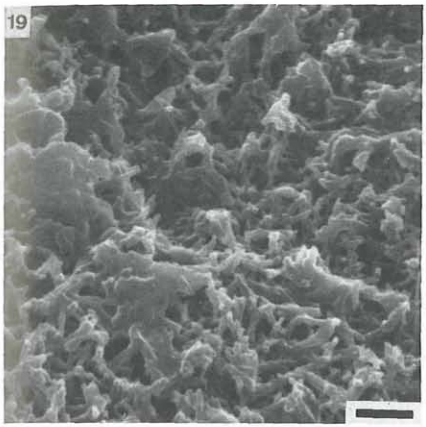
Eine Vermehrung und Vergrößerung der Hohlräume erniedrigt die Diffusionswiderstände, Störungen des Wasserhaushaltes sind die Folge.

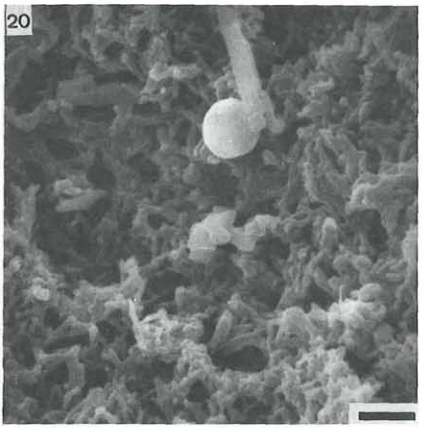
Steht der Baum bereis unter dem Einfluß von Trockenstreß, wird dieser durch eine erhöhte Transpiration noch weiter forciert. Nach HUTTUNEN & LAINE 1983 erhöhen geschädigte Oberflächenwachse die cuticuläre Transpiration, ein Vorgang, der besonders im Winter für die Nadelbäume von Bedeutung ist.

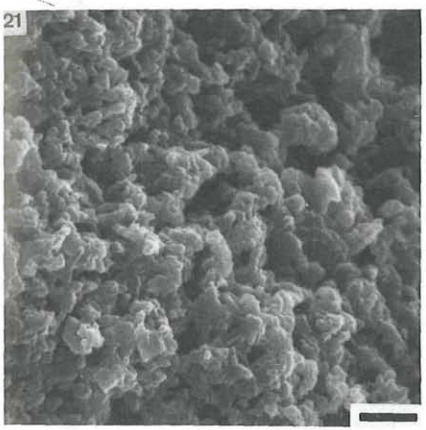
Ein Verschluß der Spaltöffnungen führt zu einer drastischen Reduzierung bzw. im Extremfall zu einer völligen Verhinderung des Gasaustausches. In der Folge kommt es zu stark verminderter Photosynthese vor allem der älteren Nadeln, die besonders stark zum Verkleben neigen.

Von CLARK 1961 wurde gezeigt, daß auch die alten Nadeln einen wesentlichen Anteil an der Gesamtphotosyntheseleistung des ganzen Baumes haben – die einjährigen Nadeln zeigen einen Wert bis zu 90%, die

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at







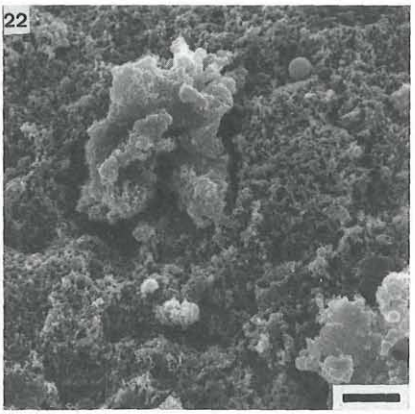


Abb. 19 und 20: Nadeln mit MgO bestaubt.
Abb. 21: Nadel mit MgO bestaubt.
Abb. 22: Nadel mit Sinterstaub, Maßstrich = 4.2 μm.

zweijährigen bis zu 80% der jungen Nadeln. Sie tragen somit noch wesentlich zur Stoffproduktion des Baumes bei.

Ähnliche Veränderungen der Wachse findet man auch unter dem Einfluß gasförmiger Immissionen (GRILL 1973 b, PERCY & RIDING 1978, TRIMBLE & al. 1982, HUTTUNEN & LAINE 1983, HUTTUNEN & SOIKKELI 1984), als auch bei NaCl-Aerosolen (KRAUSE 1982). Allerdings wird von keiner dieser genannten Substanzen ein derart dramatischer Effekt auf die Epicuticularwachse berichtet, was auf ein besonders aggressives Verhalten alkalischer Stäube hinweist, und wahrscheinlich auf direkte chemische Reaktionen, wie z. B. Verseifung von Wachskomponenten, zurückzuführen ist.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Danksagung

Die vorgelegte Arbeit wurde durch einen Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft unterstützt. An dieser Stelle sei Herrn Hofrat Dr. H. HORN für die Ermöglichung der REM-Untersuchungen im Zentrum für Elektronenmikroskopie Graz gedankt, sowie seinen Mitarbeitern für die sorgfältige Durchführung.

Literaturangaben

BRUNEGGER A., GRASENICK F., JAKOPIC E. & WALTINGER H. 1982. Ein Beitrag zur Präparation für elektronenmikroskopische Untersuchungen von Wachsstrukturen auf Pflanzenblätter. – Mikroskopie 39: 154–166.

CLARK J. 1961. Photosynthesis and respiration in White Spruce and Balsam Fir. – State Univ. Coll. For. Syracuse N. Y.

FLÜCKIGER W., FLÜCKIGER–KELLER H., QERTLI J. J. & GUGGENHEIM R. 1977. Verschmutzung von Blatt- und Nadeloberflächen im Nahbereich einer Autobahn und deren Einfluß auf den stomatären Diffusionswiderstand. – Eur. J. For. Path. 7: 358–364.

GARBER K. 1967. Luftverunreinigung und ihre Wirkungen. – Gebrüder Borntraeger. Berlin–Nikolasee.

GODZIK S., FLORKOWSKI T., PIOREK S. & SASSEN M. M. A. 1979. An attempt to determine the tissue contamination of *Quercus robur* L. and *Pinus sylvestris* L. foliage by particulates from zinc and lead smelters. – Environ. Pollut. 18: 97–106.

GRILL D. 1973 a. Rasterelektronische Untersuchungen an Nadeln einiger Pinaceen, Cupressaceen und Taxaceen. – Mikroskopie 29: 348–358.

– 1973 b. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen an SO_2-belasteten Fichtennadeln. – Phytopath. Z. 78: 75–80.

– & GOLOB P. 1983. SEM-Investigations of different dust deposition on the surface of coniferous needles and the effect on the needle wax. – Aquilo Ser. Bot. 19: 255–261.

GÜNTHARDT M. S. 1985. Entwicklung der Spaltöffnungen und der epicuticulären Wachsschicht bei *Pinus cembra* und *Picea abies*. – Bot. Helv. 95: 5–12.

– & WANNER H. 1982. Veränderungen der Spaltöffnungen und der Wachsstruktur mit zunehmendem Nadelalter bei *Pinus cembra* L. und *Picea abies* (L.) KARSTEN an der Waldgrenze. – Bot. Helv. 92: 47–60.

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.

– & SOIKKELI S. 1984. Effects of various gaseous pollutants on plant cell ultrastructure. – In: KOZIOL M. J. & WHATLEY F. R. (Eds.), Gaseous air pollutants and plant metabolism. p. 117–127. – Butterworths, London.

JEFFREE C. E., JOHNSON R. P. C. & JARVIS P. G. 1971. Epicuticular wax in the stomatal antechamber of Sitka spruce and its effects on the diffusion of water vapour and carbon dioxide. – Planta (Berl.) 98: 1–10.

JOHNSON R. P. C. & JEFFREE C. E. 1970. Negative stain in wax tubes from the surface of Sitka spruce leaves. – Planta (Berl.) 95: 197–182.

KRAUSE C. R. 1982. Identification of salt spray injury to *Pinus* species with SEM. – Phytopath. 72: 382–386.

©Verlag Ferdinand Berger & Söhne Ges.m.b.H., Horn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

PERCY K. E. & RIDING R. T. 1978. The epicuticular waxes of *Pinus strobus* subjected to air pollutants. – Can. J. For. Res. 8: 474–477.

READ S. J. B. 1975. Electronmicroprobe analysis. – Cambridge University Press.

REICOSKY D. A. & HANOVER J. W. 1976. Seasonal changes in leaf surface waxes of *Picea pungens*. – Amer. J. Bot. 63: 449–456.

REIMER L. & PFEFFERKORN G. 1977. Rasterelektronenmikroskopie. – Springer Verlag, Berlin–Heidelberg–New York.

RIDING R. T. & PERCY K. E. 1985. Effects of SO_2 and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on needles of *Pinus strobus* and *Pinus banksiana*. – New Phytol. 99: 555–563.

RICKS G. R. & WILLIAMS R. J. H. 1974. Effects of athmospheric pollution on deciduous woodland, Part 2: Effects of particulate matter upon stomatal diffusion resistance in leaves of *Quercus petraea* (MATTUSCHKA) LIEBL. – Environ. Pollut. 6: 87–109.

SCHNOPFHAGEN S. 1980. Immissionskontrolle in Waldgebieten durch die Forstbehörde in der Steiermark. – M. d. FBVA Wien 131: 11–32.

SCHÖNHERR J. 1976: Water permeability of isolated cuticular membranes: the effect of cuticular waxes on diffusion of water. – Planta (Berl.) 131: 159–164.

THAIR B. W. & LISTER G. R. 1975. The distribution and fine structure of the epicuticular leaf wax of *Pseudotsuga menziezii*. – Can. J. Bot. 53: 1063–1071.

TRIMBLE J. L., SKELLY J. M., TOLIN S. A. & ORCUTT D. M. 1982. Chemical and structural characterization of the needle epicuticular wax of two clones of *Pinus strobus* differing in sensitivity to ozone. – Phytopath. 72: 652–656.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Phyton, Annales Rei Botanicae, Horn

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: 27_1

Autor(en)/Author(s): Bermadinger Edith, Grill Dieter, Golob Peter

Artikel/Article: Einfluß von Magnesitstäuben auf Fichtennadelwachse. 15-29