

UBA-BE-062

BERICHTE

**ZUR BEEINFLUSSUNG VON  
FICHTENNADELWACHSEN IM RAUM  
ARNOLDSTEIN**



**ZUR BEEINFLUSSUNG VON  
FICHTENNADELWACHSEN IM  
RAUM ARNOLDSTEIN**

**Eine Studie mit dem  
Rasterelektronenmikroskop**

**UBA – BE – 062**

Wien, Mai 1996

Bundesministerium für Umwelt, Jugend  
und Familie



Autorin: Dr. Cristina Trimbacher

Projektleiterin: Dr. Cristina Trimbacher

unter Mitarbeit von: Bernhard Gröger, Andreas Knieschek

**Impressum:**

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

© Umweltbundesamt, Wien, Mai 1996

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-308-1

## **KURZFASSUNG**

Nadelwachse von Fichten aus den drei westlich des Industriestandortes Arnoldstein gelegenen Versuchsgärten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurden mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Die Bewertung der Wachsqualität erfolgte mit dem am Umweltbundesamt entwickelten Beurteilungsschlüssel. Mittels röntgenenergie-dispersiver Mikroanalyse (EDX) wurde die elementare Zusammensetzung von an den Nadeloberflächen anhaftenden Staubpartikel bestimmt.

Die Untersuchungen von Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1994 ergaben, daß die Wachsstrukturen leichte bis mittelstarke Beeinträchtigungen aufwiesen. Staubförmige Fremdpartikel konnten nicht nachgewiesen werden. Untersuchungen des 2. und 3. Nadeljahrganges 1994 zeigten, daß vor allem die Nadeloberflächen von Fichten aus dem Versuchsgarten 1 durch Staubverunreinigungen kontaminiert waren. Auffällig waren die Elemente Vanadium und Nickel im Staub, die auf einen Immissionseinfluß hindeuten. Zusätzlich wurden Gipskristalle gefunden, deren Auftreten mit sauren Niederschlägen in Verbindung gebracht werden kann.

# INHALTSVERZEICHNIS

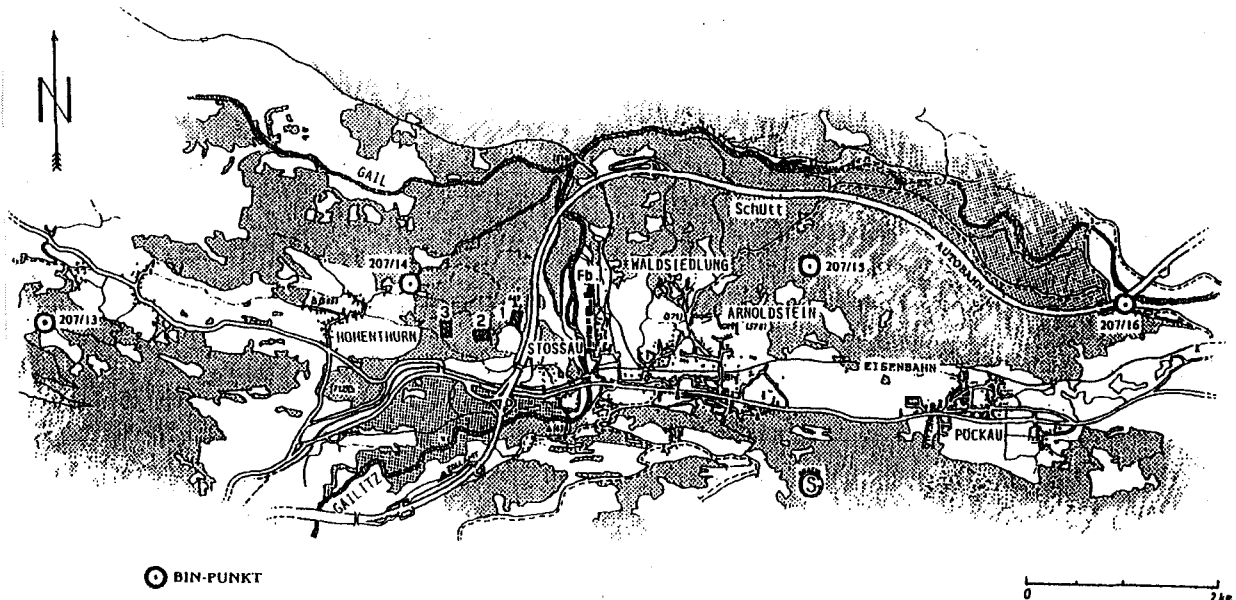
<b>1. Einleitung</b>	S. 1
<b>2. Untersuchungsmethodik</b>	S. 3
2.1. Probenvorbereitung	S. 3
2.2. Rasterelektronenmikroskopie (REM)	S. 3
2.3. Röntgenenergie-dispersive Mikroanalyse (EDX)	S. 4
<b>3. Untersuchungsergebnisse des 1. Njg. 1994</b>	S. 5
3.1. Versuchsgarten 1	S. 5
3.2. Versuchsgarten 2	S. 7
3.3. Versuchsgarten 3	S. 8
<b>4. Untersuchungsergebnisse des 2. und 3. Njg. 1994</b>	S. 10
<b>5. Zusammenfassung</b>	S. 14
<b>6. Literatur</b>	S. 16

## 1. EINLEITUNG

Bereits seit dem Mittelalter befinden sich im Gebiet Arnoldstein, im Süden Kärntens, Erzverhüttungs- und verarbeitungsbetriebe. Im Jahre 1867 wurde die Bleiberger Bergwerks Union (BBU) gegründet und errichtete bald darauf in Arnoldstein / Gailitz eine Bleihütte. Durch die Inbetriebnahme einer Zinkrösthütte im Jahre 1951, deren Röstgase zur Schwefelsäureproduktion verwendet wurden, kam es zu einer erheblichen Verschlechterung der Immissionsituation durch erhöhte Schwefeldioxidkonzentrationen in der Umgebungsluft. Die mengenmäßig bedeutsamsten Schadstoffe, die von der BBU neben Schwefeldioxid freigesetzt wurden, waren Staub und Staubinhaltsstoffe, vor allem Schwermetalle. Die Errichtung und Inbetriebnahme einer Rauchgasentschwefelungsanlage im Jahre 1987 führte zu einer kontinuierlichen Verbesserung der Belastungssituation. Durch weitere emissionsmindernde Maßnahmen (Schließung von Anlagenteilen, Umsetzung von behördlichen Vorgaben) verbesserte sich ab Sommer 1991 die Luftqualität in der Umgebung der BBU zusehends (BERICHT ÜBER DIE UMWELTSITUATION AN AUSGEWÄHLTEN LANGJÄHRIGEN INDUSTRIESTANDORTEN. UMWELTBUNDESAMT WIEN 1992). Im Zuge eines Sanierungskonzeptes kam es zur Gründung und Privatisierung von Tochterunternehmen, wie der BBU-Rohstoffgewinnungs GesmbH (BRG) und der CHEMSON Polymer-Additive GesmbH (CSA). Seit 1993 läuft in der BRG ein Versuchsbetrieb zur Verbrennung von Kunststoffen, Klärschlamm, mineralischen sowie gefährlichen Abfällen. Die CSA produziert Kunststoffadditive, Industriechemikalien und Bleioxid.

Im Rahmen einer interdisziplinären Studie der Universität für Bodenkultur und der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurden unter anderem wesentliche Grundlagen der Emissionssituation und deren Auswirkungen auf die forstlichen Zuwachsverhältnisse bei Altbeständen zusammengefaßt (HALBWACHS 1982). In drei im Jahre 1972 von der FBVA angelegten Versuchsgärten mit vorwiegend Jungfichten wurden ab 1986 Nadelanalysen auf die Gehalte an Schwefel, Fluor, Blei und Cadmium sowie Nährelemente durchgeführt (NEUMANN 1991). Ziel dieses Langzeitversuches war es unter anderem zu überprüfen, inwieweit sich die in den letzten Jahren werkseitig durchgeführten Maßnahmen der Emissionsreduktion sowohl in Hinblick auf die Immissionsbelastung als auch in den bodenkundlichen

Befunden und der Entwicklung der Pflanzen auswirken. Die drei Versuchsgärten liegen westlich des Werkes auf dem Stoßauer Hügel, der den Rauchgasen des Abgaskamins direkt ausgesetzt ist. Garten 1 befindet sich in ca. 1050 m Entfernung, Garten 2 in 1300 m und Garten 3 in 1900 m Entfernung vom Schlot (siehe Lageskizze).



*Lageskizze der drei Versuchsgärten der FBVA im Industriegebiet Arnoldstein (aus NEUMANN 1991).*

Im Rahmen der vorliegenden Studie des Umweltbundesamts wurden nun die Wachsstrukturen von Fichtennadeln, die aus diesen drei Versuchsgärten stammen, mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) untersucht. Zur Beurteilung der aktuellen Belastungssituation wurde die Wachsqualität der jeweils 1. Nadeljahrgänge (1994) bestimmt. Zur Feststellung einer möglichen Veränderung der Umweltsituation im Industriegebiet Arnoldstein wurden besonders an Nadeln des 2. und 3. Nadeljahrganges umfangreiche EDX-Analysen anhaftender Staubpartikel durchgeführt.



## 2. UNTERSUCHUNGSMETHODIK

### 2.1. Probenvorbereitung

Fichtennadeln aus den drei Versuchsgärten der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurden im Exsikkator über Blaugel bei Zimmertemperatur luftgetrocknet, mittels Doppelklebeband auf Aluminiumträgertischchen montiert, mit Gold besputtert (5 min.,  $1,8 \times 10^{-2}$  bar, 16 mA) und daran anschließend im Rasterelektronenmikroskop (Zeiss DSM 950) bei einer Beschleunigungsspannung von 5 - 20 kV untersucht.

### 2.2. Rasterelektronenmikroskop (REM)

Das rasterelektronenmikroskopische Untersuchungsverfahren ermöglicht eine exakte Beobachtung von Objektoberflächen. Ein fein gebündelter Elektronenstrahl wird in einem Raster Punkt für Punkt über das Präparat geführt und löst an dessen Oberfläche verschiedene Signale (Energieformen) aus, die mit geeigneten Detektoren empfangen und ausgewertet werden können. Eine Übersicht über die unterschiedlichen Energieformen, die als Folge der Wechselwirkung zwischen Primärelektronenstrahl und Probenoberfläche entstehenden, sind in Abb. 1 wiedergegeben.

PE...Primärelektronenstrahl  
 SE...Sekundärelektronenstrahl  
 BSE...Rückstreuelektronen („back scattered“)  
 CL...Kathodolumineszenz (nur dünne Präparate)  
 X...Röntgenstrahlen

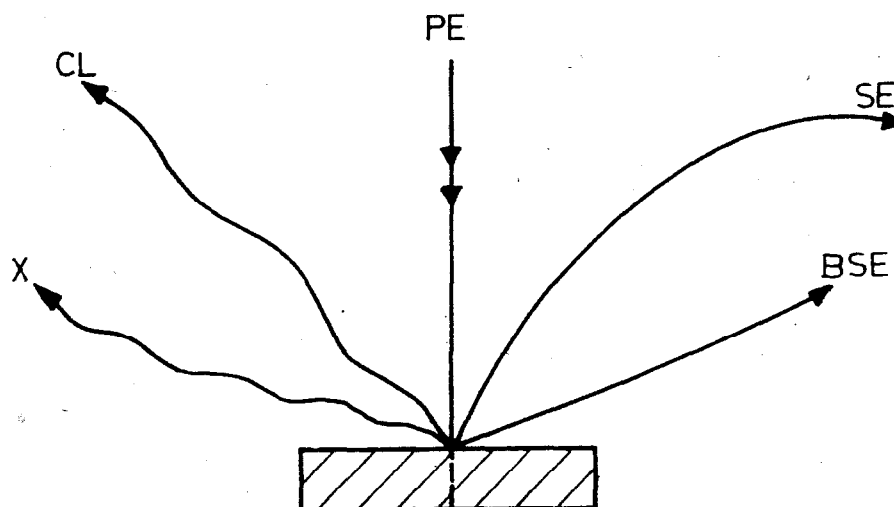


Abb. 1: Signalauslösung im REM

Die Abbildung des abgerasterten Feldes erfolgt auf einem Sichtmonitor (Bildschirm). Biologisches Material, wie z.B. Fichtennadeln, muß vor der Untersuchung im Hochvakuum zur Strukturhaltung getrocknet und anschließend mit einer leitfähigen Oberfläche (Gold) überzogen werden. Für die Untersuchung der Fichtennadeln wurde das Sekundärelektronensignal (SE) verwendet, welches Informationen aus der obersten Objektflächenschicht liefert.

Die mittlere Wachsqualität wurde mit einem neuen Beurteilungsschlüssel ermittelt (TRIMBACHER et al. 1995). Dabei werden die im REM beobachteten Strukturveränderungen der über den Spaltöffnungen befindlichen Wachse in fünf Qualitätsklassen eingeteilt. Die Klassifizierung basiert auf zwei Kriterien, dem Grad der Wachsverschmelzung in Prozent der Gesamtstomatafläche sowie den unterschiedlichen Ausbildungen der Stomatawachse. Man erhält einen Mittelwert, der die Wachsqualität des Baumes, d. h. den Erhaltungszustand der Stomatawachse widerspiegelt.

### **2.3. Röntgenenergie-dispersive Mikroanalyse (EDX)**

Beim Auftreffen des Primärelektronenstrahls auf der Objektoberfläche werden u. a. Röntgenstrahlen frei, die mittels eines Halbleiterdetektors empfangen werden. Die Auswertung des Röntgensignals erfolgt mit der röntgenenergie-dispersiven Mikroanalyse (EDX). Jedes in der Probe vorhandene Element kann Röntgenquanten mit definierten Energieniveaus (eV) emittieren. Die elementare Zusammensetzung eines Objekts kann dann in Form eines Elementspektrums wiedergegeben werden. Diese Methode wurde in der vorliegenden Studie zur Analyse der auf den Fichtennadeloberflächen vorhandenen Fremdpartikel angewandt.

### 3. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE DES 1. NJG. (1994)

#### 3.1. Versuchsgarten 1

##### 3.1.1 Baum 1 (701/1/1)

Fichtennadeln des 1. Nadeljahrganges 1994 wiesen eine mittlere Wachsqualität von  $MW 2,7 \pm SD 0,94$  auf, was einer leichten Beeinträchtigung der Stomatawachse entspricht. Nur 10% der untersuchten Stomatawachse konnten der Qualitätsklasse 1 zugeordnet werden, demgegenüber stehen 19% Qualitätsklasse 4 und 5% Qualitätsklasse 5 (Abb. 2). Es konnte keine nennenswerte Staubbelastung nachgewiesen werden. Die Belegung der untersuchten Spaltöffnungen mit Epibionten lag bei 12%.

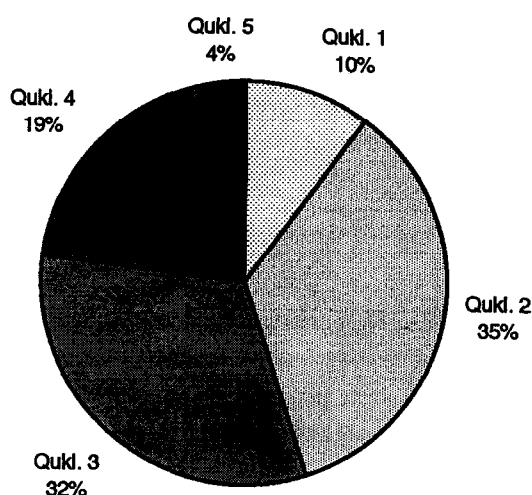
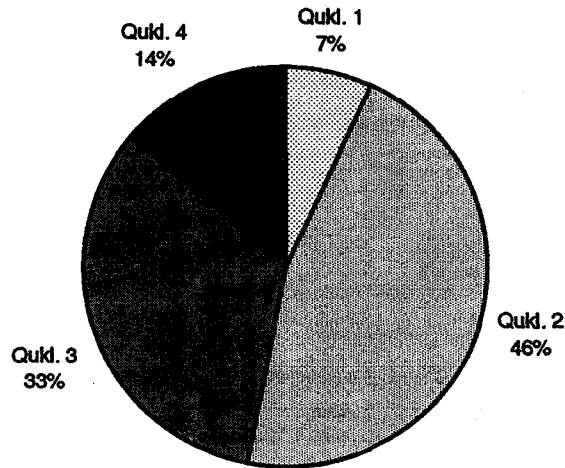


Abb. 2: Versuchsgarten 1 - Baum 1, Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm.

##### 3.1.2. Baum 2 (701/2/1)

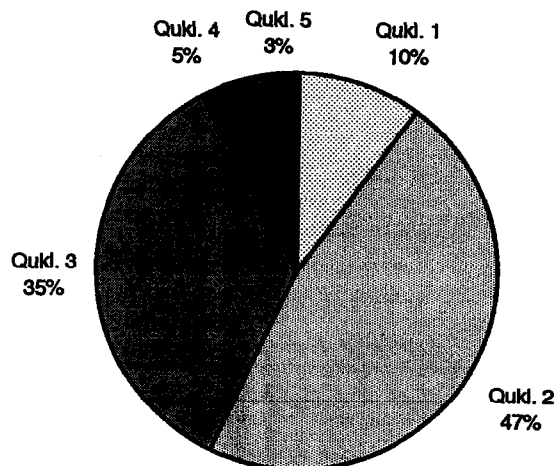
Die Nadelwachse dieses Baumes zeigten einen Mittelwert von  $MW 2,5 \pm SD 0,77$ . Dieser gegenüber Baum 1 etwas geringere Degradationsgrad der Stomatawachse beruht auf einem hohen Anteil von Beurteilungen mit Qualitätsklasse 2 (46%). Vollständig verklebte Wachsstrukturen, entsprechend Qualitätsklasse 5 konnten nicht beobachtet werden (Abb. 3). Die Staubbelastung lag bei 8%, es konnten keine Schwermetalle detektiert werden. Die Belegung der Nadeln mit biotischem Material betrug 17%.



*Abb. 3: Versuchsgarten 1 - Baum 2, Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm*

### 3.1.3. Baum 3 (701/3/1)

Der Baum 3 wies mit einem Mittelwert von  $MW\ 2,4 \pm SD\ 0,80$  die geringste Beeinträchtigung der Nadelwachse innerhalb des Versuchsgartens Nr. 1 auf. 10% der untersuchten Spaltöffnungen konnten der Qualitätsklasse 1 zugeordnet werden. Fast die Hälfte bzw. mehr als ein Drittel der analysierten Stomatawachse wurden mit Qualitätsklasse 2 und 3 beurteilt. Nur 5% mußten der Qualitätsklasse 4 zugeordnet werden, 3% fielen unter die Qualitätsklasse 5 (Abb. 4). Der Epibiontenbelag betrug 12%, die festgestellte Staubbelastung war mit 1% unerheblich.



*Abb. 4: Versuchsgarten 1 - Baum 3, Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm*

## 3.2. Versuchsgarten 2

### 3.2.1. Baum 1 (702/2/1)

Für Fichtennadeln dieses Baumes wurde eine mittlere Wachsqualität von  $MW 3,0 \pm SD 1,06$  ermittelt. Nur 1% der Stomatawachse entsprach Qualitätsklasse 1. Jeweils mehr als ein Drittel konnte den Qualitätsklassen 2 und 3 zugeteilt werden. 11% bzw. 16% mußten mit Qualitätsklasse 4 und 5 beurteilt werden (Abb. 5). Eine Belegung der Spaltöffnungen mit Staubpartikeln war nicht nachweisbar, der Anteil an Epibionten hingegen lag bei 21%.

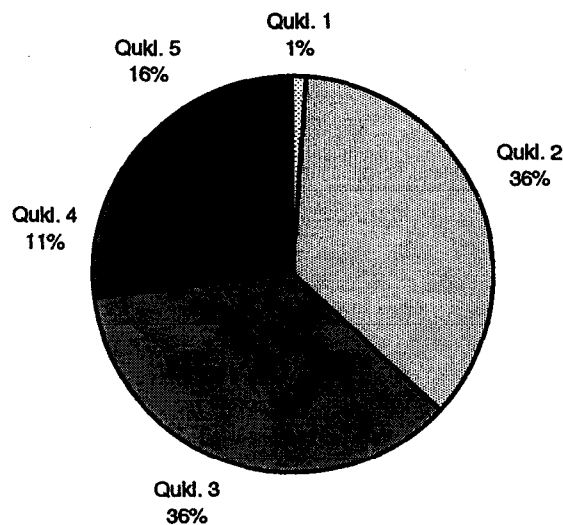


Abb. 5: Versuchsgarten 2 - Baum 1, Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm

### 3.2.2. Baum 2 (702/3/1)

Nadeln des zweiten aus dem Versuchsgarten 2 stammenden Baumes wiesen eine mittlere Wachsqualität von  $MW 2,1 \pm SD 0,61$  auf. Keine einzige Stomataöffnung konnte Qualitätsklasse 5 zugeordnet werden. Über die Hälfte der untersuchten Wachsausbildungen wurde mit Qualitätsklasse 2 bewertet, 26% mit Qualitätsklasse 3 (Abb. 6). Es konnte keine Staubbelegung nachgewiesen werden, jedoch lag die Belegung mit Epibionten bei 36%.

### 3.2.3. Baum 3 (702/4/1)

Fichtennadeln des dritten untersuchten Baumes aus Versuchsgarten 2 konnte eine mittlere Wachsqualität von  $MW 1,9 \pm SD 0,42$  zugeordnet werden. Wachsdegradationen entsprechend den Qualitätsklassen 4 oder 5 konnten nicht beobachtet werden. Ein Drittel der epistomatären Nadelwachse wies Qualitätsklasse

1 auf, fast die Hälfte der untersuchten Nadeln wurde mit Qualitätsklasse 2 bewertet. Der verbleibende Rest fiel in Qualitätsklasse 3 (Abb. 6). Wiederum war auf den Stomataöffnungen keine Staubbelegung nachweisbar, nur die Epibiontenbelegung betrug 24%.

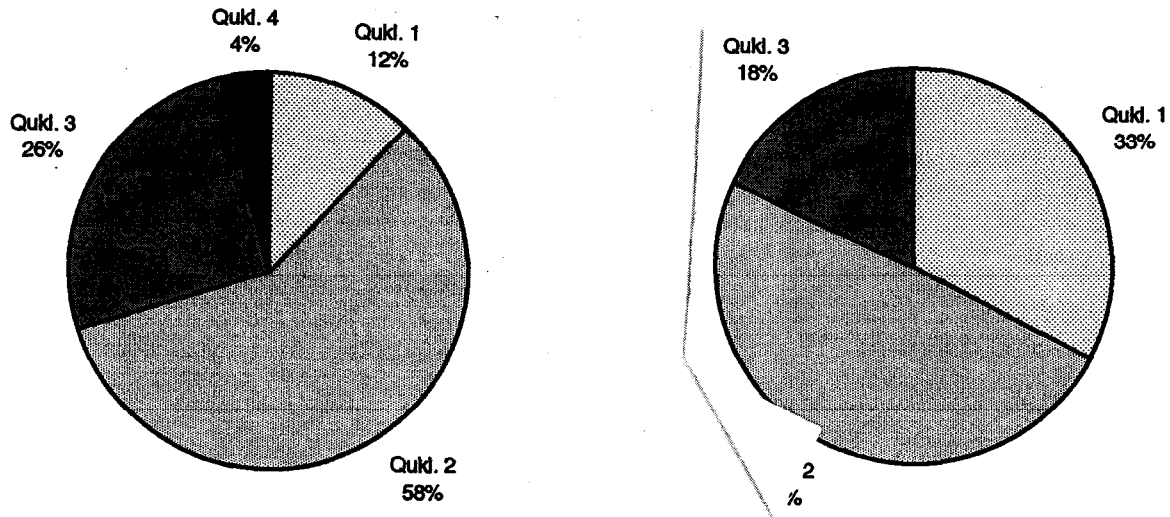


Abb. 6: Versuchsgarten 2 - Baum 2 (links) und 3 (rechts), Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm

### 3.3. Versuchsgarten 3

#### 3.3.1. Baum 1 (703/1/1)

Die epistomatären Nadelwaxse des Baumes 1 aus dem dritten Versuchsgarten wiesen eine mittlere Wachsqualität von  $MW 2,4 \pm SD 0,82$  auf. Über die Hälfte der untersuchten Nadelwaxse konnte Qualitätsklasse 2 zugeordnet werden, 26% wurden mit Qualitätsklasse 3 bewertet (Abb. 7). Es war keine Belegung mit Staubpartikeln erkennbar, die Belegung mit biotischem Material betrug 32%.

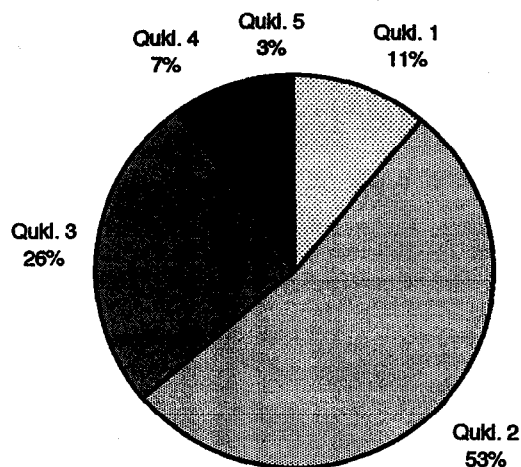


Abb. 7: Versuchsgarten 3 - Baum 1, Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm

### 3.3.2. Baum 2 (703/2/1)

Den Nadelwachsen dieses Baumes konnte eine mittlere Wachsqualität von MW 2,4  $\pm$  SD 0,66 zugeordnet werden. Keine einzige Spaltöffnung konnte mit Qualitätsklasse 1 bewertet werden, aber 62% der untersuchten Spaltöffnungen fielen in die Qualitätsklasse 2. Ein Drittel entsprach Qualitätsklasse 3, 4% bzw. 5% mußten mit den Qualitätsklassen 4 und 5 bewertet werden (Abb. 8). Wiederum war keine Staubbelegung detektierbar, es ergab sich jedoch eine außerordentlich hohe Epibiontenbelegung von 42%.

### 3.3.3. Baum 3 (703/3/1)

Dieser Baum erhielt eine mittlere Wachsqualität von MW 1,9  $\pm$  SD 0,61. Es wurden keine Spaltöffnungswachse mit den Qualitätsklassen 4 oder 5 bewertet. 30% der Wachsstrukturen wiesen Qualitätsklasse 1 auf, mehr als die Hälfte wurde Qualitätsklasse 2 zugeordnet, der Rest fiel in Qualitätsklasse 3 (Abb. 8). Es war keine Belegung mit Staubpartikeln ersichtlich, die Epibiontenbelegung war mit 14% vergleichsweise niedrig.

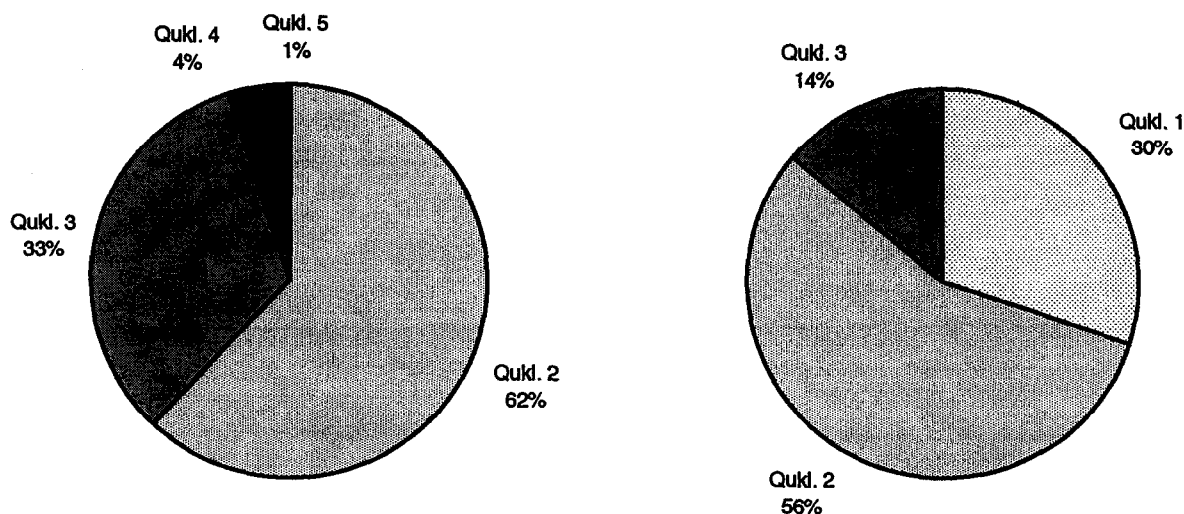


Abb. 8: Versuchsgarten 3 - Baum 2 (links) und Baum 3 (rechts), Darstellung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität in den einzelnen Qualitätsklassen mittels Kreisdiagramm

## **4. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE DES 2. UND 3. NJG.**

### **4.1. Versuchsgarten 1**

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Fichtennadeln des 2. und 3. Nadeljahrganges dreier Fichten des Versuchsgartens 1 zeigten keine Schädigungen der Nadelwachse. Die geringfügigen Veränderungen der Wachsstrukturen werden hauptsächlich durch die natürliche Verwitterung verursacht. Die häufig an der Nadeloberfläche anzutreffenden Partikel erwiesen sich bei den EDX-Analysen als vorwiegend organisches Material (Pilzhyphen, verschiedene Sporen, etc.). Die wenigen Staubpartikel setzten sich im Wesentlichen aus den Elementen Al, Si, S, K, Ca, Ti, Fe und Zn zusammen (Abb. 9 und 10). Interessanterweise fanden sich in manchen EDX-Spektren extrem hohe Anteile von Vanadium sowie Nickel (Abb. 11 und 12). Diese metallischen Komponenten sind mit großer Wahrscheinlichkeit nicht natürlichen Ursprungs und stammen aus Staubimmissionen des Industriestandortes Arnoldstein. Weiters konnten auch Gipskristalle auf den Nadeloberflächen beobachtet werden.

### **4.2. Versuchsgarten 2**

Die Nadelwachse des 2. und 3. Nadeljahrganges der drei untersuchten Bäume des Versuchsgartens 2 waren intakt. Die wenigen an der Oberfläche anhaftenden Staubpartikel wiesen keine Schwermetallkomponenten auf. An Nadeln des 2. Nadeljahrganges eines Baumes (702/4) konnten Gipskristalle detektiert werden (Abb. 13 und 14).

### **4.3. Versuchsgarten 3**

Ähnlich wie bereits bei Versuchsgarten 2 zeigten die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen von Nadelwachsen des 3. Versuchsgartens keinerlei Beeinträchtigungen der Wachsstrukturen, die über das Maß der natürlichen Alterung hinausgehen. An den Nadeloberflächen eines einzigen Baumes (703/3) konnten wiederum Gipskristalle nachgewiesen werden.





Abb. 9: REM-Aufnahme einer Fichtennadel (3. Njg. 1994) aus dem Versuchsgarten 1. Spaltöffnung mit anhaftendem Staub. Vergrößerung: 3000fach.

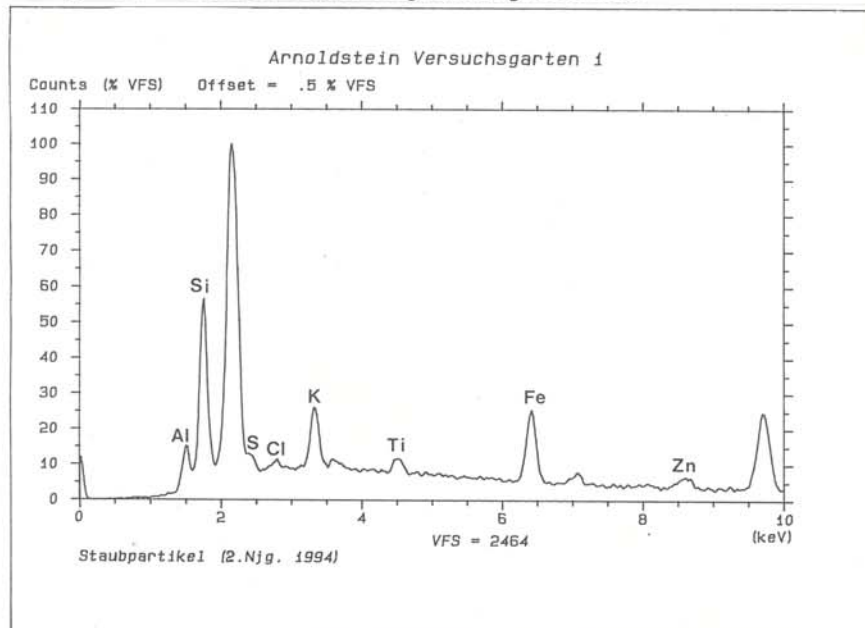


Abb. 10: EDX-Spektrum der Staubpartikel zu Abbildung 9.

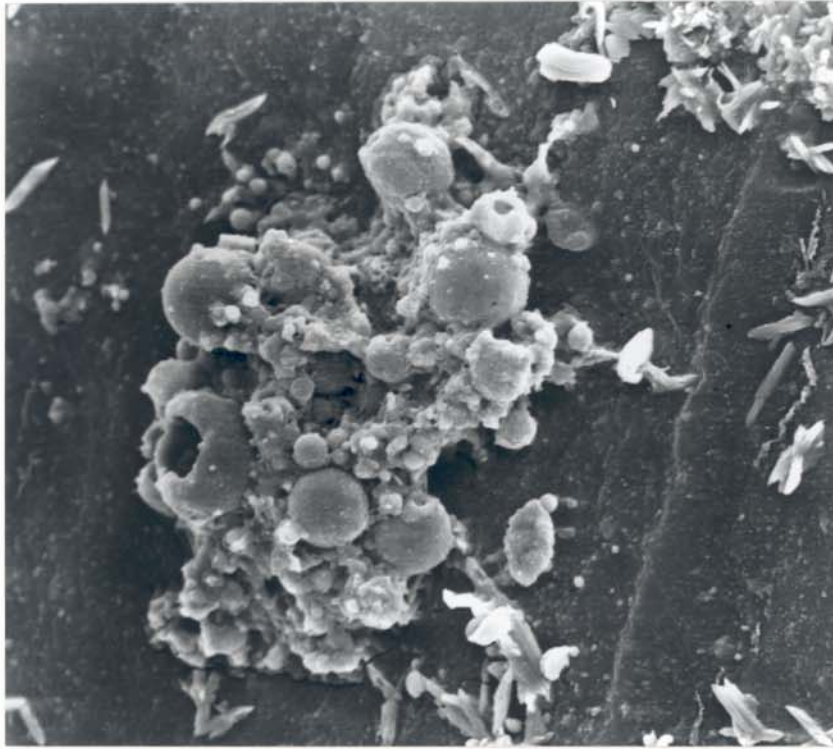


Abb. 11: REM-Aufnahme eines Nadelbereichs (2. Njg. 1994, Versuchsgarten 1) mit staubförmigen Verunreinigungen und kleinen Gipskristallen. Vergrößerung: 1500fach.

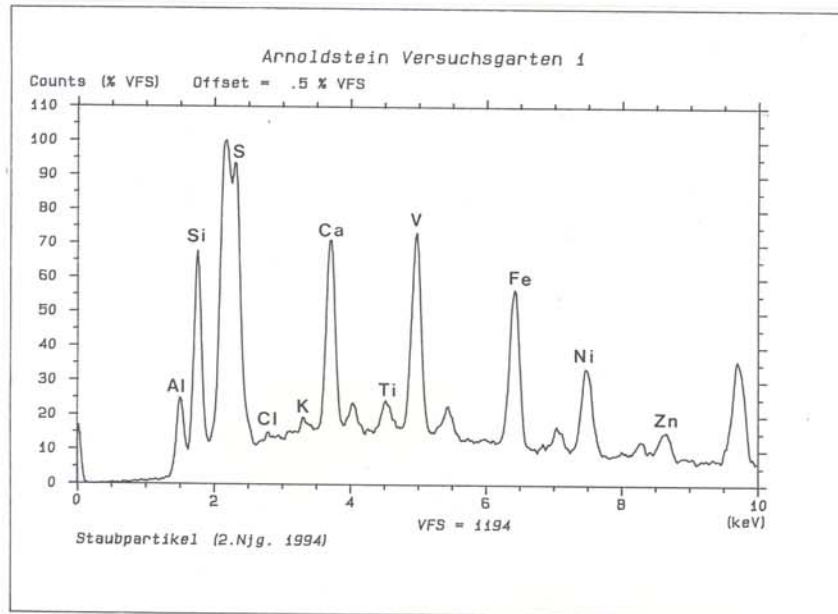


Abb. 12: EDX-Spektrum der Staubaufflage zu Abbildung 11. Ungewöhnliche Peaks von Vanadium und Nickel.

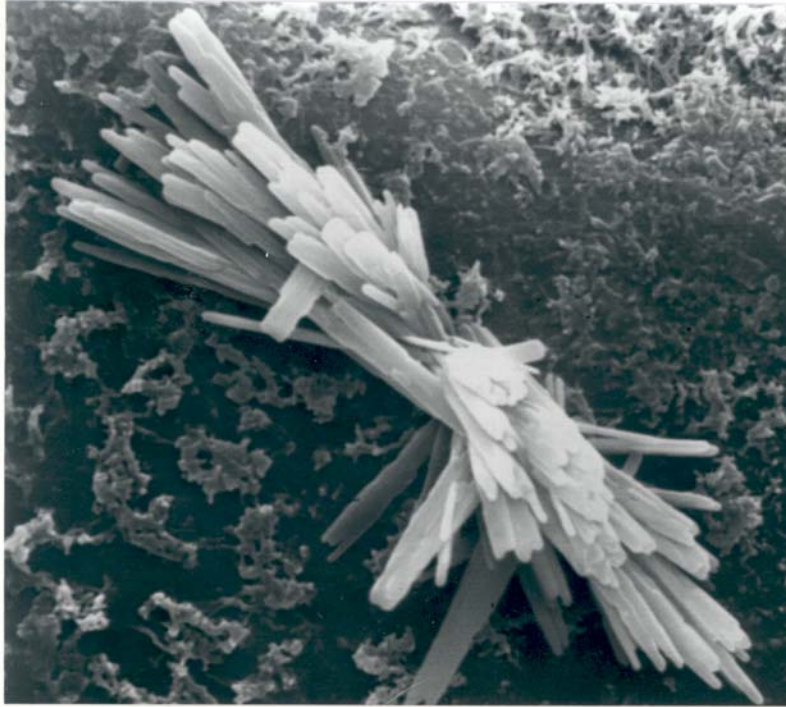


Abb. 13: REM-Aufnahme eines Gipskristalles auf der Nadeloberfläche (2. Njg, Versuchsgarten 2). Vergrößerung: 5000fach.

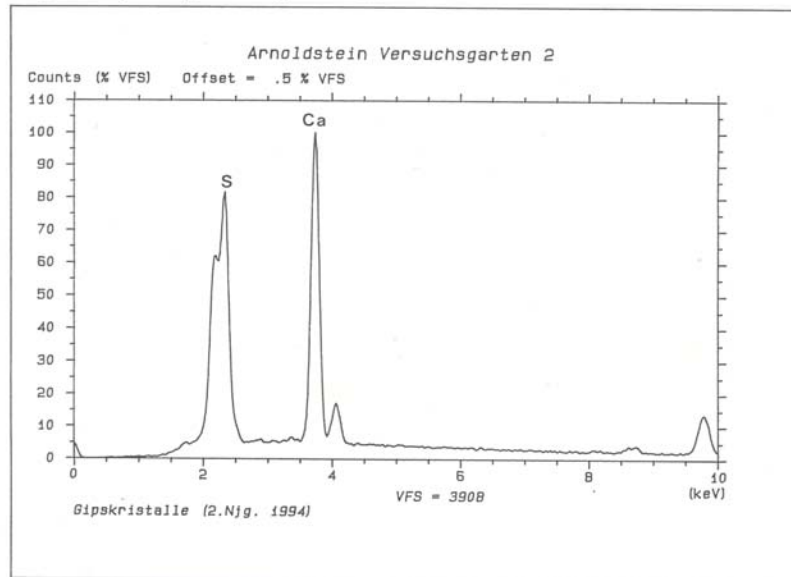


Abb. 14: EDX-Spektrum von Gips. Charakteristisch sind der hohe Schwefel-Peak und der Calcium-Peak.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die mittlere Wachsqualität der untersuchten Fichtennadeln (1. Nadeljahrgang 1994) aus den drei westlich des Industriestandortes Arnoldstein gelegenen Versuchsgärten der FBVA befand sich im Bereich von MW 1,9 bis 3,0 (Tabelle 1). Ab einem Mittelwert von 2,25 kann eine leichte Beeinträchtigung der Stomatawachse angenommen werden. Die Mittelwerte liegen nur geringfügig über denjenigen, die bereits für Hintergrundstandorte ermittelt wurden. Ein Belastungsgradient der Wachsqualität an den Nadeln, d. h. eine bessere Wachsqualität mit zunehmender Entfernung von der Immissionsquelle, konnte bei alleiniger Betrachtung der Mittelwerte nicht festgestellt werden. Die Schwefelgehalte der Nadeln derselben Bäume aus den Versuchsgärten, die von der FBVA bestimmt wurden, ließen einen Belastungsgradienten erkennen. Alle Schwefelwerte lagen über dem in der 2. Verordnung gegen Forstliche Luftschadstoffe festgelegten Grenzwert von 0,11 % Schwefel (siehe Abb. 15). Bei getrennter Betrachtung der prozentuellen Verteilung der Wachsqualität innerhalb der fünf Qualitätsklassen konnte mit zunehmender Entfernung vom Industriepark eine eindeutige Abnahme an Qualitätsklasse 4 und 5 sowie eine Zunahme von Qualitätsklasse 1 und 2 beobachtet werden (Abb 16).

Versuchsgarten 1	Versuchsgarten 2	Versuchsgarten 3
2,7 ± 0,94	3,0 ± 1,06	2,4 ± 0,82
2,5 ± 0,77	2,1 ± 0,61	2,4 ± 0,66
2,1 ± 0,80	1,9 ± 0,42	1,9 ± 0,61

*Tabelle 1: Die Wachsqualität (Mittelwert und Standardabweichung) von Fichtennadeln im Raum Arnoldstein.*

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Zustand der untersuchten Nadelwachse von Fichten aus den Versuchsgärten der FBVA leicht bis mittelstark beeinträchtigt ist. Staubförmige Fremdpartikel konnten an Nadeln des 1. Nadeljahrganges nicht nachgewiesen werden. Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen des 2. und 3. Nadeljahrganges 1994 zeigten, daß vor allem die Nadeloberflächen von Fichten aus dem Versuchsgarten 1 durch Staubverunreinigungen belastet waren. Die EDX-Analysen ergaben auffällig hohe Peaks

der Elemente Vanadium und Nickel im Staub, die auf einen Immissionseinfluß hindeuten. Zusätzlich wurden Gipskristalle gefunden, deren Auftreten mit sauren Depositionen in Verbindung gebracht werden kann.

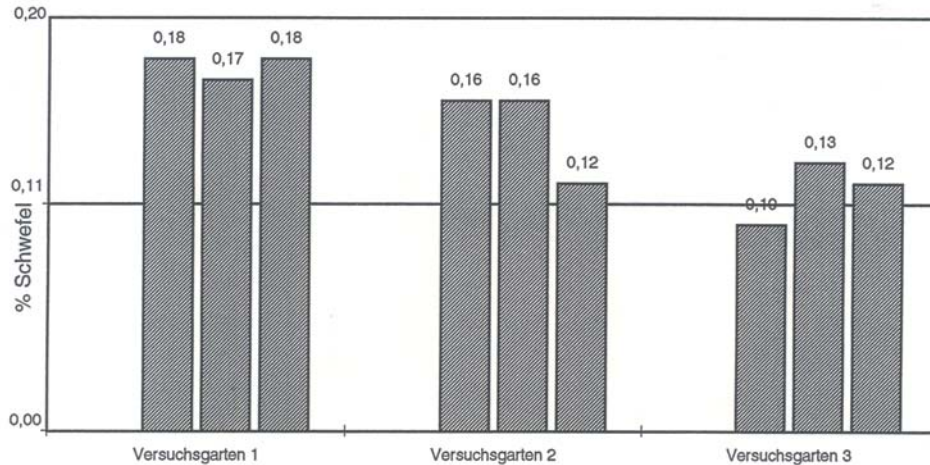


Abb. 15: Schwefelprozent im 1. Njg. 1994, Grenzwert 0,11 %, Daten von FBVA.

#### Verteilung in Qualitätsklassen %

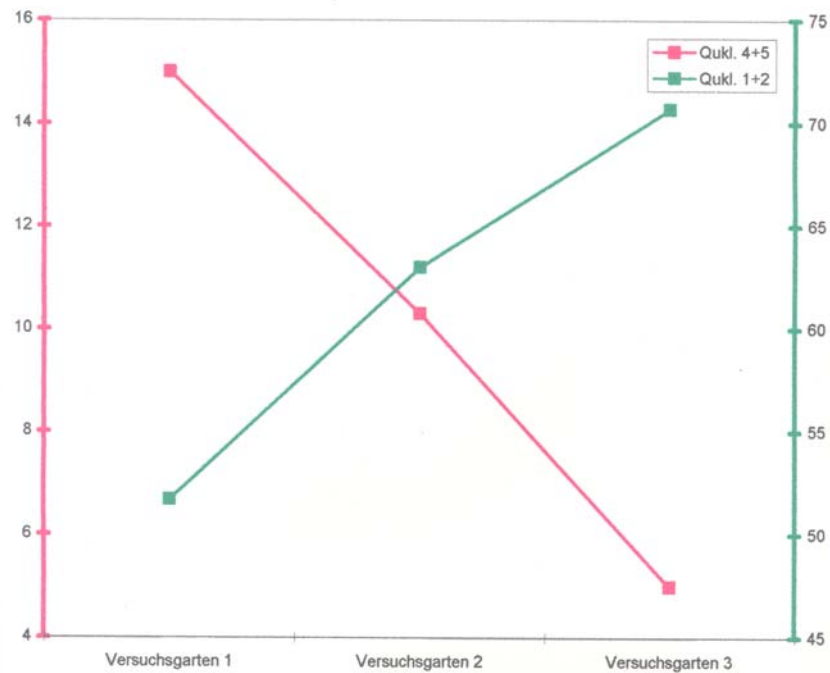


Abb. 16: Gegenüberstellung der prozentuellen Anteile der Qualitätsklassen 1+2 (grün) und Qualitätsklassen 4+5 (rot) innerhalb der drei Versuchsgärten.



## 6. LITERATUR

BERICHT über die Umweltsituation an ausgewählten langjährigen Industriestandorten 1992, Umweltbundesamt Wien.

HALBWACHS, G., 1982:

Das immisionsökologische Projekt Arnoldstein. Carinthia II, Sonderheft Nr. 39, 350 pp.

NEUMANN, M., 1991:

Entwicklung von Fichtenaufforstungen unter starkem Immissionseinfluß. Centralbl. für das ges. Forstwesen 108/4, 331-365.

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. Monographien Bd. 57, Umweltbundesamt Wien.

### Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, insbesondere Herrn Dr. Neumann für die Probenahme und Übersendung des Nadelmaterials sowie für die zur Verfügung gestellten Daten.