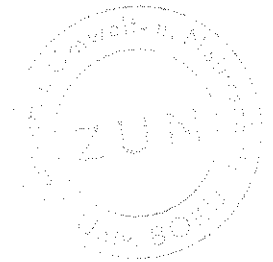


D-84

MFN 2444 (M)

# Rekonstruktion der Benadelung einer Fichte aus dem Fluorimmissionsschadensgebiet Ranshofen mittels der Nadelspuranalyse



Diplomarbeit  
an der Universität für Bodenkultur



vorgelegt von  
Kurt Peyer

Wien, im Juli 1996

Ich danke meinen Eltern, die mich unterstützt und mein Studium ermöglicht haben.

Ich danke auch allen Mitarbeitern am Zentrum für Umwelt und Naturschutz, die zum Zustandekommen dieser Arbeit durch ihre Hilfsbereitschaft und die angenehme Arbeitsatmosphäre wesentlich beigetragen haben.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
1.1 Die Nadelspur	4
1.2 Das Prinzip der Nadelspurmethode	7
1.3 Zielsetzungen dieser Arbeit	8
2. Material und Methoden	9
2.1 Untersuchungsstandort	9
2.1.1 Vegetation	9
2.1.2 Geologie und Boden	9
2.1.3 Klima	10
2.1.4 Emissionssituation	12
2.2 Probennahme	14
2.3 Methode der Präparation der Nadelspuren	14
2.4 Auswertungsverfahren	18
2.5 Zusätzlich erhobene Parameter	20
2.5.1 Triebblängen	20
2.5.2 Jahrringbreiten	20
2.5.3 Aktuelles Benadelungsprozent	21
2.5.4 Fluorgehalte der Nadeln	21
2.5.5 Nadellängen und 100-Nadelgewichte	22
2.6 Beeinflussende Faktoren für die Entwicklung der Benadelung, der Triebblängen und der Jahrringbreiten	22
3. Ergebnisse	23
3.1 Benadelungsrekonstruktion	23
3.2 Triebblängen	25
3.3 Jahrringbreiten	27
3.4 Aktuelles Benadelungsprozent	29
3.5 Fluorgehalte der Nadeln	29
3.6 Nadellängen und 100-Nadelgewichte	30
3.7 Beeinflussende Faktoren	31
4. Diskussion	33
5. Zusammenfassung	39
6. Literaturverzeichnis	40
7. Anhang	45

## 1. Einleitung

Im Rahmen der Waldschadensdiskussion kommt der Beurteilung des Kronenzustandes eine erhebliche Bedeutung zu. Hierbei ist vor allem die Belaubung oder Benadelung von Bedeutung. Veränderungen hinsichtlich der Dichte, der Lebensdauer, der Morphologie oder des Stoffwechsels der Blattorgane sind oft Folgen geänderter Umwelteinflüsse. Sowohl klimatische Ereignisse als auch die Einwirkung von biotischen Schädlingen können solche Veränderungen hervorrufen. In zunehmendem Maße ist die Ursache aber der Einfluß anthropogener Schadstoffe, die den Baum über die Luft oder das Wasser erreichen. Bei den Auswirkungen dieser Belastungen besteht ein wesentlicher Unterschied zwischen Laub- und Nadelbäumen. Während Laubbäume ihre Blätter in der Regel jährlich erneuern, verbleiben bei den meisten Nadelbäumen die Nadeln mehrere Jahre am Baum. Wenn sich Schadstoffe über längere Zeit in den Nadeln anreichern, kann dies zu einer Verkürzung ihrer Lebensdauer führen. Auch akute Schadstoffbelastungen können zu einem Absterben der Nadeln führen. Der Benadelungszustand eines Baumes ist somit ein wichtiger Indikator für mögliche Schadstoffimmissionen. Als Bezugsgröße dient dabei der Benadelungszustand im nicht geschädigten Zustand. Dabei stellt sich das Problem, daß dieser Zustand oft nicht bekannt oder feststellbar ist, da es meist keine diesbezüglichen Daten aus länger zurückliegenden Zeiten gibt. SCHWEINGRUBER (1989) diskutierte die Möglichkeit, den Kronenzustand anhand von Fotos zu rekonstruieren. Diese Methode ist aber nur beschränkt einsetzbar, da das Bildmaterial oft nur unzureichend vorhanden ist. Weiters können die foto- und wiedergabeteknischen Bedingungen eine Fehlerquelle darstellen. KURKELA & JALKANEN (1990) beschrieben eine neue Methode, die Benadelung von Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) zu rekonstruieren. Sie untersuchten dabei die im Holz 'gespeicherten' Nadelspuren. Diese Methode ist prinzipiell für alle Holzarten anwendbar, deren Blätter/Nadeln über mehrere Jahre am Baum verbleiben. Da Nadelspuren immer vorhanden sind, läßt sich auf diese Weise theoretisch für jeden Standort über beliebig lange Zeiträume hinweg eine Aussage über den Kronenzustand treffen.

## 1.1 Die Nadelspur

Mit Aufbau und Funktion der Nadelspur hat sich KESTEL (1961) ausführlich auseinandergesetzt. Die Nadelspur ist die Verbindung zwischen dem Wasserleitsystem der Nadel und dem des Stammes. Sie besteht im wesentlichen aus Markzellen und Tracheiden, die die Verbindung zum Stammholz herstellen. Da eine Nadel mehrere Jahre am Baum verbleiben kann, muß sich die Nadelspur entsprechend dem Dickenwachstum des Stammes verlängern. Dazu befinden sich an der Austrittsstelle der Nadelspur aus dem Holz meristematische Begleitzellen, die sich zu Spurtracheiden differenzieren können. Stirbt die Nadel ab, bringt sie ein Trennungsgewebe an der Ansatzstelle zum Abfallen. Zugleich stellen die meristematischen Zellen ihre Tätigkeit ein und die Nadelspur reißt an der Austrittsstelle aus dem Holz ab. Aus der Anzahl der Jahrringe, die sie durchzieht, läßt sich auf das Alter der zugehörigen Nadel schließen, und aus dem Alter aller Nadeln kann der Benadelungsgrad des Baumes abgeleitet werden. In Abb. 1 ist die Entwicklung der Nadelspur schematisch dargestellt. Abb. 2 (siehe nächste Seite) zeigt einen mikroskopischen Schnitt durch eine Nadelspur.

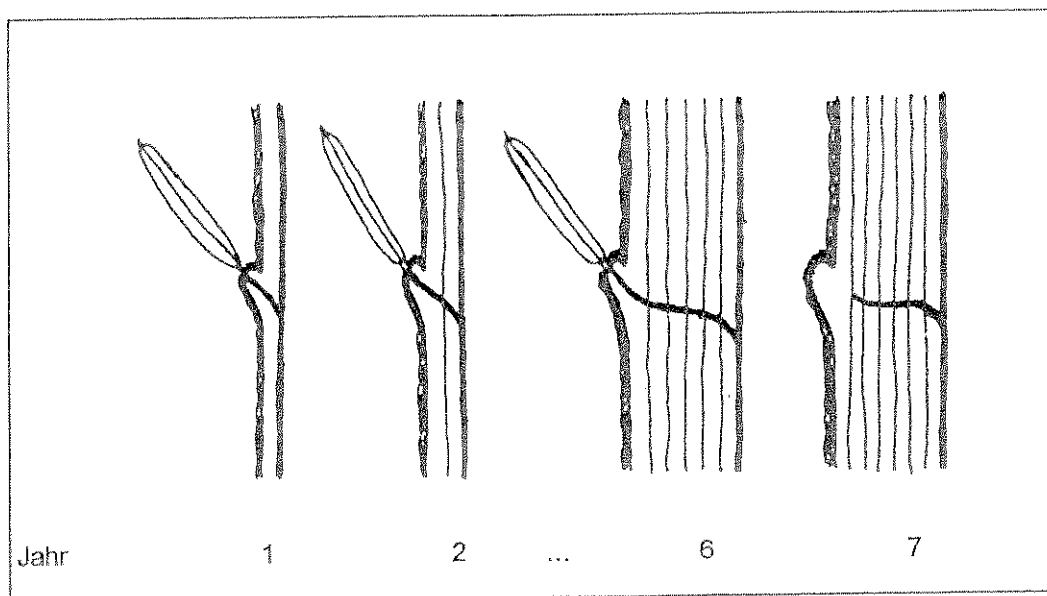


Abb. 1: Entwicklung einer Nadelspur (aus SANDER & ECKSTEIN, 1994).

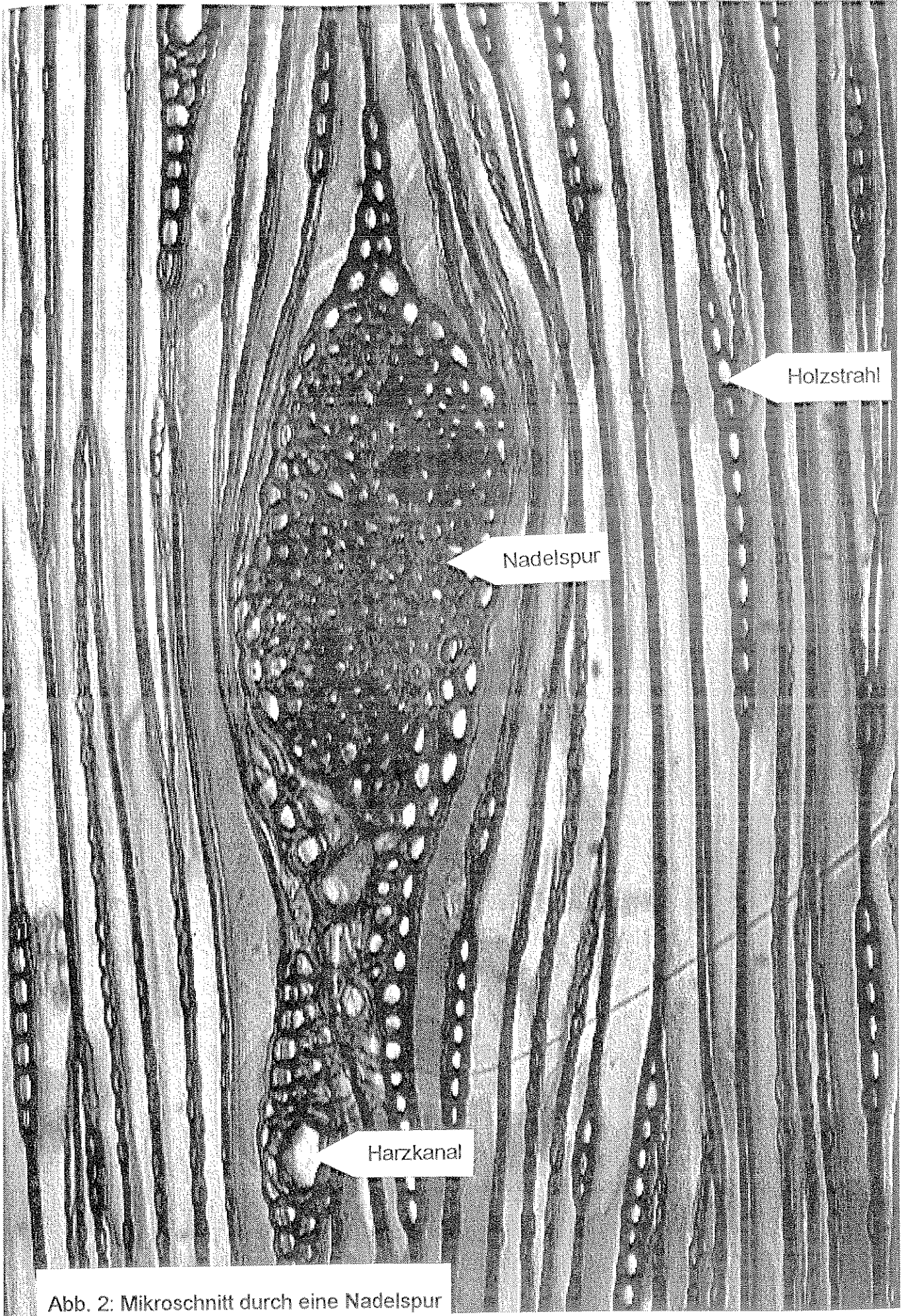


Abb. 2: Mikroschnitt durch eine Nadelspur

Nadelspuren sind sowohl im Stamm als auch in den Ästen vorhanden. Die schmälere Jahrringe und die häufige Bildung von Reaktionsholz in den Ästen schränken den Nachweis allerdings stark ein (JALKANEN & KUEKELA, 1990). Wie SANDER & ECKSTEIN (1994) feststellten, ist jedoch die Benadelung des Haupttriebes bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) repräsentativ für die gesamte Krone (siehe Abb. 3). SANDER & ECKSTEIN verglichen außerdem die rekonstruierten Benadelungswerte mit den aktuellen und fanden keine nennenswerten Abweichungen (siehe Abb. 4).

In anderem Zusammenhang wurden Nadelspuren von SCHULZ (1985) erwähnt. Er vermutete einen Zusammenhang zwischen den von ihm untersuchten Wipfelverkrümmungen vor allem an Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und der Ausbildung der Nadelspuren, die in diesem Fall zur Versteifung der Triebe beitragen sollten. Er fand allerdings keine diesbezüglichen Zusammenhänge.

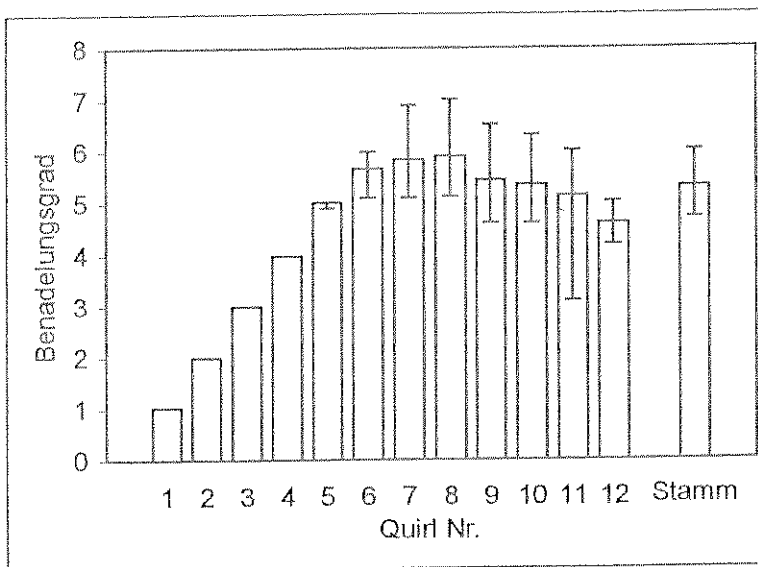


Abb. 3: Vergleich der Benadelung von Ästen und Stamm bei Fichte. Dargestellt sind die Benadelungen der obersten zwölf Astquirle und des Haupttriebes von zwölf untersuchten Bäumen sowie die größten Abweichungen vom jeweiligen Mittelwert (nach SANDER & ECKSTEIN, 1994).

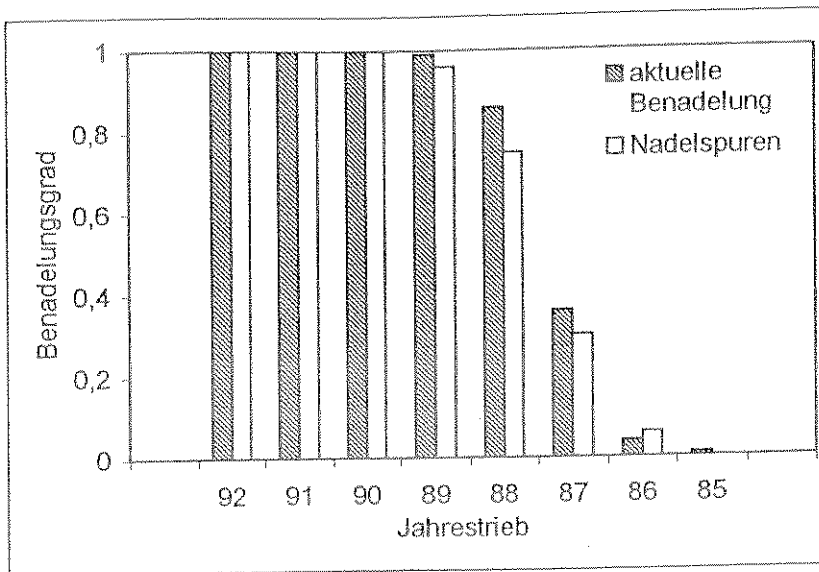


Abb. 4: Vergleich des Benadelungsgrades für die aktuelle Benadelung mit den Ergebnissen der Nadelspurmethode (nach SANDER & ECKSTEIN, 1994).

## 1.2 Das Prinzip der Nadelspurmethode

Entwickelt und beschrieben wurde die Nadelspurmethode von KURKELA & JALKANEN (1990) unter dem Namen 'Vascular Bundle Method' oder 'Needle Trace Method' (NTM). Die Stämme von vier Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) im Alter zwischen 60 und 120 Jahren wurden entsprechend der anhand der Astquirle erkennbaren Jahrestriebe aufgetrennt. Alle Stammstücke wurden an der Ostseite in planen Schichten abgeschliffen und die Nadelspuren innerhalb eines Jahrringes, die als dunkle Punkte sichtbar wurden und in einem bestimmten Sektor der Probe lagen, ausgezählt. Jede Probe wurde auf diese Weise Jahrring für Jahrring ausgewertet, ausgehend von jenem Jahrring, in dem keine Nadelspuren mehr zu erwarten waren (abhängig von der geografischen Lage: der achte Jahrring im Norden, der sechste im Süden Finlands) bis zum innersten, mark-nächsten Jahrring. Die Anzahl der Nadelspuren im innersten Jahrring wurde als 100 Prozent angenommen und die Werte der äußeren Jahrringe darauf bezogen. Die Benadelung eines bestimmten Jahres ergab sich dann als Summe der Benadelungsprozente des ersten Jahrringes des Jahrestriebes aus diesem Jahr, des zweiten Jahrringes des vorhergehenden Jahrestriebes, usw. Diese Methode, die Benadelung eines Baumes als Summe der Benadelungsprozente der einzelnen Jahrestriebe anzugeben, wurde von KNABE (1983) beschrieben.



JALKANEN & KURKELA (1990) rekonstruierten mit der NTM die Benadelung von Kiefern über einen Zeitraum von 120 Jahren (von 1868 bis 1988). JALKANEN et al. (1993) verglichen mittels NTM die Benadelungs-entwicklung von Kiefern zweier Stand-orte in England über einen Zeitraum von 33 bzw. 41 Jahren. JALKANEN et al. (1994) konnten durch die NTM den durch eine *Lophodermella sulcigena* -Epidemie in den Jahren 1977 - 1981 verursachten Rückgang der Benadelung von Kiefern nachweisen. JALKANEN (1995) rekonstruierte mit der NTM die Benadelung von Kiefern über eine Strecke von 166 km entlang der Hauptaus-breitungsrichtung von SO<sub>2</sub>-, Nickel- und Kupferstaubemissionen einer Kupfer-hütte. Er fand eine signifikante Abhängigkeit des Benadelungsgrades von der Entfernung zum Emittenten. SANDER & ECKSTEIN (1994) wendeten die NTM auf Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) an. Zum Unterschied von KURKELA & JALKANEN (1990) gingen sie bei der Nadelspuren-suche vom innersten Jahrring zu den äußeren hin vor bis keine Nadelspuren mehr nachzuweisen waren. Da die Nadelspuren im Fichtenholz schlechter zu erkennen sind als im Kiefernholz, machten sich SANDER & ECKSTEIN den Dichteunterschied zwischen den härteren Nadelspuren und dem sie umgebenden weicheren Frühholz zunutze. Indem sie die Proben sandstrahlten, traten die Nadelspuren plastisch hervor. Prinzipiell ist die Nadelspurmethode auf alle Nadelholzarten anwendbar, die über mehrere Jahre hinweg ihre Nadeln behalten.

### 1.3 Zielsetzungen dieser Arbeit

Für eine Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) aus dem Fluorimmissionsgebiet des Aluminiumwerkes Ranshofen sollte die Entwicklung der Benadelung über einen Zeitraum von mindestens 60 Jahren hinweg bis in die Gegenwart rekonstruiert werden. Weiters sollten die Längen der Haupttriebe und die Jahrringbreiten in diesem Zeitraum, sowie für die aktuelle Benadelung die Parameter Benadelungs-prozent, Fluorgehalt der Nadeln, Nadellänge und 100-Nadel-Gewicht ermittelt werden. Anhand dieser Daten sollte die Entwicklungsgeschichte des Baumes dokumentiert und eine mögliche Auswirkung der Fluorimmissionen aus dem Betrieb des Aluminiumwerkes auf die Parameter Benadelung, Trieblänge und Jahrringbreite untersucht werden. Im Hinblick auf die Vermutung, es könnte durch die Fluoreinwirkung zu einem Rückgang dieser Parameter gekommen sein,

sollten vor allem die Perioden vor, während und nach der Betriebsdauer des Werkes (1939 - 1992) verglichen werden. Außerdem sollte der Einfluß sonstiger Faktoren (Klima, forstliche Eingriffe, Forstschäden) auf die drei genannten Parameter untersucht werden. Aufgrund des kleinen Stichprobenumfangs konnte zwar keine Aussage über die Entwicklung des gesamten Bestandes erwartet werden, jedoch sollten die Daten des Probebaumes mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen aus diesem Gebiet verglichen und Übereinstimmungen oder Abweichungen aufgezeigt werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsstandort

#### 2.1.1 Vegetation

Der Untersuchungsstandort ist dem "Nördlichen Alpenvorland - Westteil" zuzuordnen. Der natürliche submontane Stieleichen - Hainbuchenwald (*Galio sylvatici* - *Carpinetum*) ist durch einen sekundären, standortswidrigen Fichtenreinbestand ersetzt, der gegenüber biotischen und abiotischen Schadeinflüssen höchst anfällig ist (KILIAN et al., 1994; HALBWACHS et al., 1993). Über die Bestandesgeschichte am Untersuchungsstandort existieren keine Aufzeichnungen, da dieses Gebiet bis vor wenigen Jahren Bauernwald war. Es handelt sich um einen einschichtigen Fichtenreinbestand von etwa 80 - 85 Jahren, der zum Zeitpunkt der Probennahme bereits durch forstliche Eingriffe stark aufgelichtet war.

#### 2.1.2 Geologie und Boden

Der Untersuchungsstandort liegt auf der Niederschotterterrasse des Inn auf etwa 385 m Seehöhe. Der geologische Untergrund wird von pleistozänen kalkig-silikatischen Schotterterrassen gebildet, die von einer geringmächtigen (20 - 40 cm) Lößdeckschicht überlagert werden. Der etwa 50 m mächtige Schotterkörper über undurchlässigem Schlieruntergrund ist als hochdurchlässig einzustufen. Der Grundwasserflurabstand beträgt ca. 40 m. Der vorherrschende Bodentyp ist die

Parabraunerde, wobei bereits eine durch die Versauerung bedingte Tendenz zur Podsolierung festzustellen ist (WENZEL, 1990).

### 2.1.3 Klima

Im Bereich des Untersuchungsstandortes standen die Klimadaten von zwei meteorologischen Stationen zur Verfügung: Ranshofen (884 mm Jahresniederschlag, 7,9 °C Jahresmitteltemperatur) und Braunau am Inn (852 mm Jahresniederschlag, 8,1°C Jahresmitteltemperatur). Der Verlauf der Klimawerte beider Stationen ist ähnlich ( $R^2 = 0,75$  sowohl für Niederschlag als auch Temperatur). Die Niederschlagsmengen sind in Ranshofen etwas höher, die Temperaturen etwas niedriger als in Braunau. Die Station Ranshofen wäre zwar näher gelegen, hier stehen aber nur Daten der Jahre von 1900 bis 1908 und von 1950 bis 1980 (Temperatur), bzw. 1950 bis 1990 (Niederschlag) zur Verfügung. Daher wurden für diese Arbeit die Klimadaten der Station Braunau am Inn verwendet. Bis auf die Temperaturwerte der Jahre 1941 bis 1945 sowie alle Klimawerte der Jahre ab 1991 stehen hier über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg Daten zur Verfügung. Das Klimadiagramm für die Station Braunau am Inn nach WALTHER & LIETH (1960) (Abb. 5) zeigt ein ozeanisches, humides Klima mit Niederschlagsmengen über 100 mm in den Monaten Juni bis August und einem Niederschlagsminimum im Februar (46,6 mm). Die höchste Monatsmitteltemperatur (17,7° C) tritt im Juli auf. Von Dezember bis Februar liegen die Monatsmitteltemperaturen unter 0° C, der kälteste Monat ist Jänner mit -2,0° C (HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO, 1951, 1953, 1964, 1973, 1983, 1984).

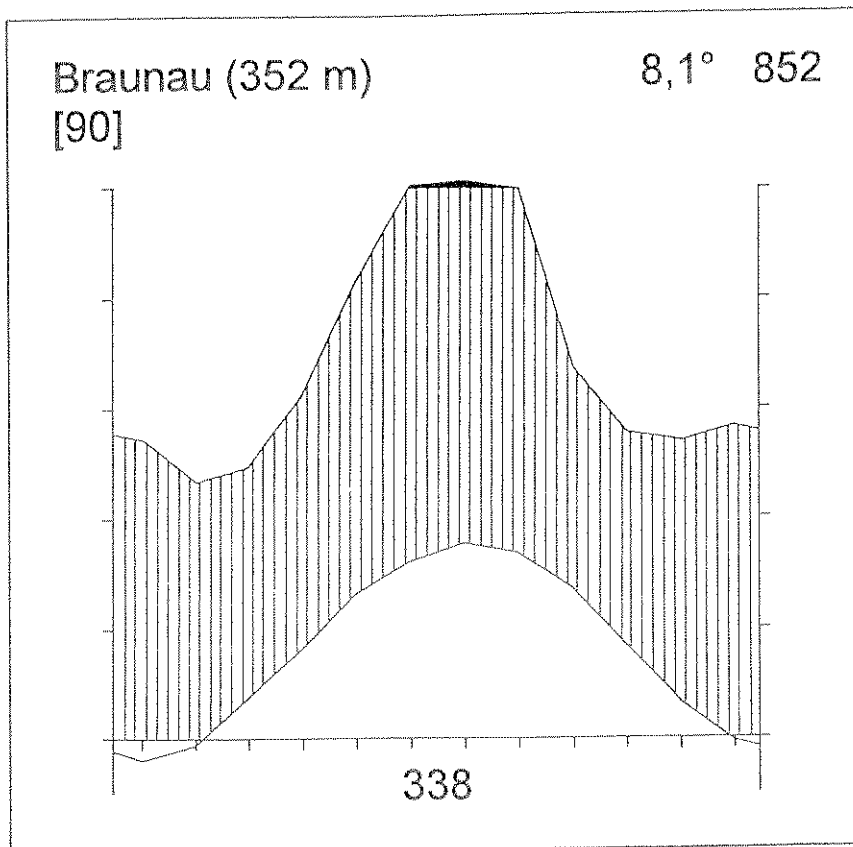


Abb. 5: Klimadiagramm für Braunau am Inn nach WALTHER & LIETH (1960).

Auswertungen von Meßreihen der ehemaligen Windmeßstation am Dach des Verwaltungsgebäudes des Aluminiumwerkes zeigen, daß die häufigsten Windrichtungen - entsprechend dem Verlauf des Inn - ONO bis O und W bis SW sind, wobei ein Jahrgang der Windverteilung nicht feststellbar ist. Im langjährigen Mittel überwiegen die Winde aus westlicher Richtung mit 51 %, während östliche Winde zu 38 % auftreten. Die Windgeschwindigkeit beträgt im Jahresmittel 2,25 m/s, wobei die östlichen Winde höhere durchschnittliche Windgeschwindigkeiten aufweisen als die westlichen. Die Windrichtungsverteilung ist in Abb. 6 dargestellt (RUDOLPH & HALBWACHS, 1983).

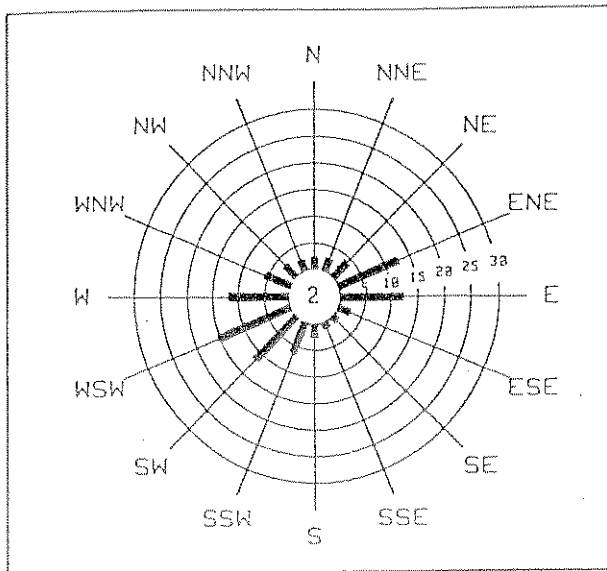


Abb. 6: Windrichtungsverteilung Ranshofen (in Prozent) auf der Basis von Stundenmittelwerten aus den Jahren 1981 - 1983 (aus BAUMANN et al., 1989).

#### 2.1.4 Emissionssituation

Das Aluminiumwerk Ranshofen der Austria Metall AG (AMAG) wurde 1939 errichtet und stand mit einer Unterbrechung von Kriegsende bis 1947 bis Ende 1992 in Betrieb. Das Rohaluminium wurde nach dem Söderbergverfahren aus Bauxit (Al-Hydroxid) erzeugt. Das im Flußmittel Kryolith ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) enthaltene Fluor entwich bei der Elektrolyse zu 75 % als Wasserstofffluorid (HF) und zu 25 % als Staub. 80 - 85 % der Abgase wurden über einen Naßwäscher entsorgt, der theoretisch 99% des HF entfernte, den Staub jedoch kaum. Verfahrensbedingt entweichen die restlichen 15 - 20 % ungereinigt als 'Hallenrauch' durch die Dachfenster der Anlage. Diese Emissionen stellten 90 % der Gesamtemissionen dar. Durch die niedrige Austrittshöhe traten in der Umgebung des Werkes hohe Schadstoffkonzentrationen auf. Das betroffene Hauptschadensgebiet liegt östlich und westlich des Werkes und hat eine Größe von etwa 713 ha (KISSER et al., 1974; BAUMANN et al., 1989). In der nachfolgenden Landkarte der Umgebung des Werkes (Abb. 7, siehe nächste Seite) sind die Isolinien der Fluorbelastungsbereiche für Fichte nach RUDOLF & HALBWACHS (1983) eingezeichnet. Der Untersuchungsstandort befindetet etwa 1,1 km östlich vom Werk, etwas außerhalb der Hauptausbreitungsrichtung der Emissionen, nahe der 30 ppm - Isolinie.

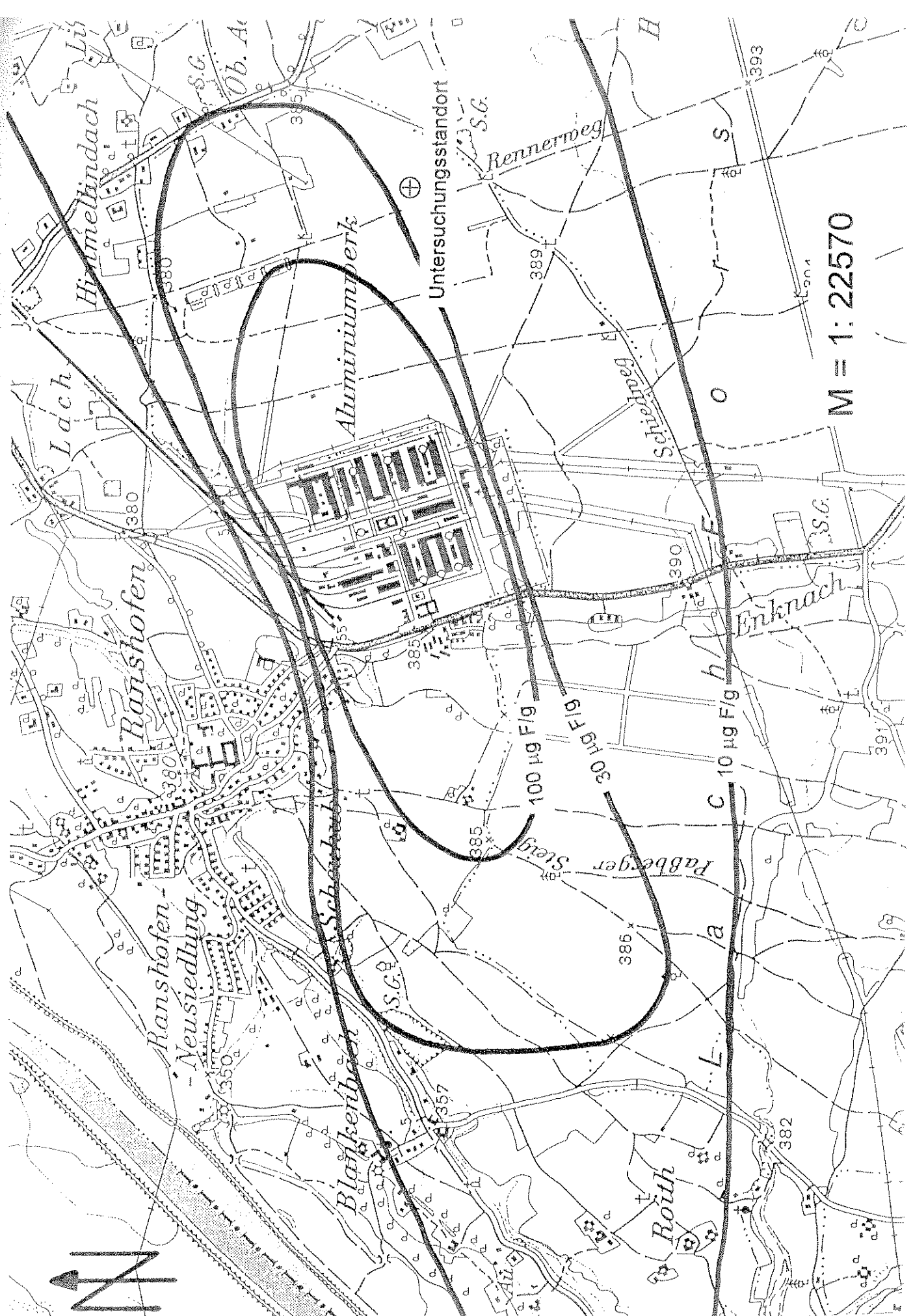


Abb. 7: Isolinien des Fluorgehaltes in Fichtennadeln (1979 - 1980) in  $\mu\text{g F/g}$  (= ppm) Trockensubstanz (aus RUDOLPH & HALBWACHS, 1983).

## 2.2 Probennahme

Die Probennahme erfolgte am 19. Jänner 1995. Es wurden von mehreren in Frage kommenden Stämmen Bohrkerne entnommen, um die für die Nadelspurmethode erforderlichen Mindestjahrringbreiten von 2 mm abschätzen zu können. Als weiteres Auswahlkriterium diente die Geradwüchsigkeit, von der nur eine geringe Bildung von Druckholz zu erwarten war. Im Druckholz ist die Nadelspurmethode schwer anwendbar, da Druckholz und Nadelspuren etwa die gleiche Härte haben. Zuletzt gab die Schaffform in der Krone Aufschluß darüber, ob in vergangenen Jahren ein Absterben der Terminalknospe oder ein Wipfelbruch stattgefunden hatte. Dies könnte die Kontinuität der Benadelungsrekonstruktion durch die Bildung von Druckholz, Zuwachseinbußen in diesem Bereich oder Ausfall von Jahrestrieben beeinträchtigen. Die gewählte Fichte erfüllte die oben genannten Bedingungen weitgehend. Hinsichtlich der Schaffform im Kronenbereich zeigten alle in Frage kommenden Stämme kleinere Unregelmäßigkeiten. Der Probebaum war 28 m hoch mit einer Kronenlänge von 6 m und einem Stammumfang von 135 cm in 1,2 m Höhe. Unmittelbar nach der Fällung wurde die Ostseite des Stammes über die gesamte Baumlänge hinweg markiert. Auf dieser Seite sollte analog zu den Arbeiten von SANDER & ECKSTEIN (1994) und KURKELA & JALKANEN (1990) die Untersuchung durchgeführt werden. Für die Untersuchung der Benadelung zum Zeitpunkt der Fällung (aktuelle Benadelung) wurden je zwei Äste aus dem unteren (22 m Höhe), mittleren (24 m) und oberen (26 m) Kronenbereich gewonnen, jeweils einer von der Ost- und einer von der Westseite des Baumes. Ferner wurde dafür der Wipfel auf einem Meter Länge herangezogen.

## 2.3 Methode der Präparation der Nadelspuren

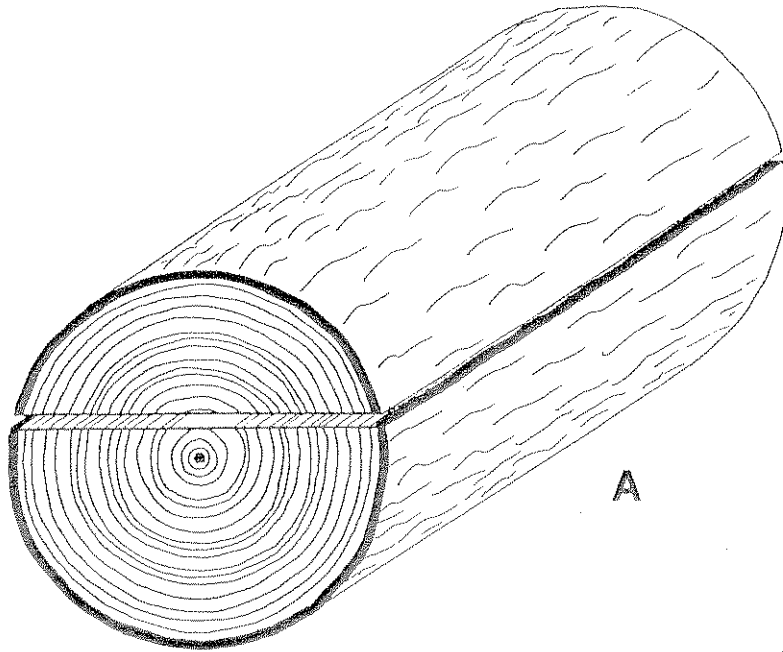
Der Erdstamm wurde in vier 5 m Bloche, die verbleibende Krone in etwa 1,5 m lange Abschnitte aufgetrennt. Diese Auftrennung und das folgende Einschneiden in einem lokalen Sägewerk diente dem leichteren Transport nach Wien, wo die weitere Bearbeitung vorgenommen werden sollte. Im Sägewerk wurde auf einer Blockbandsäge an jedem Bloch zunächst ein Längsschnitt durchgeführt, der knapp oberhalb der Markröhre verlief (siehe Abb. 8 A). Dann folgten zwei weitere

Längsschnitte senkrecht zum ersten. Diese Schnitte wurden so geführt, daß in jeder Probe ein 60°-Sektor an der Ostseite des Stammes erhalten blieb (siehe Abb. 8 B). Zum einfacheren Transport wurden die 5 m langen Abschnitte in etwa 1 m große Teile zerteilt. Die Stammteile wurden in Wien so lange gelagert, bis der Feuchtigkeitsgehalt des Holzes eine Bearbeitung zuließ. Dann wurde die Markröhre mit einem Hobel freigelegt. Die deutlich erkennbaren Terminalknospen ermöglichten eine exakte Abgrenzung der einzelnen Jahrestriebe voneinander, sowie die genaue Messung aller Triebblängen. Die Stammabschnitte wurden nun in die einzelnen Jahrestriebe aufgetrennt. Dazu erfolgte ein Schnitt knapp über- und einer knapp unterhalb der Terminalknospe. Die so entstandenen Scheiben dienten einerseits der Jahrringbreitenvermessung, andererseits der exakten Datierung der einzelnen Jahrestriebe. Nun wurde für jeden Jahrestrieb der 60°-Keil an der Ostseite ausgeschnitten. Dazu erfolgte zunächst ein markparalleler Schnitt, der eine plane Auflage der Probe gewährleistete. Die innersten 12 - 15 Jahrringe blieben dabei vollständig erhalten. Auf einer Bandsäge mit 30° geneigtem Tisch wurden zwei weitere Schnitte jeweils exakt durch die Mitte des Markes geführt. Dadurch entstand auch bei stärker gekrümmten Trieben immer ein genau 60° breiter Keil (siehe Abb. 8 C). Das Ausschneiden des 60°-Keiles sollte zwei Vorteile bringen:

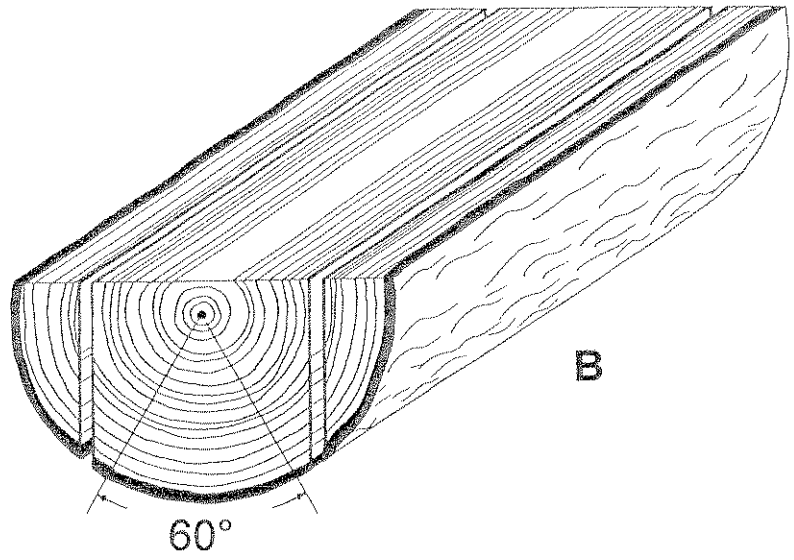
Erstens ermöglichte es einen größeren Stichprobenumfang bei schmalen Jahrringen. Während KURKELA & JALKANEN (1990) und SANDER & ECKSTEIN (1994) bei Bäumen mit schmalen Jahrringen nur einen Sektor von 45° auswerteten, sollte dadurch eine genauere Bearbeitung von Jahrestrieben mit unregelmäßiger Form ermöglicht werden.

Zweitens waren im Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Wien, an dem dankenswerterweise die Sandstrahlarbeiten durchgeführt werden konnten, die Möglichkeiten der Probenbearbeitung beschränkt. Der einmal ausgeschnittene 60°-Keil benötigte keine maschinelle oder stauberzeugende weitere Bearbeitung mehr.

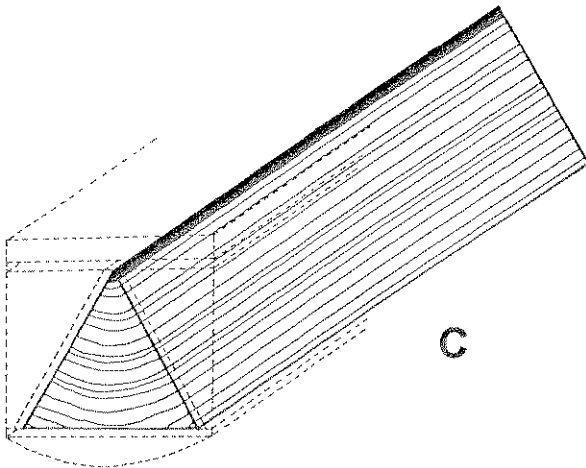




A



B



C

Abb. 8 A - C: Schematische Darstellung der Auftrennung des Stammes.

Triebe über 40 cm Länge wurden zur besseren Handhabung beim Sandstrahlen geteilt. Als Strahlgut kam 'Edelkorund A' (Korngröße ca. 65  $\mu\text{m}$ ) zur Anwendung, der Düsendurchmesser betrug 5mm und der Strahl Druck ca. 5 bar. Es wurde ein Saugstrahlverfahren mit Strahlgutrückführung verwendet. Abb. 9 zeigt den schematischen Aufbau der Sandstrahlanlage. Ausgehend vom ersten (marknächsten) Jahrring wurde bei jedem Jahrestrieb Jahrring für Jahrring abgetragen. Durch das Sandstrahlen wurde das weiche Frühholz entfernt, die härteren Nadelspuren widerstanden dem Strahlgut, blieben erhalten und konnten ausgezählt werden. Dann wurde das Spätholz mit einem Stemmeisen, bei schmälere Jahrringen mit einem Hohleisen entfernt und so der nächste Jahrring freigelegt. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt bis keine Nadelspuren mehr nachweisbar waren. Die Seiten der Proben wurden durch ein Klebeband abgedeckt, um zu verhindern, daß durch die wiederholten Strahldurchgänge die tieferliegenden Jahrringe an den Seiten der Proben vorzeitig abgetragen wurden. Ab dem Jahrestrieb von 1971 wurden die Jahrringe zu schmal (unter 2 mm) um die Nadelspuren suche weiter durchführen zu können.

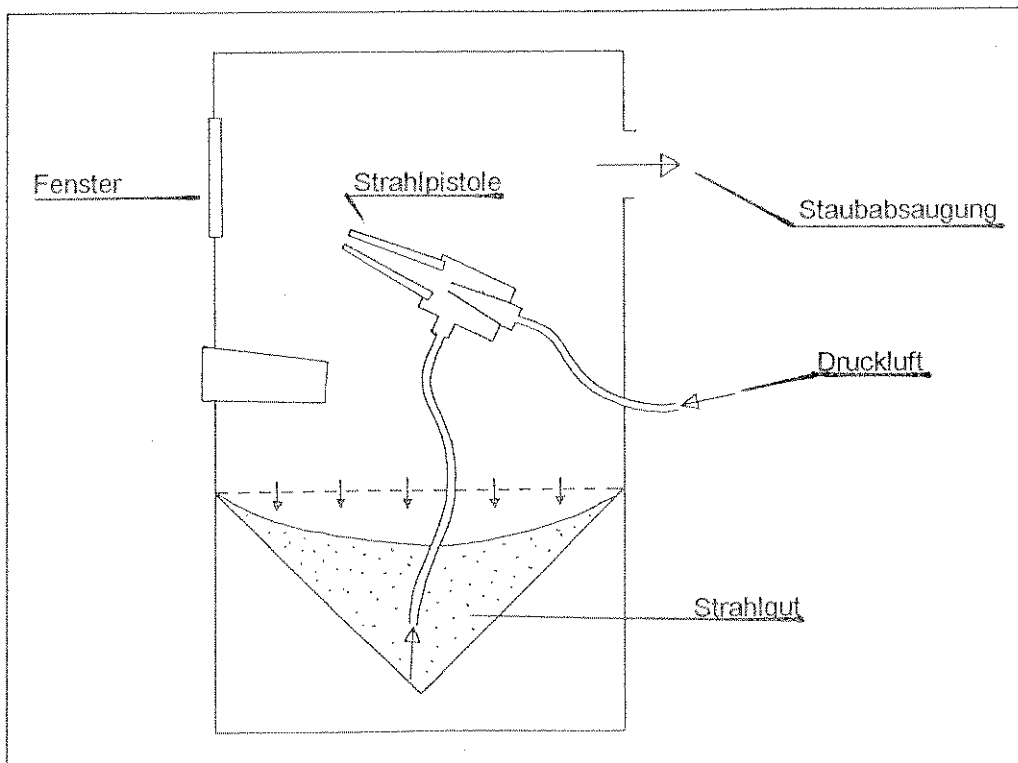


Abb. 9: Schematischer Aufbau der Sandstrahlanlage.

## 2.4 Auswertungsverfahren

Die Anzahl der in jedem einzelnen Jahrring jedes Jahrestriebes gefundenen Nadelspuren wurde in Prozent umgerechnet, wobei die Anzahl der Nadelspuren im ersten Jahrring als 100 Prozent angenommen wurde. Wenn die Nadelspuren des ersten Jahrringes nicht freigelegt werden konnten, weil er zu schmal war oder zu viel Druckholz ausgebildet hatte, wurde die Benadelung des zweiten Jahrringes als 100 Prozent angenommen. Bei einem offensichtlichen Verlust an Nadelspuren im zweiten Jahrring wurde der Benadelungsprozentsatz dieses Jahrringes geschätzt. Die Benadelung des gesamten Haupttriebes in einem bestimmten Jahr, ausgedrückt in Prozent, ergab sich aus der Summe der Benadelungsprozente des ersten Jahrringes des aktuellen Jahrestriebes, des zweiten Jahrringes des vorhergehenden Jahrestriebes, usw. Fehlende Werte wurden durch Mittelwerte der Jahre 1914 - 1929 ersetzt, wie es bei dem Trieb aus dem Jahr 1919, der wegen massiver Druckholzbildung nicht auf Nadelspuren untersucht werden konnte, der Fall war bzw. zu Beginn des Beobachtungszeitraumes, wo für eine Benadelungsrekonstruktion die Werte nicht vorhandener, früherer Triebe nötig gewesen wären. Alle im folgenden beschriebenen Berechnungen basieren auf den so korrigierten Benadelungswerten. In Tabelle 1 ist die Ermittlung der Benadelung des Haupttriebes des Jahres 1930 beispielhaft dargestellt.

Jahr	1. Jahrring		2. Jahrring		3. Jahrring		4. Jahrring		5. Jahrring		6. Jahrring		7. Jahrring		BN
	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	
1924	77	100	77	100	74	96,1	62	80,5	58	75,3	23	29,9	0	0	332
1925	157	100	157	100	126	80,3	115	73,2	63	40,1	5	3,2	0	0	355
1926	80	100	80	100	37	46,3	16	20,0	6	7,5	3	3,8	0	0	373
1927	84	100	80	95,2	53	63,1	29	34,5	2	2,4	0	0	0	0	399
1928	42	100	42	100	29	69,0	7	16,7	0	0	0	0	0	0	403
1929	50	100	50	100	39	78,0	32	64,0	22	44,0	10	20,0	1	2,0	353
1930	62	100	56	90,3	42	67,7	34	54,8	11	17,7	0	0	0	0	314

Tab. 1: Beispielhafte Darstellung der Ermittlung der Gesamtbenadelung eines Jahres: Die Benadelung des Jahres 1930 ergibt sich als Summe der fett umrandeten Benadelungswerte der Jahrringspalten.  
 Jahr = Entstehungsjahr des untersuchten Jahrestriebes; Nsp. = Anzahl der Nadelspuren; % = Nadelspuren in Prozent, bezogen auf den ersten Jahrring; BN = Benadelung des gesamten Haupttriebes [%].

Der jährliche Nadelverlust (JNV) für das Jahr t errechnet sich nach der Formel

$$\text{JNV}_t = (\text{BN}_t - \text{BN}_{t+1}) + 100 [\%] \quad (\text{nach JALKANEN et al. ,1993}).$$

Der Wert 100 steht für die Nadeln des neuen Triebes des Jahres (t+1). Ein jährlicher Nadelverlust von 100 % entspricht dem Verlust eines vollen Nadeljahrganges.

Die Beziehung zwischen den Parametern 'Benadelungsprozent' und 'Benadelungsgrad' lautet:

$$\text{Benadelungsgrad} = \frac{\text{Benadelungsprozent}}{100}$$

Ein Benadelungsgrad von 1 oder ein Benadelungsprozent von 100 % entspricht einem vollen Nadeljahrgang.

Um die gemessenen Triebblängen (siehe Punkt 2.5.1) mit der Anzahl der Nadeln des ersten Nadeljahrganges in Beziehung setzen zu können, erfolgte die Berechnung der Nadelanzahl nach folgender Formel:

$$\text{Nadelanzahl} = \text{Nadelspuren des ersten Jahrganges} \times \frac{\text{gemessene Triebblänge}}{\text{untersuchte Triebblänge}} \times 6$$

Die 'untersuchte' Triebblänge ist dabei die gemessene Triebblänge abzüglich der Schnittverluste, der Breite der gewonnenen Stammscheiben, sowie jener Bereiche der Proben, in denen wegen eines Astes oder starker Druckholzbildung die Nadelspursuche nicht durchgeführt werden konnte. Der Faktor 'gemessene Triebblänge durch untersuchte Triebblänge' dient der Hochrechnung der gefundenen Nadelspuren auf die gemessene Triebblänge, der Faktor 6 ergibt sich aus dem Winkel von 60° (1/6 des Umfanges), den jeder Probenkeil aufwies.

## 2.5 Zusätzlich erhobene Parameter

### 2.5.1 Triebblängen

Wie in Punkt 2.3 beschrieben, konnte nach dem Freilegen der Markröhre eine Messung des jährlichen Höhenzuwachses über die gesamte Lebensdauer des Baumes hinweg durchgeführt werden. Dabei konnte auch festgestellt werden, in welchen Jahren die Terminalknospe abgestorben war und eine Seitenknospe ihre Funktion übernommen hatte.

### 2.5.2 Jahrringbreiten

Wie in Punkt 2.3 erwähnt, lagen nach der Auftrennung des Stammes in die einzelnen Jahrestriebe über die gesamte Baumhöhe hinweg Stammscheiben vor. Durch das Einschneiden im Sägewerk enthielten sie zum Teil nur mehr in einem Sektor die vollständige Anzahl an Jahrringen. Dieser Sektor war bei Scheiben aus dem unteren Stammabschnitt geringer (ca. 20°) als im oberen (über 90°). Dies ermöglichte es, Jahrringbreitenmessungen in allen Stammhöhen vorzunehmen. Die jeweiligen Stammhöhen, in denen die Scheiben gewonnen wurden, bzw. die Abstände der Scheiben voneinander sind in Tabelle 2 angegeben. Auf jeder Scheibe wurden zwei Jahrringprofile, die je nach oben erwähnter Größe der Stammscheibe einen Winkel von maximal 90° auf der Ostseite der Proben einschlossen, auf 1/100 mm genau gemessen und gemittelt. Sofern nicht anders angegeben, beziehen sich alle Berechnungen oder Darstellungen bezüglich Jahrringbreiten auf die Mittelwerte der Stammscheibe Nr. 4, die aus einer Baumhöhe von 124 cm stammt (etwa Brusthöhendurchmesser).

Nr.	Jahr	Höhe	Abst.	Nr.	Jahr	Höhe	Abst.	Nr.	Jahr	Höhe	Abst.	Nr.	Jahr	Höhe	Abst.
1	1915	14		16	1931	603	40	31	1942	1408	74	46	1961	2123	41
2	1916	48	34	17	1932	686	83	32	1943	1484	76	47	1964	2176	53
3	1918	85	37	18	1933	751	65	33	1945	1558	74	48	1966	2226	50
4	1919	124	39	19	1934	782	31	34	1946	1644	86	49	1967	2251	25
5	1920	152	28	20	1934	811	29	35	1947	1682	38	50	1969	2336	85
6	1922	188	36	21	1935	875	64	36	1947	1731	49	51	1971	2376	40
7	1924	221	33	22	1935	953	78	37	1948	1760	29	52	1972	2408	32
8	1924	247	26	23	1936	1006	53	38	1950	1787	27	53	1973	2438	30
9	1926	301	54	24	1937	1037	31	39	1951	1826	39	54	1974	2461	23
10	1926	364	63	25	1937	1080	43	40	1951	1866	40	55	1976	2501	40
11	1927	408	44	26	1937	1120	40	41	1952	1903	37	56	1978	2538	37
12	1928	466	58	27	1938	1149	29	42	1953	1930	27	57	1980	2572	34
13	1929	528	62	28	1938	1197	48	43	1954	1983	53	58	1981	2584	12
14	1930	536	8	29	1939	1227	30	44	1957	2051	68	59	1983	2618	34
15	1931	563	27	30	1941	1334	107	45	1959	2082	31				

Tabelle 2: Aufstellung der Profile für die Jahringbreitenmessung.

Nr. = Profilvernummer

Jahr = ältester gemessener Jahring des Profiles

Höhe = Baumhöhe, in der das Profil gemessen wurde [cm]

Abst. = Abstand des Profiles vom vorhergehenden [cm]

### 2.5.3 Aktuelles Benadelungsprozent

Getrennt für den unteren, mittleren und oberen Kronenbereich, sowie für die oberste Wipfelregion (siehe Punkt 2.2) wurde das aktuelle Benadelungsprozent vor Ort nach der von KNABE (1981) beschriebenen Methode ermittelt. Das Mittel dieser Werte ergab den Wert für die Gesamtbenadelung der Krone.

### 2.5.4 Fluorgehalte der Nadeln

Getrennt für den unteren, mittleren und oberen Kronenbereich, sowie für die oberste Wipfelregion (siehe Punkt 2.2) wurde für jeden Nadeljahrgang der Fluorgehalt der Nadeln bestimmt. Die Fluoranalyse erfolgte mit Hilfe einer ionenselektiven Elektrode nach dem Verfahren von LEVAGGI et al. (1971). Vom 5. Nadeljahrgang im oberen Kronenbereich und im Wipfel, sowie vom 6. Nadeljahrgang im mittleren und unteren Kronenbereich waren nur noch so wenig Nadeln vorhanden, daß jeweils eine gemeinsame Probe beider Höhenstufen zur Untersuchung gelangte.

### 2.5.5 Nadellängen und 100-Nadelgewichte

Getrennt für den unteren, mittleren und oberen Kronenbereich (siehe Punkt 2.2) wurde von jedem Nadeljahrgang eine Stichprobe von jeweils 100 Nadeln gezogen, anhand derer die durchschnittliche Nadellänge sowie nach dem Trocknen bis zur Gewichtskonstanz das 100-Nadelgewicht ermittelt wurde.

### 2.6 Beeinflussende Faktoren für die Entwicklung der Benadelung, der Trieb­längen und der Jahrringbreiten

Für das Benadelungsprozent, die Trieb­längen und die Jahrringbreiten wurde der mögliche Einfluß folgender Faktoren untersucht:

- Benadelungsprozent des aktuellen Jahres und des Vorjahres
- Trieb­länge des aktuellen Jahres und des Vorjahres
- Jahrringbreite des aktuellen Jahres und des Vorjahres
- Mitteltemperatur des aktuellen Jahres und des Vorjahres
- saisonale Mitteltemperaturen vom Frühjahr des Vorjahres bis zum Herbst des aktuellen Jahres
- Niederschlagssumme des aktuellen Jahres und des Vorjahres
- saisonale Niederschlagssummen vom Frühjahr des Vorjahres bis zum Herbst des aktuellen Jahres

Die Beeinflussung wurde durch das Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten ausgedrückt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Benadelungsrekonstruktion

Die Benadelung konnte für die Jahre 1914 bis 1971 rekonstruiert werden. Das Ergebnis der Benadelungsrekonstruktion ist in Abb. 10 sowie in Tabelle 7 (siehe Anhang) dargestellt. Der lineare Trend ( $R^2 = 0,24$ ) zeigt eine abnehmende Tendenz über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg. Der höchste Benadelungswert trat 1928 auf (403 %), der niedrigste 1948 (256 %). Im Schnitt betrug die Benadelung 330 %.

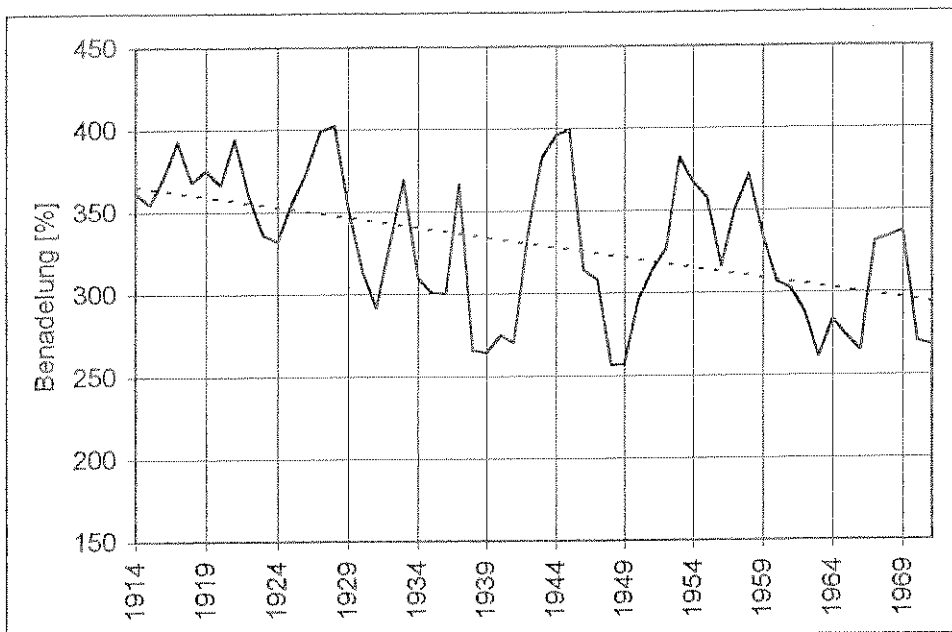


Abb. 9: Rekonstruierte Benadelung im Zeitraum von 1914 bis 1971. Der lineare Trend ( $R^2 = 0,24$ ) ist strichliert dargestellt.

Der jährliche Nadelverlust ist in Abb. 11 dargestellt. Werte über 100 % bedeuten eine Abnahme, Werte unter 100 % eine Zunahme der Benadelung. Der höchste Nadelverlust trat 1937 auf (200 %), der geringste 1941 (33 %). Die Darstellung zeigt, daß die größten Schwankungen der Nadelverlustkurve etwa zwischen den Jahren 1930 und 1950 auftraten.



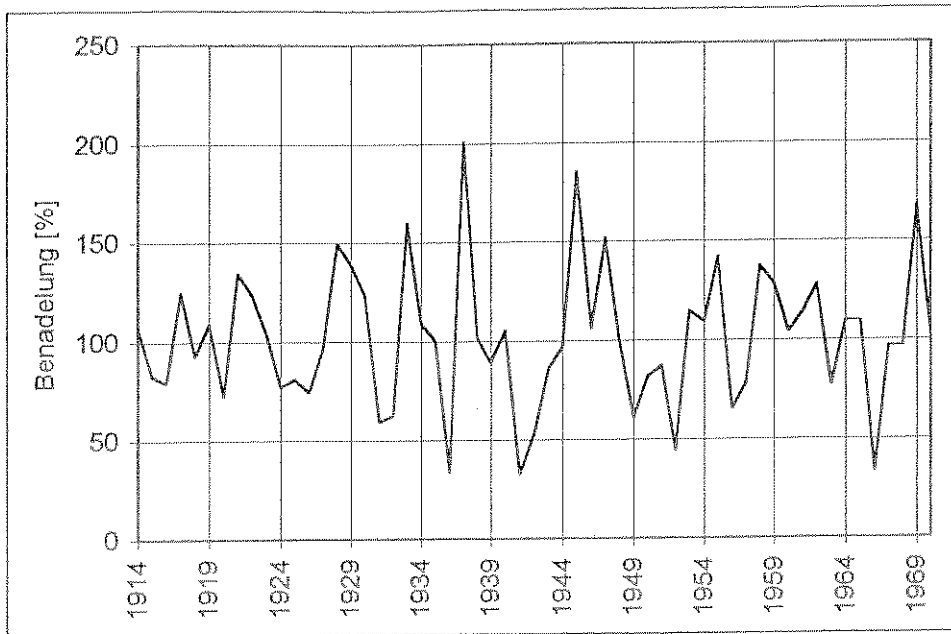


Abb. 11: Jährlicher Nadelverlust im Zeitraum von 1914 - 1970.

Die Zusammenhänge zwischen Nadelanzahl und Trieblänge bzw. Nadeldichte (Nadeln / cm Trieblänge) und Trieblänge sind in Abb. 12 und 13 dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Nadelanzahl von der Trieblänge ( $R^2 = 0,81$ ) und praktisch kein Einfluß der Trieblänge auf die Nadeldichte ( $R^2 = 0,02$ ).

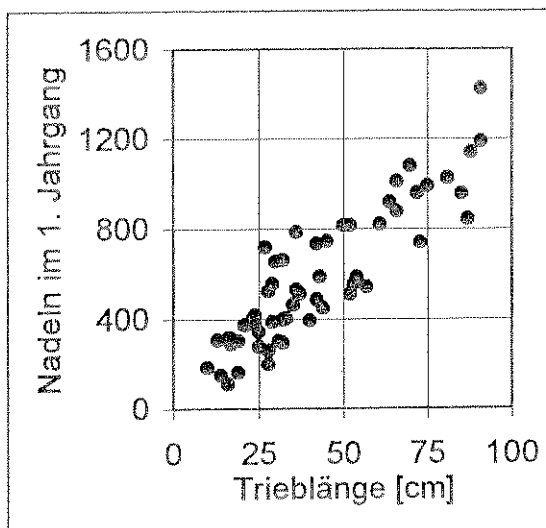


Abb. 12: Zusammenhang zwischen der Trieblänge und der Nadelanzahl.

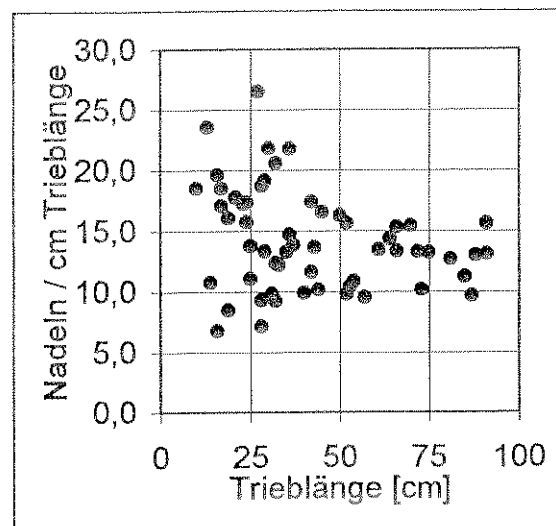


Abb. 13: Zusammenhang zwischen der Trieblänge und der Nadeldichte.

### 3.2 Triebblängen

Das Ergebnis der Triebblängenmessung ist in Abb. 14 und in Tabelle 3 dargestellt. In Tabelle 3 sind auch die untersuchten Triebblängen (Trieblänge abzüglich Schnitt-verluste etc.), die Anzahl der Nadeln im ersten Nadeljahrgang sowie die Nadeldichte (Nadeln / cm Trieblänge) angeführt. Jene Jahre, in denen die Terminalknospe abgestorben war und eine Seitenknospe ihre Funktion übernommen hatte, sind besonders gekennzeichnet. Es zeigt sich, daß starke Rückgänge der Triebblängen oft mit diesen Ereignissen einhergehen. Alle Zuwachsrückgänge lassen sich dadurch allerdings nicht erklären. Es muß jedoch betont werden, daß einige Terminalknospen beim Auftrennen des Stammes zerstört worden waren, sodaß keine vollständige Aufstellung über das Absterben der Terminalknospen erstellt werden konnte. Die Triebblängenkurve zeigt einen deutlichen Alterstrend, sowie einen Anstieg in den Jahren 1960 - 1967. Die Triebblängen variieren zwischen 3 cm (1983) und 91 cm (1933 und 1934).

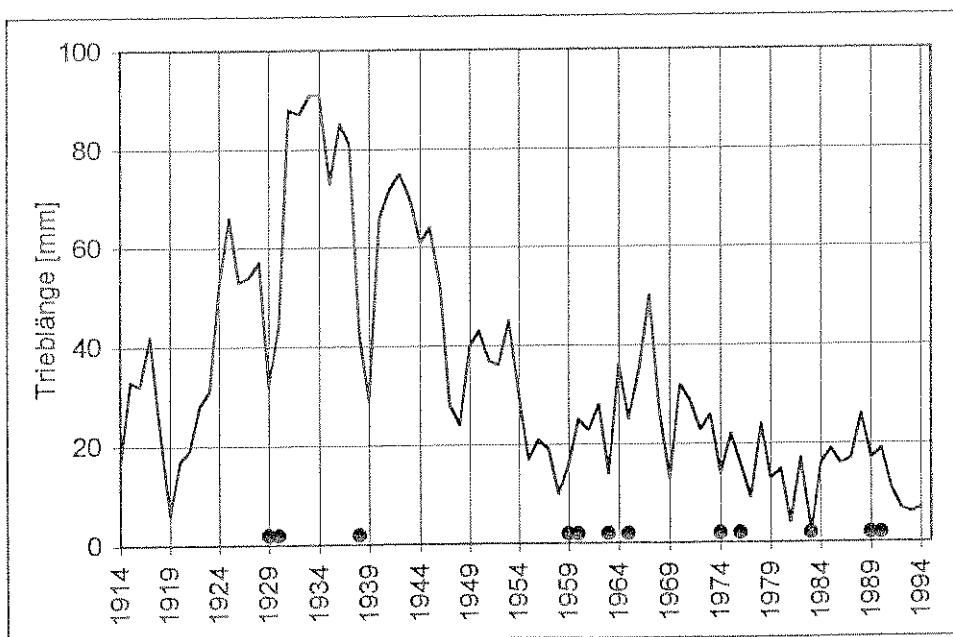


Abb. 14: Verlauf des jährlichen Höhenzuwachses im Zeitraum von 1914 bis 1994. Die Punkte (\*) kennzeichnen jene Jahre, in denen nach Absterben der Terminalknospe eine Seitenknospe die Leitfunktion übernommen hatte.

	A	B	C	D	E
1914	16		11,5	109	6,8
1915	33		31,5	402	12,2
1916	32		30,6	295	9,2
1917	42		36,9	731	17,4
1918	24		18,7	377	15,7
1919	6		4,6	0	0,0
1920	17		12,3	290	17,1
1921	19		17	161	8,5
1922	28		26	200	7,2
1923	31		24,5	304	9,8
1924	52		47,2	509	9,8
1925	66		61,5	1011	15,3
1926	53		46	553	10,4
1927	54		46,5	585	10,8
1928	57		26,5	542	9,5
1929	32	X	24,3	395	12,3
1930	44	X	36,6	447	10,2
1931	88		73,6	1141	13,0
1932	87		78,7	842	9,7
1933	91		73,9	1190	13,1
1934	91		77,9	1423	15,6
1935	73		65,2	739	10,1
1936	85		77,5	954	11,2
1937	81		65	1024	12,6
1938	42	X	23,8	487	11,6
1939	29		14,4	387	13,3
1940	66		51,9	877	13,3
1941	72		65,5	956	13,3
1942	75		70,9	990	13,2
1943	70		64,6	1079	15,4
1944	61		58,2	818	13,4
1945	64		55,7	917	14,3
1946	52		46,9	812	15,6
1947	28		24,6	260	9,3
1948	24		20,1	416	17,3
1949	40		36,5	395	9,9
1950	43		38,3	586	13,6
1951	37		33,4	512	13,8
1952	36		23,4	785	21,8
1953	45		39,2	744	16,5
1954	30		28,6	655	21,8

	A	B	C	D	E
1955	17		14,9	315	18,5
1956	21		13,5	373	17,8
1957	19		17,6	304	16,0
1958	10		8,1	185	18,5
1959	16	X	11,3	314	19,6
1960	25	X	22,2	277	11,1
1961	23		20,2	396	17,2
1962	28		24	525	18,8
1963	14	X	11,2	150	10,7
1964	36		31,8	530	14,7
1965	25	X	20,5	344	13,8
1966	35		29,9	464	13,2
1967	50		46,1	813	16,3
1968	27		23,3	716	26,5
1969	13		11,2	306	23,6
1970	32		29,4	660	20,6
1971	29		24,1	556	19,2
1972	23				
1973	26				
1974	14	X			
1975	22				
1976	16	X			
1977	9				
1978	24				
1979	13				
1980	15				
1981	4				
1982	17				
1983	2	X			
1984	16				
1985	19				
1986	16				
1987	17				
1988	26				
1989	17	X			
1990	19	X			
1991	11				
1992	7				
1993	6				
1994	7				

Tabelle 3: Ergebnisse der Triebblängenmessung und -auswertung.

A = Trieblänge [cm]

B = Terminalknospe abgestorben, Nebenknospe übernahm Leitfunktion

C = untersuchte Länge (Trieblänge abzüglich Schnittverluste ect.) [cm]

D = Anzahl der Nadeln im ersten Nadeljahrgang

E = Nadeln / cm Trieblänge

### 3.3 Jahrringbreiten

Die Jahrringbreiten in 124 cm Stammhöhe sind in Tab. 4 und in Abb. 15 dargestellt, wobei der Alterstrend der Jahrringbreitenentwicklung zu erkennen ist. Auffallend ist der Zuwachsrückgang in den Jahren 1947 und 1948 sowie 1976 und die Zunahme der Jahrringbreiten 1960 und 1961, 1985 sowie 1989 und 1990. Abb. 16 zeigt die Mittelkurven aller ausgewerteten Stammscheiben, jeweils um 0,5 mm versetzt. Hier zeigt sich, daß einzelne Zuwachseignisse in allen Stammhöhen zu beobachten sind, zum Beispiel die Zuwachsspitzen der Jahre 1985 und 1990. Andere Ereignisse sind mehr oder weniger auf einen Stammabschnitt beschränkt, wie zum Beispiel die Schwankungen der Jahrringbreiten in den Jahren von 1942 bis 1950, die nur im unteren Bereich stark ausgeprägt sind. Die Mittelwerte der Jahrringbreiten aller ausgewerteten Stammscheiben sind in Tabelle 10 dargestellt (siehe Anhang).

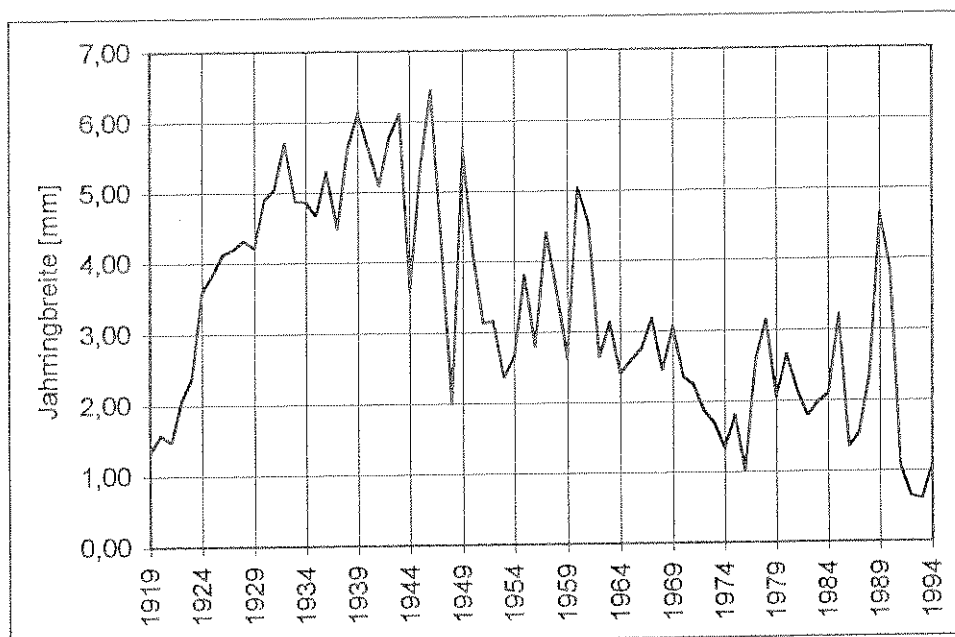


Abb. 15: Jahrringbreitenverlauf im Zeitraum 1915 - 1994.

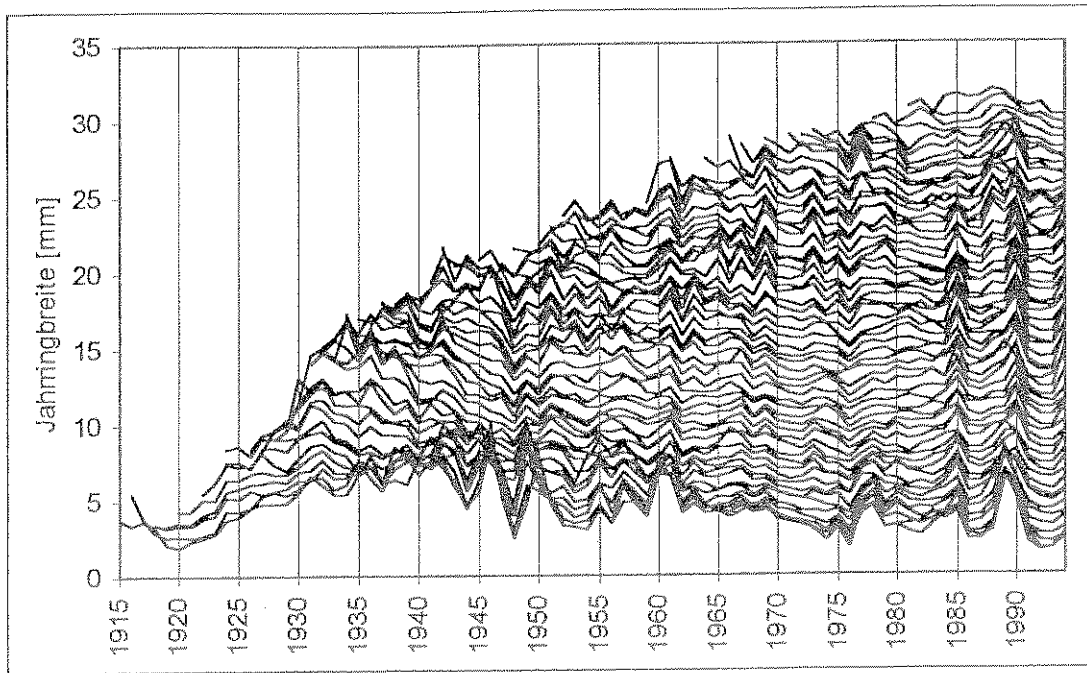


Abb. 16: Versetzte Jahringbreitenkurven aus verschiedenen Stammhöhen.

	J.b.		J.b.		J.b.		J.b.		J.b.
1919	1,34	1935	4,67	1951	3,13	1967	3,18	1983	1,99
1920	1,58	1936	5,3	1952	3,17	1968	2,45	1984	2,1
1921	1,48	1937	4,48	1953	2,37	1969	3,07	1985	3,22
1922	2,06	1938	5,62	1954	2,66	1970	2,36	1986	1,35
1923	2,39	1939	6,13	1955	3,81	1971	2,25	1987	1,54
1924	3,60	1940	5,65	1956	2,8	1972	1,88	1988	2,35
1925	3,84	1941	5,1	1957	4,4	1973	1,7	1989	4,64
1926	4,13	1942	5,78	1958	3,57	1974	1,34	1990	3,86
1927	4,19	1943	6,11	1959	2,62	1975	1,81	1991	1,08
1928	4,32	1944	3,6	1960	5,05	1976	1,02	1992	0,66
1929	4,22	1945	5,37	1961	4,54	1977	2,6	1993	0,61
1930	4,90	1946	6,44	1962	2,65	1978	3,15	1994	1,08
1931	5,05	1947	4,25	1963	3,13	1979	2,05		
1932	5,71	1948	2	1964	2,42	1980	2,66		
1933	4,89	1949	5,63	1965	2,61	1981	2,14		
1934	4,87	1950	4,11	1966	2,77	1982	1,79		

Tabelle 4: Ergebnis der Jahringbreitenmessung. J.b. = Jahringbreiten [mm]

### 3.4 Aktuelles Benadelungsprozent

Die Werte der zum Zeitpunkt der Probennahme aktuellen Benadelung sind getrennt für verschiedene Baumhöhen in Abb. 17 und Tab. 5 (siehe Seite 31) dargestellt. Die geringe Benadelung der oberen Kronenregion dürfte auf Insektenfraß zurückzuführen sein (*Cephalcia abietis*). Sowohl der Haupttrieb (180 %) als auch die gesamte Krone (263 %) sind im Verhältnis zu den rekonstruierten Benadelungswerten der Jahre 1914 - 1971 geringer benadelt.

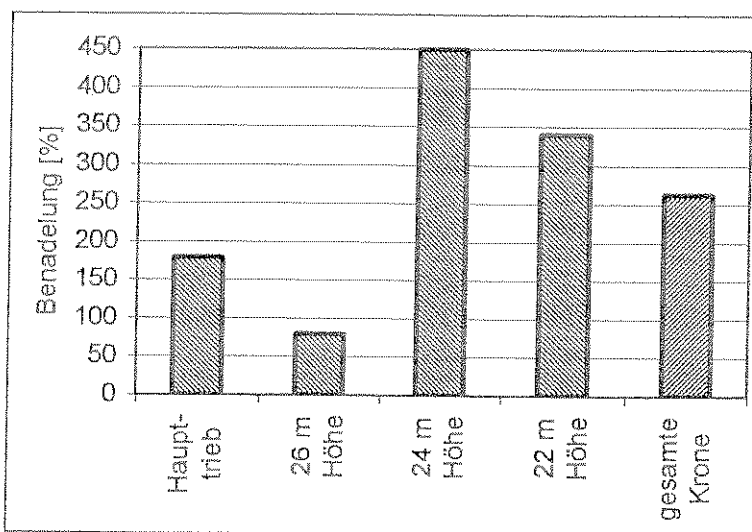


Abb. 17: Aktuelle Benadelung der Krone in verschiedenen Höhen zum Zeitpunkt der Probennahme (Jänner 1995).

### 3.5 Fluorgehalte der Nadeln

Die in Abb. 18 bzw. Tab. 5 (siehe Seite 31) nach verschiedenen Kronenhöhen getrennt dargestellten Fluorgehalte der Nadeln zeigen eine deutliche Abnahme des Fluorgehaltes von den älteren zu den jüngeren Nadeln. Die Werte des ersten und zweiten Nadeljahrganges sind in allen Kronenhöhen weitgehend gleich, während bei den älteren Nadeljahrgängen ein höherer Fluorgehalt in den oberen Kronenregionen festzustellen ist.

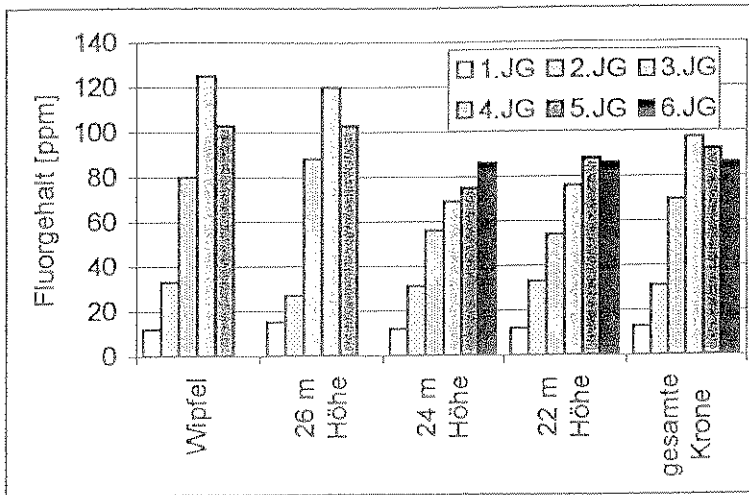


Abb. 18: Fluorgehalt in den Nadeln aus verschiedenen Kronenhöhen zum Zeitpunkt der Probennahme (Jänner 1995).

### 3.6 Nadellängen und 100-Nadelgewichte

In Abb. 19 und 20 sowie in Tab. 5 (siehe Seite 31) sind die Ergebnisse der Nadellängen- bzw. 100-Nadelgewichtsmessung dargestellt. Beide Parameter weisen einen Rückgang vom ersten Nadeljahrgang zum dritten hin auf und dann einen Anstieg zu den älteren Nadeljahrgängen.

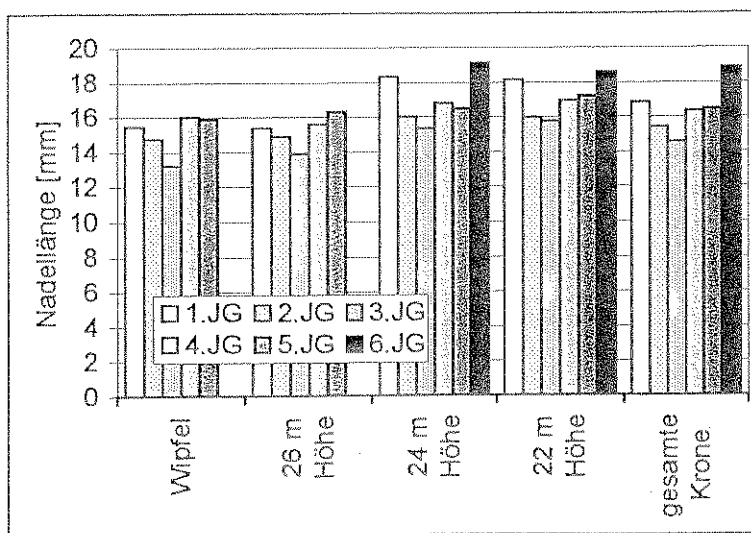


Abb. 19: Nadellängen der einzelnen Nadeljahrgänge verschiedener Kronenregionen zum Zeitpunkt der Probennahme (Jänner 1995).

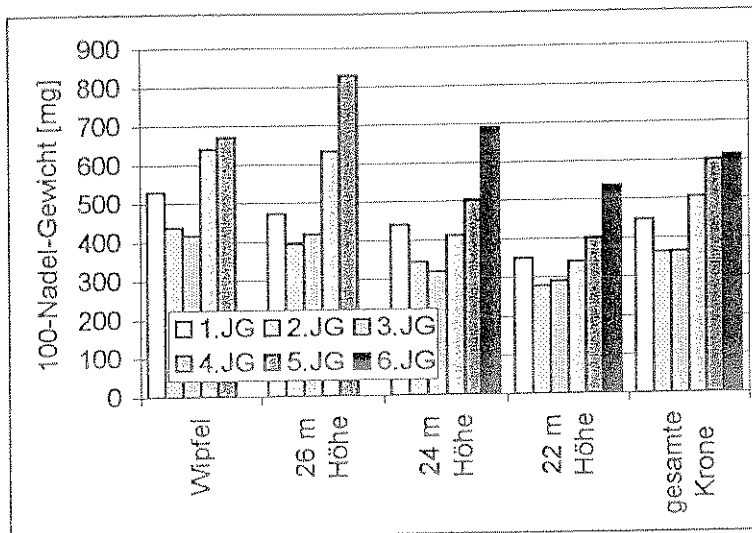


Abb. 20: 100-Needelgewichte der einzelnen Nadeljahrgänge verschiedener Kronenregionen zum Zeitpunkt der Probennahme (Jänner 1995).

	100-Needelgewicht [mg]					Nadellänge [mm]					Fluorgehalt der Nadeln [ppm]				
	Wipf.	26m	24m	22m	ges.	Wipf.	26m	24m	22m	ges.	Wipf.	26m	24m	22m	ges.
1.JG	529	471	440	349	447	15	15	18	18	17	12	15	12	12	13
2.JG	437	393	344	278	363	15	15	16	16	15	33	27	31	33	31
3.JG	417	419	319	291	364	13	14	15	16	15	80	88	56	54	70
4.JG	640	633	411	341	506	16	16	17	17	16	125	120	69	76	98
5.JG	670	829	504	401	601	16	16	16	17	16	103	103	75	88	92
6.JG			690	535	613			19	19	19			86	86	86

Tabelle 5: 100-Needelgewicht, Nadellänge und Fluorgehalt der Nadeln für die aktuelle Benadelung getrennt nach Jahrgängen (Wipf. = Wipfel, ges. = gesamte Krone)

### 3.7 Beeinflussende Faktoren für die Parameter Benadelung, Trieblänge und Jahrringbreite

In Tab. 6 sind die Abhängigkeiten der Parameter Benadelung, Trieblänge und Jahrringbreite von klimatischen und biometrischen Faktoren dargestellt:



	Trieblänge	Jahringbreite	Benadelung
Jahringbreite	0,50	1,00	0,01
Jahringbreite Vj	0,44	0,54	0,00
Benadelung	0,00	0,01	1,00
Benadelung Vj	0,02	0,01	0,46
Trieblänge	1,00	0,50	0,00
Trieblänge Vj	0,70	0,47	0,02
Jahresmitteltemperatur	0,01	0,00	0,01
Vorjahresmitteltemperatur	0,02	0,01	0,00
Mitteltemperatur März - Mai Vj	0,01	0,00	0,01
Mitteltemperatur Juni - August Vj	0,00	0,00	0,05
Mitteltemperatur September - November Vj	0,01	0,01	0,02
Mitteltemperatur Dezember Vj - Februar aJ	0,00	0,02	0,06
Mitteltemperatur März - Mai aJ	0,00	0,00	0,01
Mitteltemperatur Juni - August aJ	0,00	0,01	0,06
Mitteltemperatur September - November aJ	0,00	0,00	0,00
Jahresniederschlag	0,01	0,00	0,00
Vorjahresniederschlag	0,00	0,00	0,03
Niederschlag März - Mai Vj	0,05	0,03	0,00
Niederschlag Juni - August Vj	0,01	0,00	0,03
Niederschlag September - November Vj	0,05	0,00	0,01
Niederschlag Dezember Vj - Februar aJ	0,05	0,03	0,01
Niederschlag März - Mai aJ	0,01	0,00	0,00
Niederschlag Juni - August aJ	0,02	0,01	0,00
Niederschlag September - November aJ	0,03	0,01	0,00

Tabelle 6: R<sup>2</sup>-Werte für den Zusammenhang biometrischer Parameter untereinander sowie mit klimatischen Gegebenheiten im Untersuchungszeitraum. (aJ = aktuelles Jahr, Vj = Vorjahr)

#### 4. Diskussion

Die Ergebnisse der Benadelungsrekonstruktion, der Triebblängen- und Jahrringbreitenmessung geben einen Überblick über die Entwicklung des untersuchten Baumes im Zeitraum von 1914 - 1994. Es finden sich aber nur wenige Erklärungen für die Schwankungen, die bei diesen Parametern feststellbar sind. Die Stellung im Bestand beeinflußt das Höhen- und Dickenwachstum eines Baumes; OFNER (1987) fand auch einen Einfluß der Soziologie auf den Nadelverlust. Nach AICHMÜLLER (1962) nehmen in Vollmastjahren die Triebblänge und die Jahrringbreite ab. Auch biotische Schadeinflüsse (Insekten, Pilze) können einen wesentlichen Einfluß auf die Benadelung ausüben, wie sich am Beispiel des zum Zeitpunkt der Probennahme erhobenen Benadelungsprozentes zeigt, das durch den Fichtenblattwespenbefall im oberen Kronenbereich deutlich reduziert war. MITTERBÖCK (1985) konnte allerdings am Beispiel der Nonne (*Lymantria monacha*) nachweisen, daß Fluor in der Nahrung die Entwicklung von phytophagen Forstinsekten behindert.

Der mögliche Einfluß all dieser Faktoren konnte nicht untersucht werden, da kein diesbezügliches Datenmaterial zur Verfügung stand. Nur die Rückgänge der Triebblängen infolge Absterbens der Terminalknospe müssen eindeutig auf äußere Einflüsse zurückgeführt werden. Ob dieses Absterben aber durch biotische oder abiotische Faktoren verursacht wurde, war nicht feststellbar. SANDER & ECKSTEIN (1994) fanden einen deutlichen Zusammenhang zwischen Triebblänge und Nadelanzahl, sowie zwischen Triebblänge und Nadeldichte. In der vorliegenden Untersuchung konnte nur die Beeinflussung der Nadelanzahl durch die Triebblänge beobachtet werden, Triebblänge und Nadeldichte zeigten keine Abhängigkeit.

Für den Untersuchungsstandort existiert eine Jahrringindexkuve für Fichte (WIMMER et al., 1995), die für einen Vergleich mit der Jahrringkurve des untersuchten Baumes in Abb. 21 dargestellt ist. Die Jahrringkurve ist dabei auf einer logarithmischen Skala aufgetragen, um den Alterstrend etwas auszugleichen. In den ersten Lebensjahrzehnten zeigt die Jahrringkurve des untersuchten Baumes kaum Übereinstimmungen mit der Jahrringindexkurve. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß sich der Baum noch in der Phase des jugendlichen Wachstums befand, und in dieser Zeit der stärksten Zuwächse die Beeinflussung durch

konkurrenzierende Bäume alle anderen Einwirkungen überdeckte. Der Einbruch der Jahre 1947 und 1948, auf den noch näher eingegangen wird, ist aber bei beiden Kurven ausgeprägt. Ab den fünfziger Jahren beginnt sich die Jahrringkurve ähnlich der Jahrringindexkurve zu verhalten. Jahre mit extremen Zuwächsen sind in beiden Kurven zu finden, wie zum Beispiel die Zuwachseinbrüche der Jahre 1976 und 1992 oder die Zuwachsschübe der Jahre 1985 und 1989/90.

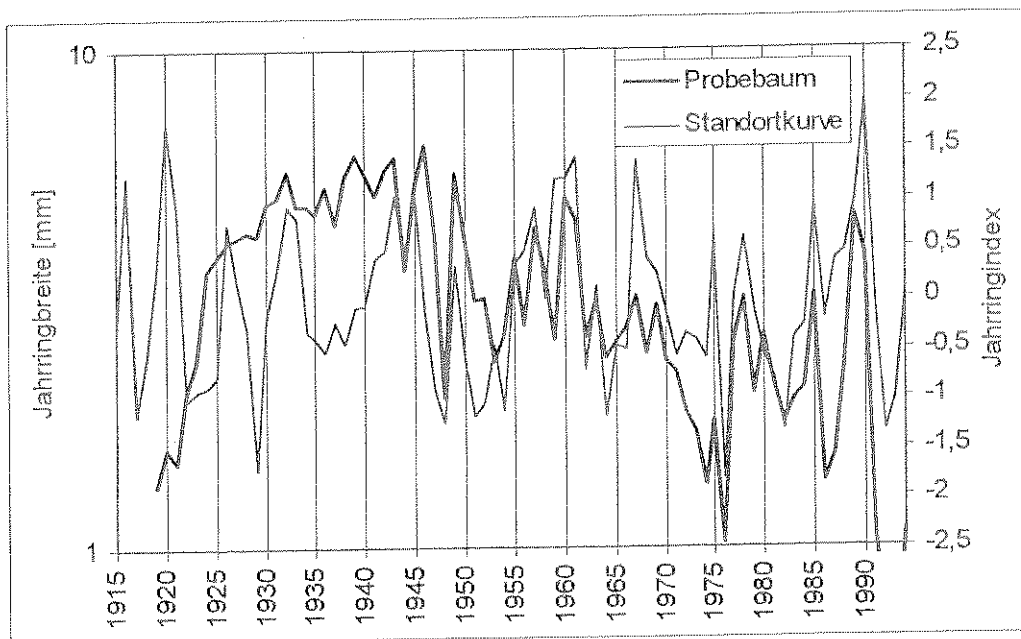


Abb. 21: Gegenüberstellung der Zuwachskurve des untersuchten Baumes (logarithmische Skala) und der Jahrringindexkurve für Fichten dieses Standorts.

Es zeigte sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen Jahrringbreite und Trieblänge, jedoch keine Abhängigkeit des Benadelungsprozentes von diesen beiden Parametern. Nach ECKMÜLLER (1988), SCHÖN et al. (1988), OFNER (1987) und SCHMIDT-VOGT (1986) ist ein signifikanter Einfluß der Benadelung auf den Zuwachs gegeben. Allerdings wurden diese Untersuchungen an mehreren Bäumen durchgeführt und Vergleiche verschiedener Standorte mit unterschiedlichem Verlichtungsgrad angestellt. Es finden sich keine Aussagen darüber, ob bei einem einzelnen Baum, dessen Benadelungsgrad langfristig gleichbleibt, die jährlichen Schwankungen ebenfalls einen solchen Einfluß haben. Auch JALKANEN & KURKELA (1990) fanden keinen Zusammenhang zwischen Benadelung (in diesem Fall bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.)) und Zuwachs und führten dies auf die geringe Stichprobengröße zurück.

Entgegen den Ergebnissen anderer Untersuchungen (GRUBER ,1990; AICHMÜLLER, 1962; WIMMER et al., 1990) zeigte sich bei keinem der Parameter Benadelung, Trieblänge und Jahrringbreite eine Abhängigkeit vom Niederschlag oder von der Temperatur. Langfristige Auswirkungen der Fluorimmissionen sind ebenfalls nicht feststellbar, obwohl KNABE (1981) eine signifikante Abhängigkeit des Benadelungsprozentes von der Fluorbelastung für Fichten in Nordrhein-Westfalen nachwies. Der einzige mögliche Hinweis auf die Auswirkung der Fluorimmissionen ist der deutliche Rückgang des Benadelungsgrades, der Trieblängen und der Jahrringbreiten in den Jahren 1947 und 1948, der in Abb. 22 erkennbar ist. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Wiederinbetriebnahme der Elektrolyse in dieser Zeit, in der die schlechte Elektrizitätsversorgung keinen kontinuierlichen Betrieb des Werkes zuließ. Verfahrensbedingt bedeutete die wiederholte Neuaufnahme der Produktion eine vermehrte Emission von Fluor. Mit der Erreichung einer ausreichenden Energieversorgung reduzierte sich auch der Schadstoffausstoß. (KISSER et al., 1974).

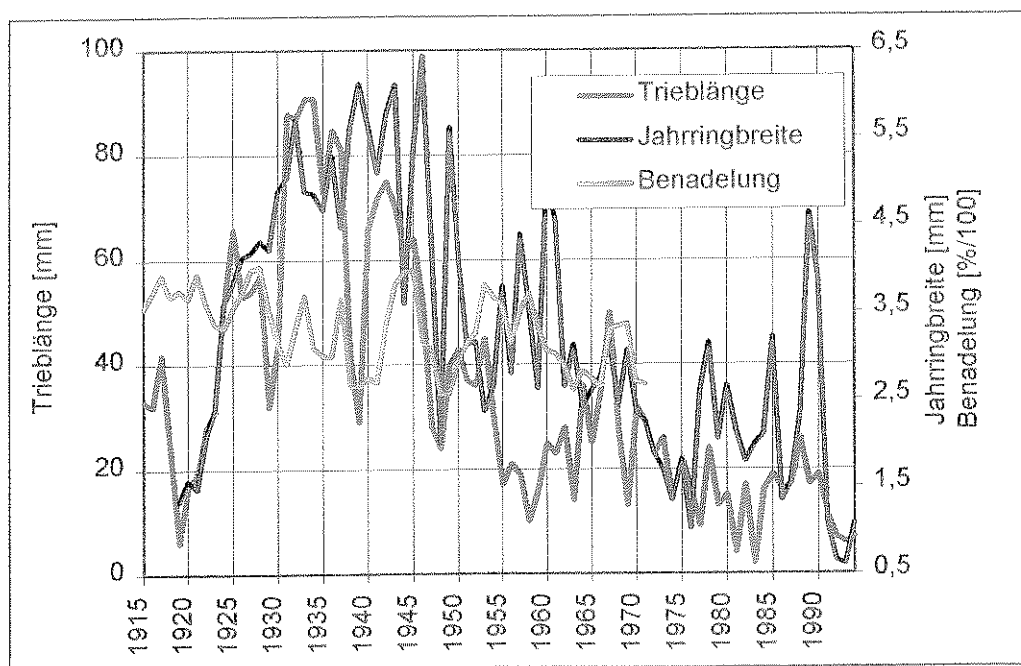


Abb. 22: Gegenüberstellung der Parameter Trieblänge, Jahrringbreite und Benadelungsgrad.

Auch wenn die Benadelung nur bis zum Jahr 1971 rekonstruiert und somit die Jahre nach Schließung des Emittenten nicht mehr erfaßt werden konnten, sind doch für 25 Jahre vor und 32 Jahre nach Inbetriebnahme des Werkes Benadelungswerte vorhanden. Der rückläufige Trend des Benadelungsprozentes ist auch schon in den ersten Untersuchungsjahren feststellbar und dürfte somit auf andere Ursachen als die Fluorbelastung zurückzuführen sein, die aber im Rahmen dieser Untersuchung nicht feststellbar waren.

Die in anderen Arbeiten im Gebiet Ranshofen bei vergleichbarer Fluorbelastung ermittelten Benadelungswerte liegen im selben Größenordnungsbereich (etwa 350 %) wie die rekonstruierten Werte (SIX, 1990; HALBWACHS et al., 1993). Die Anzahl der gefundenen Nadeljahrgänge (maximal 7) liegt in jenem Bereich, der nach den Untersuchungen, die BURGER (1927) in der Schweiz durchführte, für diese Seehöhe (385 m) zu erwarten ist:

Seehöhe	Anzahl der benadelten Jahrestriebe	
	am Schaft	am Ast
bis 300 m	4 - 5	5 - 7
300 - 600 m	5 - 6	7 - 8
600 - 900 m	6 - 7	8 - 9
900 - 1200 m	7 - 8	9 - 10
1200 - 1600 m	8 - 9	10 - 11
1600 - 2000 m	9 - 10	11 - 12

Tabelle 8: Zusammenhang zwischen Seehöhe und Anzahl der Nadeljahrgänge (nach BURGER 1927).

Die Untersuchung der aktuellen Benadelung zeigte eine deutliche Abnahme der Fluorgehalte in den jüngeren Nadeln. Der Fluorgehalt der älteren Nadeln (etwa 100 ppm) liegt deutlich über jenem Wert (etwa 30 ppm), den RUDOLPH & HALBWACHS (1983) im Zeitraum 1979/80 am Untersuchungsstandort gemessen hatten (siehe Abb. 7, Seite 13). Der Fluorgehalt in den jüngeren Nadeln kann auf die Translokation des Schadstoffes im Baum bzw. auf die Aufnahme aus dem Boden zurückgeführt werden, da ein gasförmiger Eintrag nicht mehr stattfand (KRONBERGER et al, 1978; KELLER, 1974, 1975). SIX (1990) beschreibt Unterschiede im Fluorgehalt der Nadeln eines Standortes von bis zu 165 %, sodaß die Aussagekraft von Werten nur eines Baumes, wie im vorliegenden Fall, begrenzt erscheint. Die mögliche Erklärung, daß die Längen- und Gewichtszunahme der jüngeren Nadeln auf den Wegfall der Fluor-immissionen zurückzuführen sein könnten, entspricht den Ergebnissen von SIX (1990), der

einen signifikanten Zusammenhang zwischen Nadellänge und Nadelgewicht und der Fluorbelastung fand. GRILL et al. (1988) beschrieben eine Abhängigkeit des Nadelgewichtes, nicht aber der Nadellängen vom Schädigungsgrad, während HALBWACHS et al. (1981) die Aussagekraft der Parameter 100-Nadelgewicht und Nadellänge wegen der großen morphologischen Variabilität der Fichte in Frage stellten. Auch POLLANSCHÜTZ (1985) meint, daß Schadenssymptome viele mögliche Ursachen haben können.

### Bewertung der Nadelspurmethode

Die Nadelspurmethode scheint geeignet, bei entsprechendem Stichprobenumfang, aussagekräftige Daten über die Entwicklung der Benadelung eines Bestandes zu liefern. Vor allem sind die so erhaltenen Werte von Schätzungen weitgehend frei. Im Gegensatz dazu weist POLLANSCHÜTZ (1985) darauf hin, daß die Beurteilung des Kronenzustandes nach visuellen Methoden Schätzungen eines Menschen sind und somit Fehler durch subjektive Wahrnehmung nicht auszuschalten sind. Allerdings können auch bei der Nadelspurmethode Umstände auftreten, die eine Benadelungsrekonstruktion erschweren oder unmöglich machen: fehlende Jahrestriebe, zu schmale Jahrringe, Reaktionsholz oder Äste in den Probestücken. Übersehene Nadelspuren, vor allem an den Rändern der Proben, stellen eine weitere Fehlerquelle dar. Wie sich der Ausfall nur eines einzigen Jahrestriebes auswirkt, zeigt das Beispiel des Jahrestriebes von 1919. Er konnte wie in Kapitel 2.4 erwähnt nicht ausgewertet werden, die fehlenden Werte wurden durch Mittelwerte ersetzt. Wenn nur die tatsächlich gemessenen Benadelungswerte für die Berechnung der Gesamtbenadelung verwendet worden wären, stellte sich die Benadelungskurve wie in Abb. 23 gezeigt dar. Dabei wird deutlich, daß der Ausfall mehrerer Jahrestriebe eine verlässliche Benadelungsrekonstruktion unmöglich machen würde. Die Abweichung der korrigierten (= durch Mittelwerte ergänzten) von der nicht korrigierten Kurve am Beginn des Untersuchungszeitraumes, ist auf die fehlenden Daten der Jahre vor 1914 zurückzuführen.

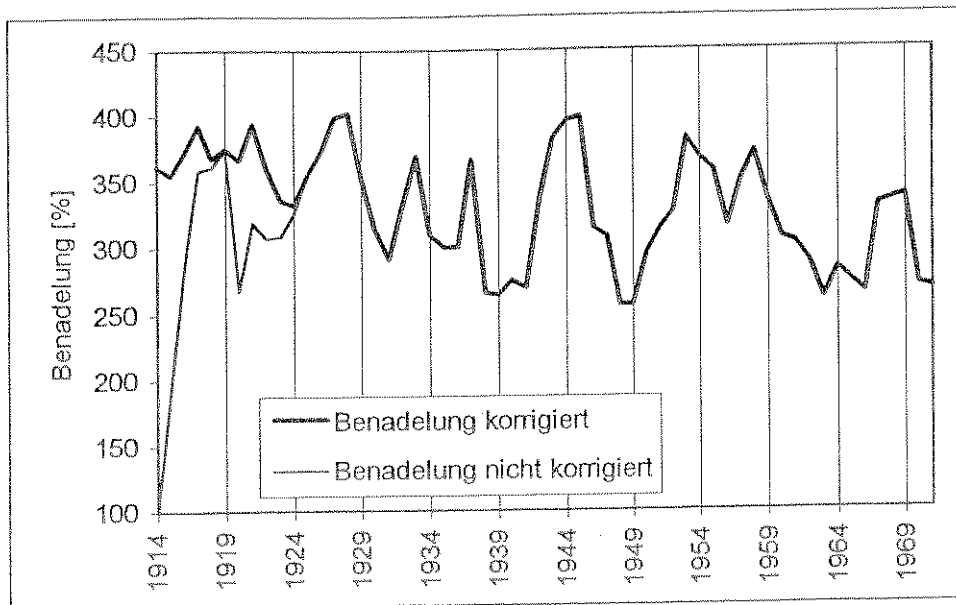


Abb. 23: Gegenüberstellung der Benadelungskurven mit und ohne Ergänzung ausgefallener Werte durch Mittelwerte.

Die Genauigkeit und die Aussagekraft der Ergebnisse der Nadelspurmethode für einen Einzelbaum und der Rückschluß auf den ganzen Bestand ist nicht nur aus oben genannten Gründen beschränkt, sondern auch wegen der großen individualspezifischen Unterschiede bei Fichten in ihren Reaktionen auf Umwelteinflüsse aller Art (KISSER et al., 1974; POLLANSCHÜTZ, 1985). Bei entsprechendem Stichprobenumfang können repräsentative Ergebnisse erwartet werden, wobei nach SCHÖN et al. (1988) die Aussagekraft des Benadelungsprozentes nur auf Vergleiche innerhalb eines Bestandes beschränkt ist. Die theoretische Grenze wird der Nadelspurmethode von den ältesten Bäumen im Bestand gesetzt. Da aber der Nachweis der Nadelspuren in den mit dem Alter schmaler werdenden Jahrringen immer schwerer wird, sind ausreichend viele Bäume aller Altersklassen notwendig, um die Benadelung bis in die Gegenwart zu rekonstruieren. Praktisch sind dem Umfang der Untersuchungen mit der Nadelspurmethode wohl eher finanzielle Grenzen gesetzt, da sie sehr material- und vor allem zeitaufwendig ist.

Die in Punkt 2.3 erwähnte Vorgangsweise, den zu untersuchenden 60°-Keil auszuschneiden, brachte die erwarteten Vorteile der Auswertbarkeit schmaler Jahrringe und des geringen Bearbeitungsaufwandes während der Sandstrahlarbeiten. Als Nachteil stellte sich heraus, daß es an den Seiten der Proben durch die wiederholten Strahlgänge zu Verlusten an Nadelspuren kommen kann. Fehler können zudem auftreten, wenn beim Ausschneiden des Keiles nicht exakt durch

das Zentrum des Markes geschnitten wird. Ferner erschwerte die Sandstrahl-anlage mangels regelbarem Strahldruck, sowie Problemen mit der Strahlgutzuführung und der Staubabsaugung ein noch exakteres Arbeiten.

## 5. Zusammenfassung

Von einer Fichte (*Picea abies* (L.), Karst.) aus dem Fluorimmissionsschadensgebiet des Aluminiumwerkes Ranshofen sollte die Benadelung für den Zeitraum vor, während und nach dem Betrieb des Werkes (1939 - 1992) rekonstruiert werden, um mögliche Auswirkungen der Fluorbelastung festzustellen. Um die Lebensgeschichte des Baumes in diesem Zeitraum zu dokumentieren, sollte außerdem die Entwicklung der Jahrringbreiten und der Trieb-längen gemessen werden.

Die Rekonstruktion der Benadelung erfolgte mit Hilfe der Nadelspurmethode. Dazu wurden in einem 60°-Sektor an der Ostseite des Stammes die Nadelspuren, die in jedem Jahrring jedes Jahrestriebes enthalten waren ausgezählt. Die Anzahl der Nadelspuren im ersten, marknächsten Jahrring wurde als 100 % angenommen und die Anzahl der Nadelspuren der folgenden Jahrringe darauf bezogen. Die Benadelung des Haupttriebes eines Jahres ergab sich dann als Summe der Benadelungsprozente des ersten Jahrringes dieses Jahrestriebes, des zweiten Jahrringes des vorhergehenden Jahrestriebes usw.

Die Benadelungsrekonstruktion konnte nur für die Jahre 1914 - 1971 durchgeführt werden, da dann die Jahrringe zu schmal für eine weitere Untersuchung wurden. Ein langfristiger Rückgang des Benadelungsprozentes infolge der Fluorimmissionen konnte nicht nachgewiesen werden. Allerdings zeigte sich in den Jahren 1947/48 ein deutlicher Rückgang des Benadelungsgrades, der Trieb-längen und der Jahrringbreiten, was auf die in dieser Zeit verstärkten Fluoremissionen des Werkes zurückgeführt werden muß.



## 6. Literaturverzeichnis

- AALTO, T. & JALKANEN, R. (1991): The vascular bundle method - Instructions Version 2. The Finnish Research Institute, Rovaniemi Research Station, Rovaniemi.
- AICHMÜLLER, R. (1962): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf Stärkenwachstum, Verzweigung und Benadelung der Fichte. Forstwissenschaftliches Centralblatt Nr. 81. S 156 - 181.
- BAUMANN, R., HOJESKY, H., RADUNSKY, K. (1989): Die Immissionsituation um das Aluminiumwerk der AMAG Ranshofen. Monographien Band 9. Umweltbundesamt Wien. 221 S.
- BURGER, H. (1927): Die Lebensdauer der Fichtennadeln. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 78. S 372 - 375.
- ECKMÜLLNER, O. (1988): Zuwachsuntersuchungen an Fichte im Zusammenhang mit neuartigen Waldschäden. Dissertation an der Universität für Bodenkultur. Wien. 129 S.
- ECKMÜLLNER, O. (1988): Neuartige Waldschäden. Benadelung und Zuwachs von Fichte. Kooperationsabkommen Forst - Platte - Papier, Wien. 24 S.
- ECKMÜLLNER, O., STERBA, H. (1987): Zuwachsverlagerungen als sensibler Indikator für künftige Zuwachsverluste. In: FÜHRER, E. (Hrsg.): Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Berichte 1987, Ergebnisse aus der Immissionsforschung. Universität für Bodenkultur. Wien. S 167 - 177.
- FUCHS, W. (1994): Beurteilung ausgewählter biometrischer Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung als Vitalitätskriterien für den Wald. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien. 109 S.
- GRILL, D., EBERMANN, R., GAILHOFER, M., HALBWACHS, G. (1988): Reaktionen des Pflanzenstoffwechsels im Syndrom der 'neuartigen' Waldschäden. In: FÜHRER, E., NEUHUBER, F. (Hrsg.): FIW - Symposium 1988 - Waldsterben in Österreich, Theorien, Tendenzen, Therapien. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung. S. 166 - 186.
- GRUBER, F. (1990): Verzweigungssystem, Benadelung und Nadelfall der Fichte (*Picea abies*). Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin.
- HALBWACHS, G., KÜHNERT, M., BELLUSOVA, M., NEMETZ, C., NOVAK, H., RUPPERT, W., WIMMER, R., ZEHETNER, H. (1993): Immissionsökologische Studie über die Belastung der Vegetation durch Fluoride in der Umgebung von Fluoremittenten. Schriftenreihe der Sektion I des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie Band 3/1993, Wien. 211 S.

- HALBWACHS, G., SCHÖN, B. (1986): Benadelungsmerkmale als Vitalitätskriterien der Fichte. In: FÜHRER, E. (Hrsg.): Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Berichte 1985, Ergebnisse aus der Immissionsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien. S. 39 - 50.
- HALBWACHS, G., STEFAN, K., KRONBERGER, W. (1981): Untersuchungen über die langfristige Einwirkung von HF-Immissionen auf Fichtenwaldbestände. In: Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien: Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigung. IUFRO, XI. internationale Arbeitstagung, 1. - 6. September 1980. Graz. S. 259 - 266.
- HYDROGRAPHISCHES ZENTRALBÜRO:  
Schriftenreihe: Beiträge zur Hydrographie Österreichs:  
Heft Nr. 23 (1951): Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1901 - 1950.  
Heft Nr. 27 (1953): Niederschläge in Österreich im Zeitraum 1901 - 1950.  
Heft 38 (1964): Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1951 - 1960.  
Heft 43 (1973): Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1961 - 1970.  
Heft 46 (1983): Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1971 - 1980.  
Heft 52 (1994): Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981 - 1990.  
Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- JALKANEN, R. (1995): Needle retention chronology along a pollution gradient. Radiocarbon (in print)
- JALKANEN, R., AALTO, T., INNES, J., KURKELA T., TOWNSEND I. (1994): Needle retention and needle loss of Scots pine in recent decades at Thefford and Alice Holt, England. Canadian Journal Of Forest Research, Nr. 23.
- JALKANEN, R., AALTO, T., KURKELA T. (1994): The use of needle trace method (NTM) in detecting retrospectively *Lophodermella* needle cast epidemic. European Journal of Forest Pathology, Nr. 24.
- JALKANEN, R., KURKELA, T. (1990): Needle retention, age, shedding and budget, and growth of Scots pine between 1865 and 1988. In: KAUPPI, P., ANTILLA, P., KENTTÄMIES, K (Hrsg.): Acidification in Finland. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 691 - 697.
- JALKANEN, R., KURKELA T. (1992): VB-method for the determination of pine defoliation in the past. In: BARTHOLIN, T. BERGLUND, B. ECKSTEIN, D. SCHWEINGRUBER, F.: Tree Rings and Environment. Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, Schweden, 3. - 9. September 1990. Lundqua Report Nr. 34. S. 153 - 157.
- KELLER, T. (1974): Translocation of Fluoride in Woody Plants. Fluoride Nr. 7/1. S. 31 - 35.

- KELLER, T. (1975): Zur Fluor-Translokation bei Waldbäumen. Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen Nr. 51/3. S. 334 - 356.
- KESTEL, P. (1961): Der Anschluß der Blattspuren an das Holz bei den Coniferen. Dissertation an der Ludwig Maximilian Universität München.
- KILIAN, W., MÜLLER, F., STARLINGER, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Nr 82. 60 S.
- KISSER, J., HALBWACHS, G., STEFAN, K. (1974): Langjährige Untersuchungen über HF-Immissionen im Bereich eines Aluminiumwerkes und die Wirksamkeit von technischen und biologischen Gegenmaßnahmen. In: Exkursionsführer IUFRO Executive Board Study Tour 1974. Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien. S. 100-113.
- KNABE, W. (1981): Beziehungen zwischen der Benadelung herrschender Fichten und den Schwefel-, Fluor-, und Chloridgehalten 1- und 2-jähriger Fichtennadeln in Nordrhein-Westfalen. In: Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien: Nachweis und Wirkung forstschädlicher Luftverunreinigungen. S. 267 - 278.
- KNABE, W. (1983): Immissionsökologische Waldzustandserfassung in Nordrhein-Westfalen (IWE 1979). Fichten und Flechten als Zeiger der Waldgefährdung durch Luftverunreinigungen. Landesausschuß f. landwirtschaftliche Forschung, Erziehung und Wirtschaftsberatung beim Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nordrhein-Westfalen, Forschung und Beratung, Reihe C, Heft 37, Münster.
- KÖHLER, H., STRATMANN, J. (1986): Wachstum und Benadelung von Fichten im Westharz. Der Forst- und Holzwirt, Nr. 41/6. S. 152 - 157.
- KRONBERGER, W., HALBWACHS, G., RICHTER, H. (1978): Fluortranslokation in *Picea abies* (L.) Karsten. Angewandte Botanik Nr. 52. S. 149 - 154.
- KURKELA, T. & JALKANEN, R. (1990): Revealing past needle retention in *Pinus* spp. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 5. S. 481 - 485.
- LEVAGGI, D. A., OYUNG, W., FELDSTEIN, M. (1971): Microdetermination of Fluoride in Vegetation by Oxygen Bomb Combustion and Fluoride Ion Electrode Analysis. Journal of Air Pollution Control Association Nr. 21, 277 - 279.
- MAHRER, F., HÄGI, K., STIERLIN, H. (1988): Ergebnisse der Waldschadensinventur 1987. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 139/1. S. 1 - 22.
- MAYER, H. (1974): Wälder des Ostalpenraums. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

- MITTERBÖCK, F. (1985): Untersuchungen über die Auswirkungen der HF-Emissionen des Aluminiumwerkes Ranshofen auf die Forstinsektenfauna am Beispiel der Nonne (*Lymantria monacha* L.). Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien. 76 S
- NEUMANN, M. (1986): Diagnoseprofile: Erfassung der Waldzustandsveränderungen und begleitende Untersuchungen. In: FÜHRER, E. (Hrsg.): Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Bericht 1985, Ergebnisse der Immissionsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien. S. 51 - 60.
- OFNER, H. (1987): Zuwachsreaktionen der Fichte im Zusammenhang mit neuartigen Waldschäden im Raum Sandl, Oberösterreich. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- POLLANSCHÜTZ, J. (1985): Waldzustandsinventur: Prinzipielle Fragen der Methodik und Ergebnisse. In: FÜHRER, E. (Hrsg.): Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Bericht 1985, Ergebnisse der Immissionsforschung. Universität für Bodenkultur, Wien. S. 18 - 30.
- RUDOLPH, E., HALBWACHS, G. (1983): Das Bioindikatornetz "Inn-Salzach-Gebiet" - ein grenzüberschreitendes Meßnetz. European Journal of Forest Pathology Nr. 13. S. 334-343.
- SANDER, C., ECKSTEIN, D. (1994): Reconstruction of the Foliation of *Picea abies* by Means of Needle Traces. Scandinavian Journal of Forest Research, Nr. 9. S. 311 - 315.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1986): Die Fichte, ein Handbuch in 2 Bänden. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- SCHÖN, B., WIMMER, R., WUGGENIG, W., HALBWACHS, G. (1988): Nadel- und triebbiometrische Untersuchungen an Fichten aus österreichischen Waldschadensgebieten. In: FÜHRER, E., NEUHUBER, F. (Hrsg.): FIW - Symposium 1988 - Waldsterben in Österreich, Theorien, Tendenzen, Therapien. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung. S. 297 - 298.
- SCHULZ, H. (1985): Beobachtungen an Fichtenwipfeln - Ein neuartiger Baumschaden? Allgemeine Forstzeitschrift Nr. 36/2.
- SCHWEINGRUBER, F. (1989): Läßt sich fehlendes Datenmaterial zur Waldschadenssituation anhand von Postkarten ergänzen? In: Allgemeine Forstzeitschrift Nr. 11/1989. S. 266 - 268.
- SCHWEINGRUBER, F. (1989): Tree ring: Basics and applications of dendrochronology. Verlag Kluwer, Dordrecht [u. a.].
- SIX, G. (1990): Vergleichende Untersuchung über die Fluorakkumulation in Fichtennadeln unter denselben Standorts- und Immissionsverhältnissen. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien. 86 S.
- WALTER, H., LIETH, H. (1967): Klimadiagramm-Weltatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.

WENZEL, W. (1990): Bodenbelastung durch Fluor und Schwermetalle im Immissionsbereich der Aluminiumhütte Ranshofen und ihre Auswirkungen auf Bodenzustand und Bodenfunktion. Dissertationsarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

WIMMER, R. (1991): Beziehungen zwischen Holzstruktur und Holzeigenschaften bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Nahbereich eines Fluoremittenten. Dissertationsarbeit an der Universität für Bodenkultur. Verband der wissenschaftlichen Gesellschaften Österreichs, Wien. 227 S.

WIMMER, R., GRABNER, M., WESTERHOF, J. (1995): Ergebnisse der Jahringanalyse und dendroklimatologische Bewertung. In: HALBWACHS, G. (Hrsg.): Die Entwicklung des Immissionsschadensgebietes Ranshofen nach Schließung des Fluoremittenten und Prüfung der Umweltverträglichkeit möglicher Sanierungsmaßnahmen. Endbericht zu einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie. S. 105 - 119.

## 7. Anhang

	1. Jahring		2. Jahring		3. Jahring		4. Jahring		5. Jahring		6. Jahring		7. Jahring		Ben. ges.	
	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	Nsp.	%	korr.	n.k.
1914	13	100	12	92,3	11	84,6	10	76,9	3	23,1	0	0	0	0	362	100
1915	64	100	64	100	52	81,3	38	59,4	19	29,7	0	0	0	0	355	192
1916	47	100	47	100	37	78,7	35	74,5	16	34,0	2	4,3	0	0	372	285
1917	107	100	107	100	76	71,0	51	47,7	42	39,3	11	10,3	3	2,8	393	358
1918	49	100	49	100	42	85,7	37	75,5	18	36,7	6	12,2	0	0	368	361
1919	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	376	375
1920	35	100	35	100	21	60,0	5	14,3	0	0	0	0	0	0	367	267
1921	24	100	24	100	19	79,2	10	41,7	4	16,7	0	0	0	0	394	319
1922	31	100	31	100	26	83,9	21	67,7	10	32,3	1	3,2	0	0	360	307
1923	40	100	40	100	28	70,0	18	45,0	14	35,0	5	12,5	0	0	336	309
1924	77	100	77	100	74	96,1	62	80,5	58	75,3	23	29,9	0	0	332	326
1925	157	100	157	100	126	80,3	115	73,2	63	40,1	5	3,2	0	0	355	355
1926	80	100	80	100	37	46,3	16	20,0	6	7,5	3	3,8	0	0	373	373
1927	84	100	80	95,2	53	63,1	29	34,5	2	2,4	0	0	0	0	399	399
1928	42	100	42	100	29	69,0	7	16,7	0	0	0	0	0	0	403	403
1929	50	100	50	100	39	78,0	32	64,0	22	44,0	10	20,0	1	2,0	353	353
1930	62	100	56	90,3	42	67,7	34	54,8	11	17,7	0	0	0	0	314	314
1931	159	100	159	100	112	70,4	58	36,5	10	6,3	0	0	0	0	291	291
1932	127	100	127	100	45	35,4	17	13,4	4	3,1	0	0	0	0	332	332
1933	161	100	161	100	127	78,9	107	66,5	72	44,7	4	2,5	0	0	369	369
1934	203	100	203	100	163	80,3	160	78,8	33	16,3	7	3,4	0	0	310	310
1935	110	100	55	50,0	47	42,7	30	27,3	0	0	0	0	0	0	301	301
1936	145	100	145	100	35	24,1	15	10,3	4	2,8	0	0	0	0	300	300
1937	137	100	131	95,6	69	50,4	43	31,4	14	10,2	0	0	0	0	366	366
1938	46	100	46	100	23	50,0	13	28,3	8	17,4	0	0	0	0	266	266
1939	32	100	29	90,6	10	31,3	9	28,1	5	15,6	0	0	0	0	264	264
1940	115	100	115	100	105	91,3	88	76,5	39	33,9	12	10,4	0	0	275	275
1941	145	100	145	100	138	95,2	108	74,5	26	17,9	0	0	0	0	270	270
1942	156	100	149	95,5	137	87,8	118	75,6	7	4,5	0	0	0	0	337	337
1943	166	100	166	100	158	95,2	67	40,4	0	0	0	0	0	0	383	383
1944	130	100	130	100	90	69,2	69	53,1	9	6,9	0	0	0	0	396	396
1945	133	100	133	100	73	54,9	17	12,8	3	2,3	0	0	0	0	399	399
1946	122	100	122	100	80	65,6	25	20,5	7	5,7	0	0	0	0	314	314
1947	38	100	27	71,1	13	34,2	10	26,3	5	13,2	0	0	0	0	308	308
1948	58	100	58	100	37	63,8	20	34,5	10	17,2	2	3,4	0	0	256	256
1949	60	100	60	100	46	76,7	23	38,3	22	36,7	0	0	0	0	257	257
1950	87	100	78	89,7	62	71,3	57	65,5	47	54,0	11	12,6	2	2,3	296	296
1951	77	100	77	100	59	76,6	51	66,2	19	24,7	0	0	0	0	314	314
1952	85	100	85	100	74	87,1	60	70,6	27	31,8	2	2,4	0	0	327	327
1953	108	100	65	60,2	54	50,0	40	37,0	25	23,1	0	0	0	0	382	382
1954	104	100	104	100	67	64,4	62	59,6	61	58,7	0	0	0	0	368	368
1955	46	100	37	80,4	30	65,2	20	43,5	3	6,5	0	0	0	0	358	358
1956	40	100	40	100	28	70,0	25	62,5	13	32,5	0	0	0	0	316	316
1957	47	100	47	100	31	66,0	16	34,0	10	21,3	0	0	0	0	350	350
1958	25	100	25	100	10	40,0	8	32,0	0	0	0	0	0	0	372	372
1959	37	100	37	100	29	78,4	23	62,2	8	21,6	0	0	0	0	335	335
1960	41	100	29	70,7	15	36,6	4	9,8	0	0	0	0	0	0	307	307
1961	58	100	52	89,7	17	29,3	12	20,7	0	0	0	0	0	0	302	302
1962	75	100	75	100	47	62,7	33	44,0	11	14,7	0	0	0	0	288	288
1963	20	100	20	100	6	30,0	0	0	0	0	0	0	0	0	261	261
1964	78	100	78	100	39	50,0	34	43,6	12	15,4	0	0	0	0	283	283
1965	47	100	47	100	41	87,2	23	48,9	10	21,3	0	0	0	0	274	274
1966	66	100	66	100	46	69,7	17	25,8	5	7,6	0	0	0	0	265	265
1967	125	100	125	100	113	90,4	57	45,6	0	0	0	0	0	0	331	331
1968	103	100	103	100	69	67,0	51	49,5	13	12,6	0	0	0	0	334	334
1969	44	100	22	50,0	8	18,2	0	0	0	0	0	0	0	0	337	337
1970	101	100	101	100	73	72,3	46	45,5	3	3,0	0	0	0	0	270	270
1971	77	100	77	100	72	93,5	61	79,2	13	16,9	0	0	0	0	268	268

Tabelle 9: Ergebnisse der Nadelspurenzählung.

Nsp. = Anzahl der Nadelspuren

% = Benadelungsprozent, bezogen auf die Anzahl der Nadelspuren im ersten Jahring

Ben. ges. = Benadelung des Jahrestriebes insgesamt [%] (korr. = korrigiert, n.k. = nicht korrigiert)

Stammscheibe Nr.																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1915	3,27																			
1916	2,91	4,47																		
1917	3,17	2,88																		
1918	2,74	1,92	1,96																	
1919	1,60	1,58	1,72	1,34																
1920	1,40	1,64	1,88	1,58	1,80															
1921	1,80	1,56	1,86	1,48	1,83															
1922	2,05	1,70	2,33	2,06	2,62	2,47														
1923	2,32	1,95	2,52	2,39	2,57	3,22														
1924	3,25	3,31	3,74	3,60	3,87	4,43	4,04	4,38												
1925	3,45	3,29	3,63	3,84	3,88	4,25	4,07	4,63												
1926	4,02	3,56	4,18	4,13	4,31	4,34	3,64	3,97	3,59	3,34										
1927	4,30	4,30	3,96	4,19	4,44	5,14	4,95	5,12	4,79	4,35	2,83									
1928	4,31	4,59	4,11	4,32	4,29	4,39	5,01	5,09	5,11	4,54	4,17	3,06								
1929	4,33	4,36	4,31	4,22	4,22	4,00	4,79	5,06	5,52	5,33	4,73	3,66	3,05							
1930	5,02	4,79	4,84	4,90	4,80	4,80	5,64	5,21	5,22	4,94	5,66	5,43	6,57	4,44						
1931	6,14	5,42	4,84	5,05	5,42	5,60	5,94	5,76	6,84	6,55	6,59	6,52	5,77	7,61	6,51	6,02				
1932	5,52	5,57	5,67	5,71	5,87	5,80	6,08	6,31	6,57	6,72	7,47	7,09	5,97	8,14	7,24	6,83	6,65			
1933	4,88	4,76	4,98	4,89	5,11	5,22	5,41	5,19	5,72	5,85	5,92	6,17	5,56	7,36	6,78	7,66	7,25	5,38		
1934	4,93	5,07	5,07	4,87	4,76	5,01	5,16	4,96	5,61	5,65	5,78	6,24	5,8	7,11	6,22	7,14	8,37	7,8	7,87	7,01
1935	6,23	6,71	6,19	4,67	4,67	3,92	4,58	4,3	4,77	5,13	5,87	5,48	5,75	7,87	6,37	6,28	6,17	5,82	5,81	5,94
1936	7,52	6,25	5	5,3	4,76	4,86	4,75	4,71	5,45	5,91	5,69	6,85	6,56	9,42	7,11	7,58	7,24	6,64	6,54	5,95
1937	5,6	5,12	4,17	4,48	3,74	4,12	4,29	4,12	4,84	5,19	4,96	5,72	5,98	7,31	5,58	6,44	5,56	5,86	5,93	5,44
1938	5,87	6,12	6,18	5,62	6,01	4,67	4,84	4,18	4,84	5,13	4,67	4,74	4,86	8,21	5,64	6,58	6,39	5,63	6,17	5,54
1939	5,6	6,57	6,71	6,13	5,37	4,81	4,81	4,69	4,79	4,94	4,87	5,3	5,22	6,46	5,14	6,09	5,61	5,77	5,75	5,45
1940	7,36	7,02	5,84	5,65	4,22	4,52	4,12	3,88	3,97	3,85	4,03	4,16	3,91	4,66	3,87	4,97	5,43	5,44	6,21	4,53
1941	8,7	6,96	5,81	5,1	5,11	4,41	4,62	3,87	4,25	4,06	4,39	4,44	4,95	4,79	4,12	4,74	5,48	5,68	5,63	4,9
1942	7,15	6,19	6,58	5,78	6,4	5,65	5,98	5,98	4,91	4,3	4,77	4,14	4,12	4,58	4,84	4,93	5,75	5,55	5,77	5,64
1943	5,42	5,28	5,35	6,11	5,61	5,39	5,48	5,32	4,68	4,72	4,71	4,3	4,3	3,91	4,31	4,47	4,82	4,88	4,84	4,61
1944	4,29	3,47	3,2	3,6	3,49	3,39	3,79	3,4	3,59	3,73	3,67	3,25	3,12	3,22	3,31	3,56	3,48	3,89	4,54	4,06
1945	5,04	5,41	4,73	5,37	5,51	5,29	4,19	4,05	4,61	5,05	3,62	3,5	3,04	3,14	3,11	3,45	3,48	3,73	3,62	4,03
1946	8,49	9,09	8,17	6,44	5,46	5,26	3,98	3,79	3,17	3,11	2,91	3,06	2,59	2,32	2,75	2,87	3,08	2,86	3,19	3,37
1947	6,29	4,17	4,26	4,25	4,75	2,57	3,04	2,92	2,58	2,6	2,52	2,65	2,64	2,72	2,62	2,68	3,33	3,12	2,9	3,22
1948	2	1,58	1,52	2	1,94	1,99	2,86	2,97	2,49	2,71	2,1	2,12	2,09	1,88	2,07	2,1	2,09	2,18	1,85	2,06
1949	4,33	4,52	4,5	5,63	6,08	5,43	5,38	6,14	4,5	4,11	3,74	3,1	3,05	3,07	3	3,27	3,45	3,07	3,36	2,9
1950	7,61	5,87	4,17	4,11	3,66	4,19	3,78	3,62	3,91	3,32	3,25	2,97	2,94	2,92	2,62	2,51	2,72	2,68	2,5	2,4
1951	4,26	4,13	3,52	3,13	2,98	3,87	3,37	3,8	3,94	3,65	3,4	3,62	3,95	3,63	3,69	3,35	3,44	3,44	3,59	3,28
1952	2,85	2,77	3,15	3,17	3,45	3,59	3,5	3,3	3,77	3,39	3,12	3,25	3,26	3,38	3,07	2,91	3,23	2,86	3,72	3,14
1953	2,73	2,46	2,34	2,37	2,39	2,49	2,36	2,21	2,43	2,71	2,77	2,42	2,76	2,7	2,78	2,45	3,11	3,02	3,15	3,24
1954	2,56	2,66	2,64	2,66	2,54	2,94	2,89	3,92	2,41	2,73	2,64	2,49	2,6	2,34	2,34	2,17	2,61	2,43	2,83	2,72
1955	3,96	3,68	4,64	3,81	3,65	4,51	3,93	3,94	3,32	3,94	2,61	3,36	3,08	2,97	3,32	2,59	2,63	2,92	2,61	3,55
1956	2,99	2,62	2,64	2,8	3,29	4,01	3,01	3,11	3,34	2,92	2,96	2,83	2,96	3,4	2,96	2,96	3,02	2,74	3,05	3,07
1957	4,37	4,92	4,54	4,4	4,41	4,72	4,13	3,47	3,66	3,67	3,34	2,96	3,2	2,99	3,03	2,96	3,17	2,84	3,55	3,34
1958	4,32	3,79	3,75	3,57	3,73	4,35	3,35	3,61	3,49	2,88	2,48	2,79	2,79	2,31	2,83	2,68	2,94	2,82	3,5	2,72
1959	4,41	2,92	2,84	2,62	2,77	3,09	2,65	2,52	2,79	2,46	2	2,31	1,92	2,05	2,43	2,27	2,59	2,49	2,58	2,86
1960	6,19	5,74	5,19	5,05	5,03	3,91	3,47	3,13	3,17	3,12	2,36	2,77	2,43	2,64	2,6	2,58	2,44	2,84	2,47	3,07
1961	6,2	5,73	5,08	4,54	4,1	4,38	3,86	3,98	3,37	2,91	3,33	3,57	2,97	3,29	3,05	2,88	2,86	2,76	2,9	3,27
1962	3,79	3,1	2,74	2,65	2,4	2,54	2,23	2,06	2,14	2,26	1,7	1,78	1,55	1,9	1,85	1,97	1,91	1,78	1,83	2,15
1963	5,05	3,78	3,24	3,13	3,1	2,81	2,66	2,95	2,97	2,86	2,24	2,26	1,96	2,1	2,12	2,12	2,19	2,1	2,29	2,12
1964	4,14	3,13	3	2,42	2,24	2,4	2,58	2,45	2,23	2,29	2	1,91	1,8	1,97	2,02	1,81	2,06	2,33	2,29	2,05
1965	3,74	3,23	2,88	2,61	2,75	2,63	2,13	2,52	2,5	2,17	2,21	2,44	2,21	2,26	2,35	1,99	2,25	2,05	2,21	2,16
1966	3,35	3,17	3,02	2,77	2,65	2,91	2,55	2,71	2,6	2,44	2,23	2,44	3,17	2,39	2,52	2,39	2,31	2,29	2,4	2,67
1967	3,73	3,63	3,33	3,18	2,99	2,89	2,57	3,04	2,68	2,59	2,63	2,62	2,73	2,42	2,51	2,63	2,67	2,64	2,51	2,27
1968	4,21	3,13	2,8	2,45	2,6	2,3	2,22	2,27	2,1	2,02	2,07	1,96	1,85	2,03	1,61	1,74	1,85	1,47	1,8	1,58
1969	4,22	3,33	3,05	3,07	2,93	2,68	2,47	2,36	2,11	2,18	2,15	2,16	1,99	2,32	2,37	2,25	2,37	2,14	2,13	1,81
1970	3,17	2,93	2,48	2,36	2,27	2,48	1,97	1,81	1,65	1,62	1,57	1,65	1,46	1,91	1,59	1,64	1,63	1,56	1,66	1,5
1971	3	2,65	2,11	2,25	2,08	2,21	1,74	1,65	1,53	1,28	1,48	1,46	1,29	1,56	1,53	1,46	1,45	1,37	1,48	1,43
1972	2,82	2,57	1,98	1,88	1,71	2,04	1,52	1,45	1,54	1,44	1,46	1,26	1,36	1,26	1,3	1,34	1,31	1,27	1,34	1,12
1973	2,56	1,94	1,89	1,7	1,75	1,87	1,99	1,68	1,81	1,99	2,05	1,98	1,95	1,84	2,01	1,98	1,68	1,59	1,49	1,54
1974	1,78	1,7	1,42	1,34	1,57	1,58	1,66	1,27	1,34	1,64	1,24	1,35	1,18	1,39	1,73	1,46	1,53	2,12	1,5	1,56
1975	2,62	2,2	2,09	1,81	1,8	1,46	1,81	1,68	1,49	1,55	1,18	1,25	1,05	1,07	1,41	1,26	1,23	1,56	1,47	1,14
1976	1,36	1,25	1,19	1,02	1,05	1,02	0,91	1,31	0,89	1,11	0,74	0,72	0,81	0,72	0,76	0,71	0,78	0,63	0,63	0,82
1977	3,9	3,06	2,73	2,6	2,41	2,34	2,22	2,6	2,55	1,95	1,78	1,47	1,44	1,44	1,14	1,36	1,19	1,14	1,23	1,24
1978	4,01	3,57	3,18	3,15	3,02	3,06	2,84	2,55	2,98	2,37	2,37	1,97	1,91	1,84	1,78	1,61	1,47	1,4	1,51	1,49
1979	2,58	2,14	2,23	2,05	1,86	1,69	1,81	1,94	1,95	1,75	1,75	1,65	1,4	1,35	1,35	1,42	1,23	1,48	1,51	1,41
1980	2,74	2,26	2,49	2,66	2,42	2,41	2,2	1,87	1,84	2,47	1,8	1,64	1,53	1,43	1,76	1,96	1,73	1,56	1,4	1,51
1981	2,9	1,82	2,15	2,14	1,8	1,89	1,76	1,68	1,35	1,86	1,47	1,41	1,3	1	1,4	1,47	1,55	1,67	1,33	1,78
1982	2,98	1,63	1,79	1,79	1,97	1,74	1,57	1,58	1,61	1,69	1,4	1,39	1,45	1,55	1,52	1,68	1,63	1,67	1,42	1,62
1983	3,65	2,34	2,14	1,99	1,88	1,85	1,91	1,48	1,36	1,41	1,61	1,75	1,57	1,76	1,88	1,58	1,59</			

Stammscheibe Nr.																				
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1935	5,65	6,04																		
1936	6,87	5,83	5,11																	
1937	5,81	6,3	6,25	6,14	5,64	5,04														
1938	6,04	5,66	5,61	5,39	4,91	4,71	3,87	3,96												
1939	5,9	5,81	5,41	5,46	5,67	5,43	5,21	4,64	4,03											
1940	4,64	4,65	3,94	3,61	4,07	3,76	4,13	4,29	3,31											
1941	4,55	4,42	3,9	3,33	3,63	3,48	3,83	5,01	4,5	4,41										
1942	6,42	5,43	5,04	5,18	5,54	4,48	4,7	5,65	5,97	6,2	6,24									
1943	4,98	5,04	4,99	4,77	4,82	5,23	4,82	4,82	4,36	5,68	3,99	4,5								
1944	4,52	4,58	4,57	5,07	5,24	5,03	5,66	5,38	4,54	5,43	5,69	4,78								
1945	4,09	4,24	4,75	4,59	5,1	4,56	4,57	5,02	4,39	4,93	4,81	3,81	4,42							
1946	3,75	4,4	4,55	4,4	4,44	4,49	4,96	6,51	6,02	5,07	4,98	4,16	4,99	2,72						
1947	3,72	3,86	3,7	3,54	3,63	4,36	4,19	4,3	3,85	4,19	4	3,31	3,67	3,33	3,13	2,63				
1948	2,46	2,37	2,15	1,87	2,18	2,07	2,24	1,99	2,3	2,57	2,08	2,25	2,06	2,93	2,25	1,77	3,11			
1949	3,18	3,5	3	2,83	2,81	2,94	3,14	3,66	3,6	4,54	3,64	3,48	2,53	2,81	3,4	3,1	2,94			
1950	2,62	2,95	2,49	2,97	2,62	2,79	3,11	2,93	3,21	3,68	3,74	4,04	2,82	2,09	3,12	3,56	2,86	2,79		
1951	3,5	4,49	4,02	3,79	4,03	4,52	4,28	4,39	4,2	5,01	4,65	4,87	4,23	3,91	3,55	3,76	3,67	3,79	3,23	3,03
1952	3,63	3,74	3,49	3,4	3,65	3,18	3,14	3,1	3,05	3,22	2,73	3,63	3,59	3,42	2,59	2,39	2,48	3,01	3,8	3,04
1953	3,22	3,66	3,66	4,34	3,94	3,84	3,9	3,65	4,1	4,25	3,64	3,82	3,84	3,69	3,61	3,88	3,42	3,19	3,64	3,98
1954	3,26	3,47	2,95	2,86	2,93	2,84	2,86	3,07	3,14	2,63	2,74	2,99	3,47	3,34	3,67	3,43	2,93	3,13	2,21	2,5
1955	3,43	4,07	3,56	3,88	4,01	3,55	3,79	3,26	3,92	3,36	3,67	3,45	3,15	2,76	3,11	3,11	2,47	3,45	2,2	2,1
1956	3,62	3,54	3	4,16	3,11	3,6	2,63	3,04	2,53	2,47	2,16	3,17	2,78	2,26	3,08	3,1	3,44	3,78	3,38	3,1
1957	4,08	4,13	3,56	4,29	4,2	3,48	3,85	3,59	2,91	3,28	3,13	2,75	2,96	2,49	2,45	2,36	2,56	2,62	2,57	3
1958	3,21	3,2	3,25	3,3	3,39	2,82	3,16	3,46	3,62	4,08	3,11	2,94	3,09	2,6	2,32	2,31	1,99	2,21	2,24	2,69
1959	2,57	2,63	3,37	3,38	3,02	3,39	3,06	3,24	3,6	3,6	2,99	2,73	2,63	2,57	2,36	2,36	2,01	2,35	2,2	2,34
1960	2,79	3,08	3,74	3,27	3,16	3,08	3,08	3,27	3,25	3,47	3,45	2,78	2,89	3,22	3,15	3,14	2,86	2,69	3,54	3,19
1961	3,28	3,64	3,52	3,9	3,98	3,51	3,91	4,38	4,39	4,53	3,99	3,67	4,23	3,92	3,97	3,67	3,37	3,16	3,5	3,58
1962	2,05	2,26	2,44	2,72	2,22	2,03	2,31	2,7	2,32	2,55	2,71	2,85	3,29	3,03	3,26	2,57	2,28	2,59	2,24	2,23
1963	2,56	2,81	2,84	3,36	3,39	3,13	3,47	3,69	3,96	4,36	4	3,61	3,34	3,2	3,15	3,35	3,12	3,27	3,05	3,02
1964	1,9	2,16	2,29	2,46	2,62	2,38	2,65	2,79	2,88	2,82	2,63	2,75	2,52	2,68	4,06	3,17	3,06	3,09	3,33	3,14
1965	2,34	2,84	2,44	2,61	2,57	2,75	2,7	3,15	2,85	3,23	3,08	2,94	3,1	3,86	4,96	3,59	3,32	3,6	3,39	3,33
1966	2,53	2,91	2,52	2,85	3,1	2,94	2,7	2,95	2,41	2,43	2,31	2,14	2,05	2,23	2,31	2,35	2,03	2,51	2,39	2,21
1967	2,68	2,91	3,38	2,91	2,98	2,61	2,6	2,84	2,67	2,76	2,38	2,53	2,57	3,81	2,71	3,73	3,52	2,96	3,24	3
1968	1,73	1,91	1,94	1,93	2,01	1,85	1,83	1,7	1,92	1,95	1,75	1,63	1,93	2,39	2,25	2,32	2,03	2,07	1,83	2,09
1969	2,16	2,24	2,4	2,49	2,39	2,26	2,28	2,38	2,41	2,47	3,09	2,3	3,47	3,67	3,74	4	3,64	3,69	3,36	4,65
1970	1,83	1,55	1,51	1,78	1,79	1,51	1,53	1,78	1,84	1,9	2,21	2,11	2,11	2,02	2,09	2,36	2,21	1,96	2,23	2,84
1971	1,45	1,4	1,33	1,4	1,45	1,37	1,46	1,61	1,71	1,97	1,89	1,89	2,19	2,01	1,9	2,21	2,43	1,84	2,01	2,37
1972	1,25	1,32	1,21	1,28	1,49	1,31	1,16	1,49	1,46	1,61	1,67	1,67	2,26	1,79	2,1	1,96	2,14	1,54	2,05	2,38
1973	1,71	1,58	1,59	1,7	1,78	1,56	1,67	1,82	1,98	1,95	2,18	2,07	2,58	2,61	2,91	3,22	2,99	2,46	2,85	3,69
1974	1,46	1,98	1,78	1,41	1,51	1,55	1,57	1,58	2,05	1,53	1,48	1,25	1,45	1,61	1,63	1,71	1,86	1,4	1,69	1,62
1975	1,5	1,54	1,35	1,17	1,42	1,47	1,34	1,64	1,26	1,5	1,72	2,04	2,05	2,09	1,86	2,57	2,49	1,84	2,04	2,27
1976	0,72	0,68	0,78	1,47	0,94	0,92	0,76	0,89	0,6	0,98	0,94	1,13	0,87	0,9	1,19	1,54	1,17	0,92	1,17	1,17
1977	1,06	1,27	1,3	1,73	1,57	1,5	1,67	1,73	1,35	1,8	2,22	2,04	1,72	1,95	1,93	3,33	2,19	1,82	1,77	2,14
1978	1,58	1,8	1,7	1,69	1,62	1,74	1,83	1,7	1,58	1,99	2,17	1,92	2,02	2,03	1,91	2	2,04	2,08	2,07	2,02
1979	1,59	1,47	1,62	1,67	1,62	1,88	1,72	1,83	1,85	1,76	2,24	1,77	1,89	2,05	1,8	2,17	2,36	2,78	2,46	2,22
1980	1,55	1,96	2,1	1,96	1,9	1,54	2,02	2,27	2,15	2,02	1,82	1,68	2,01	1,71	1,48	1,64	1,57	1,86	1,71	1,68
1981	1,52	1,85	1,83	1,81	2,13	1,84	2,04	2,46	2,4	2,42	2,04	1,73	1,9	1,88	1,66	1,82	1,62	1,59	1,77	1,82
1982	1,82	2	1,92	2,11	2,07	1,88	1,83	1,93	1,82	2	2,35	1,44	1,87	1,77	1,74	1,45	1,66	1,37	1,54	1,48
1983	1,93	2,48	1,93	1,87	1,72	2,11	1,63	1,72	2,14	1,56	1,8	1,3	1,31	1,47	1,41	1,25	1,39	1,19	1,37	1,36
1984	1,85	1,93	1,45	2,65	1,73	2,01	1,68	1,72	1,53	1,51	2,1	2,13	1,18	1,47	1,74	1,28	1,24	0,82	1,19	1,17
1985	3,01	3,13	3,69	2,29	3,07	3,17	3,8	3,39	3,16	4	2,85	3,1	3,09	3,82	2,55	2,9	2,56	2,01	3,1	2,27
1986	1,81	1,73	1,75	1,62	1,78	1,81	1,91	1,82	1,49	1,73	1,84	1,59	1,57	1,4	1,82	1,51	1,5	1,46	1,63	1,49
1987	1,58	1,48	1,47	1,85	1,5	1,54	1,51	1,77	1,57	1,39	1,47	1,37	1,64	1,32	1,79	1,25	1,27	1,34	1,29	1,38
1988	1,93	2,05	2,09	2,22	1,92	2,32	2,22	1,91	2,09	1,91	1,93	1,69	1,9	2,16	2,28	1,87	1,92	2,27	2,42	2,34
1989	2,15	2,73	2,47	3,34	2,26	2,72	2,43	1,91	2,71	2,14	1,73	1,89	1,82	1,98	2,2	1,87	1,93	2,39	2,28	2,09
1990	3,47	4,18	3,44	2,29	3,7	3,56	3,32	3,11	3,73	4,03	3,26	3,56	3,11	3,98	3,06	3,68	3,6	3,06	3,59	3,9
1991	1,41	1,22	1,39	0,96	1,35	1,05	1,18	1,15	1,06	1,27	1,27	1,32	1,31	1,07	1,36	1,25	1,2	1,37	1,22	1,2
1992	0,98	0,75	0,8	0,79	0,88	0,58	0,71	1,08	0,75	0,88	1,1	1,24	1,19	0,79	1,13	1,06	1,27	1,65	1,37	1,17
1993	0,82	0,76	0,85	1,11	0,86	0,6	0,84	1,12	0,63	0,9	1,1	1,46	1,08	0,94	1,13	1,1	1,08	1,23	1,41	1,27
1994	1,72	2,46	3,49	2,51	1,75	3,08	2,32	2,51	3,31	2,56	2,17	2,27	2,02	2,35	2,16	2,37	1,75	1,8	2,44	2,04

Tabelle 10 (Fortsetzung): Mittlere Jahringbreiten der einzelnen Stammscheiben [mm].



	Stammescheibe Nr.																		
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
1952	3,24																		
1953	4,23	2,85																	
1954	3,14	2,42	1,86																
1955	2,42	2,53	2,29																
1956	3,07	3,29	3,24																
1957	2,37	2,37	1,88	1,82															
1958	2,44	3,05	2,71	2,1															
1959	2,51	2,6	2,4	1,85	2,04														
1960	3,21	3,59	3,33	3,3	4,59														
1961	3,65	4	4,2	3,81	4,85	4,49													
1962	2,31	2,3	2,36	2,45	2,2	2,59													
1963	3,01	3,25	3,93	3,78	3,67	3,3													
1964	3,07	3,04	3,61	3,39	3,57	2,77	3,98												
1965	3,22	3,42	3,46	3,28	3,28	2,15	3,34												
1966	2,63	2,86	2,43	2,66	3,35	2,47	3,77	4,88											
1967	2,89	3,43	2,87	2,97	3,65	2,99	2,85	2,78	3,85										
1968	2,09	2,17	2,64	2,89	3,02	2,42	2,6	2,21	2,6										
1969	4,2	2,93	3,49	3,64	4,33	3,84	4,6	3,5	3,73	3,71									
1970	2,7	2,11	2,14	2,49	2,57	3,06	3,16	2,62	2,87	3,28									
1971	2,46	2,08	2,4	2,26	2,17	2,09	3,11	2,28	2,54	2,66	3,46								
1972	2,07	2,05	2,22	2,15	2,52	2,4	3,1	2,77	2,98	3,4	2,65	2,92							
1973	2,9	3,08	3,41	3,07	3,27	2,95	3,17	2,66	2,71	2,76	2,77	2,75	2,71						
1974	1,66	1,92	2,01	1,74	2,05	1,81	2,04	2,07	2,6	2,78	2,56	2,34	2,15	1,73					
1975	2,02	2,01	2,33	2,06	2,23	2,21	2,29	2,07	2,06	2,78	2,36	2,46	1,8	2,08					
1976	1,48	1,24	1,38	1,31	1,15	1,55	1,24	1,15	1,35	1,39	1,35	1,25	1,07	1,14	1,28				
1977	2,58	1,99	2,57	2,18	2,62	1,78	2,91	2,36	1,85	3,07	2,88	2,79	2,66	2,49	2,01				
1978	1,94	1,78	2,64	2,12	2,51	1,79	1,74	1,9	1,9	1,5	1,6	1,53	1,74	1,53	2,14	1,91			
1979	2,37	2,5	2,74	2,38	2,49	2,02	1,82	2	2,03	1,79	1,94	1,62	1,81	1,65	1,91	2,23			
1980	1,81	1,84	1,67	1,55	1,8	1,89	1,29	1,52	1,53	1,5	1,64	1,88	1,89	1,36	1,31	1,45	1,11		
1981	1,89	2	1,59	1,28	1,47	1,47	0,73	0,81	1	0,79	0,74	0,63	0,39	0,47	0,3	1,35	1,52	1,7	
1982	1,56	1,45	1,56	1,37	1,29	1,24	0,81	1,12	1,05	0,69	0,88	0,51	0,52	0,93	1,03	1,54	2,08	2,14	
1983	1,39	1,44	1,56	1,66	1,8	1,36	1,41	1,52	1,12	0,89	1,3	0,89	0,82	1,17	1,38	1,26	1,57	1,41	0,67
1984	1,4	1,43	1,6	1,32	1,35	1,95	0,93	1,27	1,19	0,95	1,22	1,02	0,95	0,98	1,02	1,02	0,92	1,05	1,85
1985	2,53	3,11	3,01	2,23	1,84	1,73	1,44	1,65	1,55	1,5	1,43	1,23	1,25	1,44	1,55	1,22	1,13	1,23	2,08
1986	1,88	1,76	1,54	1,2	1,24	1,54	1,07	1,02	1,32	1,09	1,15	1,2	0,81	0,99	1,14	1,23	1,2	1,22	1,83
1987	1,57	1,62	1,71	1,59	1,88	1,82	2,21	1,66	1,62	1,12	1,29	1,3	1,3	1,34	1,16	1,28	1,42	1,89	1,95
1988	2,59	3,49	3,35	3,36	3,69	3,01	3,4	2,79	3	2,16	1,86	1,72	2,04	2,06	1,97	1,82	2,21	2,36	2,44
1989	2,43	2,72	2,74	2,66	2,53	2,56	3,31	2,28	2,47	2,46	2,3	2,66	3,09	2,15	2,13	2,39	2,17	2,47	2,22
1990	3,98	3,64	4,96	3,53	3,04	3,66	2,66	2,45	2,7	3,74	2,9	3,73	3,35	1,74	1,51	1,99	1,9	1,9	1,52
1991	1,51	1,15	1,46	1,17	0,89	1,27	1,05	0,92	1,15	1,47	1,26	1,16	1,25	1,22	1,13	1,38	1,53	1,12	1,23
1992	1,78	1,11	0,97	1,41	1,39	1,94	1,61	1,13	1,44	1,57	1,43	1,15	1,51	1,18	1,03	1,08	1,34	1,23	1,48
1993	1,44	1,45	0,98	1,52	1,4	1,27	1,01	1,03	1,09	1,42	0,9	0,89	1,18	0,51	0,52	0,66	0,7	0,8	0,66
1994	2,43	3,03	1,68	2,25	2,32	1,84	1,51	1,43	1,35	1,28	0,97	1	0,8	0,6	0,56	0,88	0,8	0,61	0,68

Tabelle 10 (Fortsetzung): Mittlere Jahringbreiten der einzelnen Stammescheiben [mm].