

**REKONSTRUKTION DER BENADELUNG EINER
FICHTE ÜBER DAS GESAMTE BAUMALTER AUS
DEM FLUORIMMISSIONSGEBIET RANSHOFEN**

Endbericht

Jänner 1996

**Zentrum für Umwelt- und Naturschutz
Universität für Bodenkultur Wien**

Univ.Prof. Dr. G. Halbwachs
Univ.Ass. Dipl.Ing. Dr. R. Wimmer
Michael Grabner
Kurt Peyer

Inhaltsverzeichnis:

1 Einleitung	3
2 Die Grundlagen der Nadelspuranalyse	3
2.1 Der Benadelungsgrad von Bäumen	3
2.2 Die Nadelspuranalyse	3
3 Untersuchungsgebiet und Probennahme	5
3.1 Standort	5
3.1.1 Lage zum Emittenten	5
3.1.2 Vegetation	6
3.1.3 Temperatur und Niederschlag	6
3.1.4 Windverhältnisse	6
3.1.5 Geologie und Boden	7
3.2 Probennahme	7
4 Probenbearbeitung	8
4.1 Aufarbeitung des Probebaumes	8
4.2 Weitere Probenpräparation	9
4.3 Durchführung der Sandstrahlarbeiten	10
5 Auswertung der Nadelspurzählung	11
6 Weitere Untersuchungen	11
6.1 Radialer Dickenzuwachs	11
6.2 Triebblängen	11
6.3 Ermittlung des aktuellen Benadelungsgrades	11
6.4 Fluorgehalt der Nadeln	12
6.5 Nadellänge	12
6.6 100-Nadel-Gewicht	12
7 Ergebnisse	12
8 Diskussion	18
9. Literatur	18

1 Einleitung:

Unter den Begriffen "Blatt- oder Nadelspur" versteht man die Verbindung zwischen den wasserleitenden Elementen eines Blattorganes (Xylem des Leitbündels) und dem Wasserleitungssystem des Stammes (sekundäres Holz). Über den Verlauf der Entwicklung von Blatt- bzw. Nadelspuren wird von KESTEL (1961) ausführlich berichtet, wobei er die älteren Arbeiten zu dieser Thematik von HELM (1932) und DE SLOOVER (1958) in seine Betrachtungen einbezieht.

Bei Blattorganen, die ihre Funktion über mehrere Jahre behalten - wie z.B. die Nadeln der Fichte - erfordert die jährliche Dickenzunahme des Stammes eine entsprechende Verlängerung der Nadelspuren. Diese sind somit im sekundären Stammholz der entsprechenden Jahre nachzuweisen. Diese Tatsache ermöglicht es, retrospektiv die Benadelung der Haupttriebe während bestimmter Lebensabschnitte oder über den gesamten Umtriebszeitraum eines Baumes zu erfassen.

2 Die Grundlagen der Nadelspuranalyse:

2.1 Der Benadelungsgrad von Bäumen:

Der Benadelungsgrad von Bäumen ist einer der wichtigsten und aussagekräftigsten Parameter über die Vitalität eines Baumes. In der Waldschadensbeurteilung wird dieser Parameter zur Einschätzung der Vitalität herangezogen (SCHÖN et al. 1988).

Der Benadelungsprozentsatz kann jedoch nur für jenen Zeitraum erstellt werden, in welchem noch Nadeln am Baum vorhanden sind. Im alpinen Raum variiert die Benadelung zwischen 6 und 14 Nadeljahrgängen bei der Fichte, im Mittel werden meist 7 angeführt. Wie hoch war jedoch der Benadelungsgrad in den Jahren davor?

Die Beantwortung dieser Frage ist erstmals mit der Nadelspuranalyse möglich geworden.

2.2 Die Nadelspuranalyse:

Wie schon kurz erwähnt, zeichnet sich die Nadelspur dauerhaft im Holz ab.

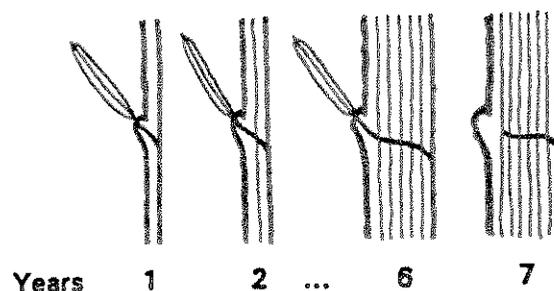


Abb. 1: Die Entwicklung einer Nadelspur bei Fichte (aus SANDER and ECKSTEIN, 1994)

Ein weiteres für die Nadelspuranalyse wichtiges Charakteristikum der Nadelbäume ist, daß sowohl die Jahrestriebe des Terminaltriebes als auch die der Zweige genau bestimmt werden können.

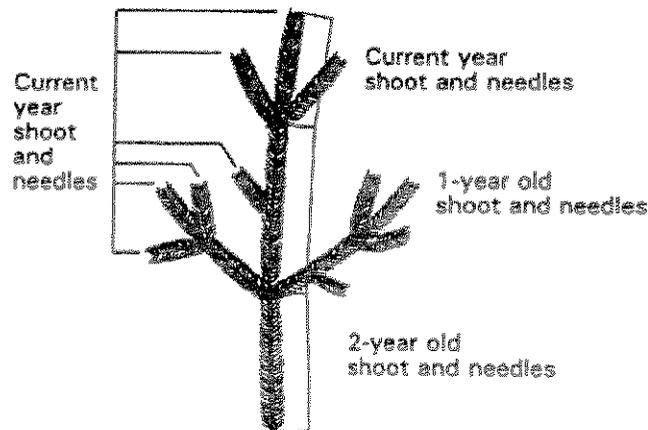


Abb. 2: Die Zweigstruktur der Fichte (aus SANDER and ECKSTEIN, 1994)

Die Jahreslängstriebe sind im Baumstamm durch die Astwirteln sowie durch die Knospen im Mark dauerhaft gekennzeichnet und können dadurch relativ sicher bestimmt werden. Lediglich das Auftreten proleptischer Triebe kann zu Problemen führen, da sie nicht als Jahrestrieb gewertet werden dürfen.

Die Nadelspuren können über mehrere Jahrringe hinweg verfolgt werden, bevor durch den Abwurf der Nadel ihre Spur im Holz verschwindet. Das Nadelalter entspricht somit der Anzahl der Jahrringe, durch welche die Nadelspur zu verfolgen war. Somit kann die jährliche Variation des Benadelungsgrades für die gesamte Lebenszeit des Baumes zurück bis zum Sproß verfolgt werden (JALKANEN, 1995).

Welche Aussagekraft die Benadelung des Terminaltriebes über die Gesamtbenedelung der Krone hat, wird ebenfalls von SANDER and ECKSTEIN (1994) berichtet.

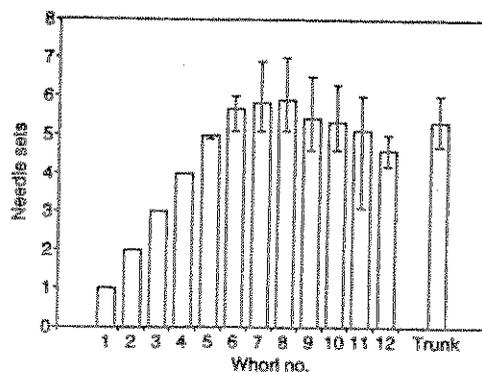


Abb. 3: Die vertikale Verteilung der Nadelanzahl von 12 Fichten (aus SANDER and ECKSTEIN, 1994)

Der Benadelungsgrad des Haupttriebes, d.h. des Stammes entspricht recht gut dem Mittelwert der Benadelung der Äste der übrigen Krone.

3. Untersuchungsgebiet und Probennahme

3.1 Standort

3.1.1 Lage zum Emittenten

Für die Wahl des Probenstandortes war die Lage zum Werk der AMAG Ranshofen ausschlaggebend. Er liegt in der Hauptwindrichtung ca. 1,5 km östlich vom Werk.

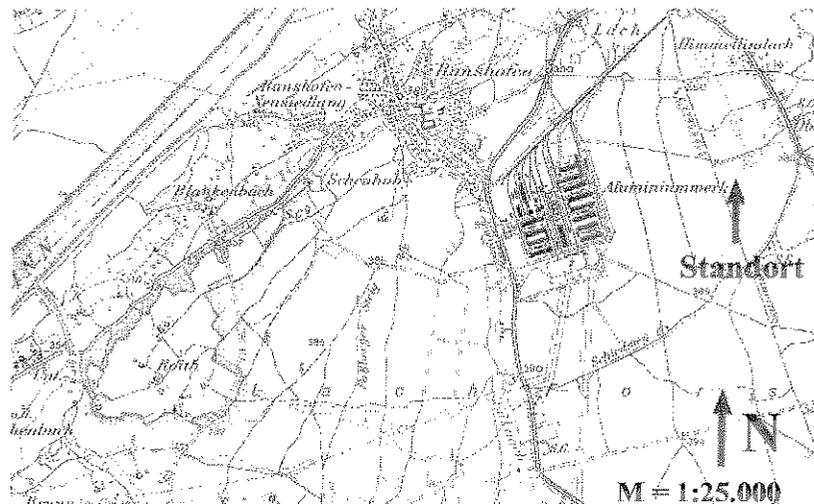


Abb. 4: Das Untersuchungsgebiet

Dieses Gebiet weist eine deutliche Beeinflussung durch die Fluorimmissionen auf. Der Emittent stand von 1941 bis 1992 in Betrieb (mit kurzen Unterbrechungen in den Nachkriegsjahren).



Abb. 5: Der ausgewählte Baum bei der Schlägerung

3.1.2 Vegetation

Der Untersuchungsstandort ist nach MAYER (1974) dem Waldgebiet 7.1.b „Nördliches Alpenvorland-Buchen-Mischwaldgebiet, Westlicher Wuchsbezirk, Schotterebenen (Inn-Niederung)“ zuzuordnen.

Die natürliche Waldgesellschaft ist durch einen sekundären, standortswidrigen Fichtenreinbestand ersetzt, der gegenüber biotischen und abiotischen Schadeinflüssen höchst anfällig ist (HALBWACHS et al., 1993).

Über die Bestandesgeschichte am Probenstandort 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.

3.1.3 Temperatur und Niederschlag

Die in der Station Ranshofen gemessene mittlere Jahresniederschlagssumme liegt bei 956 mm (1978-1987); die mittlere Jahrestemperatur beträgt zwischen 7,4° und 8,0°C (HALBWACHS et al., 1993).

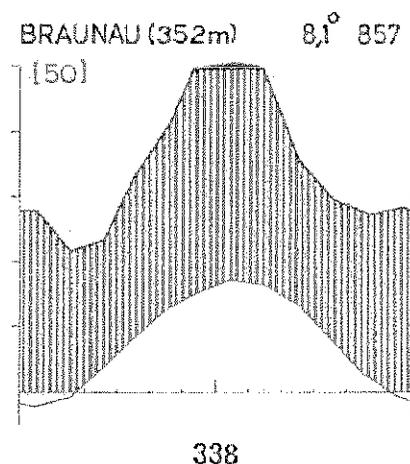


Abb. 6: Klimadiagramm von Braunau (aus WALTER & LIETH, 1960)

3.1.4 Windverhältnisse

Auswertungen von Meßreihen der ehemaligen Windmeßstation am Dach des Verwaltungsgebäudes des Aluminiumwerkes zeigen, daß die häufigsten Windrichtungen - entsprechend dem Inn-Verlauf - Ost-Nord-Ost bis Ost und West bis Süd-West sind. 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 (RUDOLPH & HALBWACHS, 1983).

3.1.5 Geologie und Boden

Der geologische Untergrund wird von pleistozänen kalkig-silikatischen Schotterterrassen gebildet, die von einer geringmächtigen 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 Parabraunerde, wobei bereits eine durch die Versauerung bedingte Tendenz zur Podsolierung festzustellen ist (WENZEL, 1990).

3.2 Probennahme

Die Probennahme erfolgte am 19. Jänner 1995.

Da für die erfolgreiche Anwendung der Nadelspuranalyse eine Mindestbreite der Jahrringe von etwa 2 mm erforderlich ist, wurden von mehreren Baumstämmen Bohrkern entnommen, um die Jahrringbreiten abschätzen zu können. Ein weiteres Auswahlkriterium war ein gerader Wuchs, der eine geringe Druckholzbildung erwarten ließ. Da die Härte von Druckholz und Nadelspuren etwa gleich ist, ist im Druckholz die Nadelspurmethode nicht anwendbar. Zuletzt gab die Schaftform in der Krone Aufschluß darüber, ob in vergangenen Jahren ein Absterben der Terminalknospe oder ein Wipfelbruch stattgefunden hatten. Dies könnte die Kontinuität der Benadelungsrekonstruktion durch die Bildung von Druckholz, Zuwachseinbußen in diesem Bereich und Ausfall von Jahrestrieben beeinträchtigen. (AALTO, 1991)

Der gewählte Baum erfüllte die oben genannten Bedingungen weitgehend. Die Fichte war 28 m hoch mit einer Kronenlänge von 6 m und einem Stammumfang in 1,2m Höhe von 135cm. Unmittelbar nach der Fällung wurde die Ostseite (welche als „Untersuchungsseite“ ausgewählt wurde) über die gesamte Baumlänge hinweg markiert.

Für die Untersuchung der aktuellen Benadelung wurden je 2 Äste aus dem unteren (22 m Höhe), aus dem mittleren (24 m Höhe) und aus dem oberen (26 m Höhe) Kronenbereich gewonnen. Ferner wurde der Wipfel für diese Untersuchungen herangezogen.



Abb. 7: Die Krone der geschlägerten Fichte

4. Probenbearbeitung

4.1 Aufarbeitung des Probebaumes

Der Erdstamm wurde in vier 5 m lange Bloche, die verbleibende Krone in etwa 1,5 m lange Stücke aufgetrennt. Im Kronenbereich erfolgte die Auftrennung möglichst in den Astquirlen. Diese Auftrennung und das folgende Einschneiden im Sägewerk dienten dem leichteren Transport nach Wien.

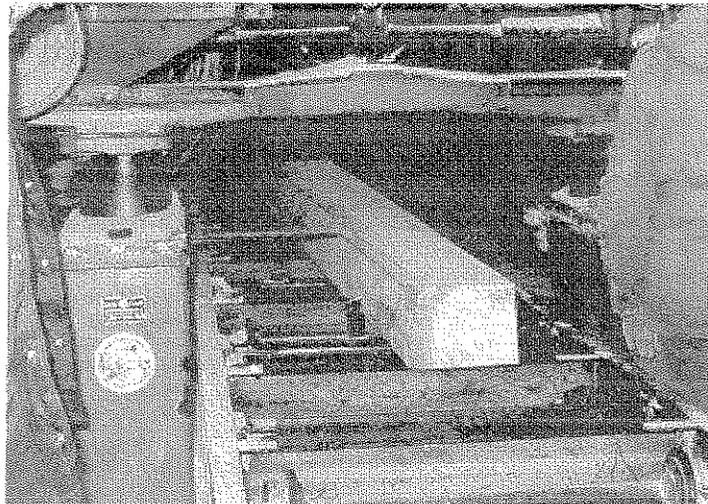


Abb. 8: Einschnitt im Sägewerk

Im Sägewerk wurde auf einer Blockbandsäge an jedem Bloch zuerst ein Längsschnitt knapp oberhalb der Markröhre durchgeführt.

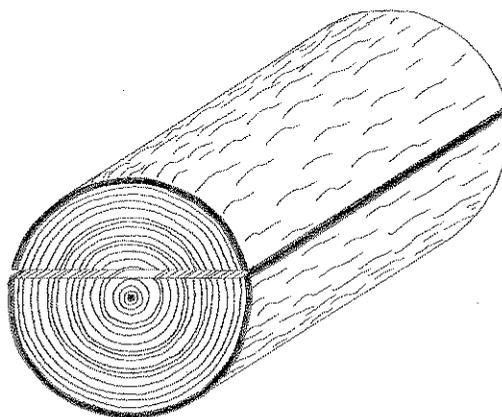


Abb. 9: Erster Schritt der Stammauftrennung im Sägewerk

Dann folgten 2 weitere Längsschnitte normal auf den ersten. Diese Schnitte wurden so geführt, daß in jeder Probe ein 60° Sektor an der Ostseite des Stammes erhalten blieb.

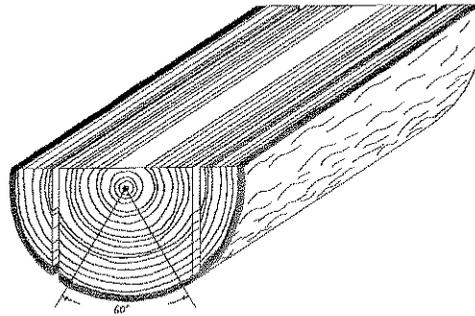


Abb. 10: Zweiter Schritt der Stammauftrennung im Sägewerk

Zum einfacheren Transport wurden die 5 m langen Proben in etwa 1 m lange Stücke zerteilt. Auch hier erfolgten die Trennschnitte möglichst in den Astquirln.

Die Stammstücke wurden in Wien gelagert, bis sie eine Holzfeuchte erreichten, die eine weitere Bearbeitung zuließ. ($u=12-15\%$)

4.2 Weitere Probenpräparation

Zunächst wurde die Markröhre mit einem Handhobel freigelegt. Die deutlich erkennbaren Terminalknospen ermöglichten eine exakte Abgrenzung der Jahrestriebe, sowie eine genaue Vermessung der Triebblängen.

Dabei zeigte sich auch, daß in einigen Jahren die Terminalknospe abgestorben war, und eine Seitenknospe ihre Funktion übernommen hatte.

Die Proben wurden nun in die einzelnen Jahrestriebe aufgetrennt. Dazu erfolgte ein Schnitt knapp unterhalb und einer knapp oberhalb der Terminalknospe. Die so entstandenen Scheiben dienten der Jahringbreitenvermessung und somit der exakten Datierung dieses Jahrestriebes.

Danach wurde für jeden Jahrestrieb der 60° Keil an der Ostseite ausgeschnitten. Dazu erfolgte zunächst ein markparalleler Schnitt, der eine plane Auflage der Probe gewährleistete. Auf einer Bandsäge mit 30° geneigtem Tisch wurden zwei Schnitte exakt durch den Mittelpunkt des Marks geführt.

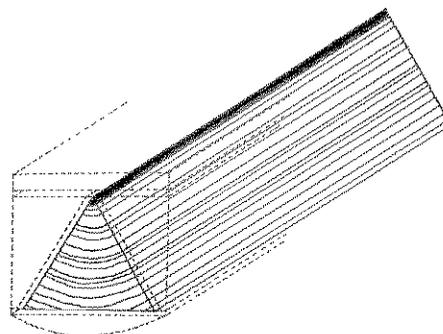


Abb. 11: Weitere Probenbearbeitung in der Werkstatt bis zur Erreichung des „Rohlings“ zum Sandstrahlen

Wenn man die Nadelspuren „freilegt“, können sie gezählt und somit der Benadelungsgrad ermittelt werden. Bei Kiefern (z.B. *Pinus sylvestris*) ist dies durch Schleifen einer planen tangential orientierten Fläche möglich. Die bei Fichte (*Picea abies*) wesentlich kleineren Nadelspuren sind auf geschliffenen Oberflächen kaum sichtbar. Daher hat Sander Sandstrahlgeräte zum Einsatz gebracht. Das Sandstrahlverfahren beruht auf einem Dichtegradienten zwischen Nadelspur und Holz (vor allem Frühholz). Die etwas dichteren Nadelspuren bleiben beim Sandstrahlen stehen und können so gezählt werden.

4.3 Durchführung der Sandstrahlarbeiten

Ausgehend vom Mark bzw. primären Gewebe wurde jeder Jahrestrieb Jahrring für Jahrring abgetragen bis keine Nadelspuren mehr zu erkennen waren. Durch das Sandstrahlen wird das weichere Frühholz entfernt, die härteren Nadelspuren bleiben erhalten und können ausgezählt werden.

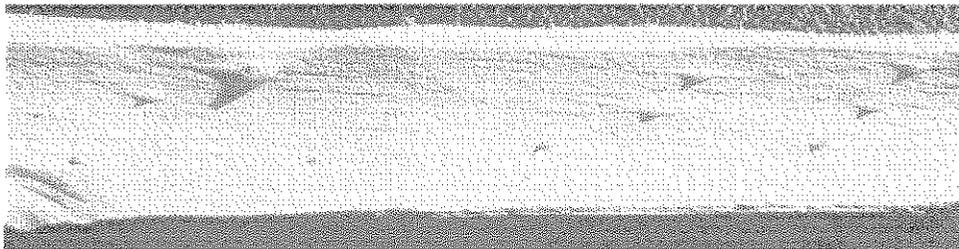


Abb. 12: Ein Probenstück nach dem Sandstrahlen mit „herausstehenden“ Nadelspuren

Danach wird das Spätholz dieses Jahrringes mit einem Hohleisen bzw. Stemmeisen entfernt, wodurch das Frühholz des nächsten Jahrringes zum Vorschein kommt.

Die Sandstrahlarbeiten wurden am Institut für Ur- und Frühgeschichte der Universität Wien durchgeführt, wofür auch an dieser Stelle gebührend gedankt wird.

Es wurde Edelkorund A (Korngröße ca 65μ) als Strahlgut bei einem Düsendurchmesser von 5mm und 5 bar Strahl Druck verwendet. Die Methodik war ein Saugstrahlverfahren mit Strahlgutrückführung.

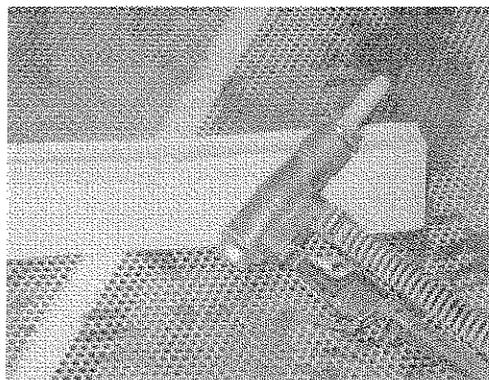


Abb. 13: Der Innenraum der Sandstrahlanlage mit der Strahldüse und einem Probenstück

5. Auswertung der Nadelspurzählung

Nach dem Sandstrahlen werden die Nadelspuren gezählt. Die Nadelspuranzahl des 1. Jahrringes kann mit 100% festgesetzt werden, d.h. im ersten Jahr ist der Trieb voll benadelt. Die Anzahl des 2. Jahrringes wird als Prozentwert des 1. Jahrringes angegeben. Dies erfolgt über alle Jahrringe hinweg, in welchen noch Nadelspuren vorhanden sind.

Da jeder bearbeitete Jahrring auch datiert werden muß, können die Ergebnisse in einer Matrix zusammengefaßt werden, aus welcher dann z.B. zu lesen ist, wie hoch der Benadelungsprozentsatz eines Jahres auf diesem Jahrestrieb, aber auch auf den Jahrestrieben davor gewesen ist. D.h. es kann zu jedem Zeitpunkt im Leben dieses Baumes der Benadelungsprozentsatz, wie er an lebenden Bäumen anhand der Zweige ermittelt wird, bestimmt werden. Ebenso können Aussagen darüber gemacht werden, wie lange eine Nadel, die in einem bestimmten Jahr gebildet wurde, am Baum verblieben ist.

6. Weitere Untersuchungen

6.1 Radialer Dickenzuwachs

Die bei der Auftrennung des Stammes anfallenden Stammscheiben im Bereich der Astquirln wurden geschliffen und mit der Jahrringmeßmaschine auf 1/100 mm genau parallel zu den Holzstrahlen vermessen. D.h. es liegen Messungen der Jahrringbreite aus jedem Jahrestrieb vor.

6.2 Triebblängen

Nach dem Freilegen der Markröhre konnte anhand der gut sichtbaren Terminalknospen eine Messung des jährlichen Höhenzuwachses über die gesamte Lebensdauer hinweg durchgeführt werden.

6.3 Ermittlung des aktuellen Benadelungsgrades

Für die Untersuchung der aktuellen Benadelung wurden je 2 Äste aus dem unteren (22 m Höhe), aus dem mittleren (24 m Höhe) und aus dem oberen (26 m Höhe) Kronenbereich gewonnen. Ferner wurde der Wipfel für diese Untersuchungen herangezogen. Hier wird wie bei der Nadelspuranalyse vorgegangen, indem man die geschätzten Benadelungsprozentsätze in bezug auf die potentielle Benadelung (=Anzahl der Nadelkissen) für die einzelnen Jahrestriebe addiert.

6.4 Fluorgehalte der Nadeln

Getrennt für unteren, mittleren und oberen Kronenbereich, sowie für den Wipfel wurden von jedem Nadeljahrgang die Fluorgehalte ermittelt. Vom 5. Jahrgang im oberen Kronenbereich und im Wipfel, sowie vom 6. Jahrgang im mittleren und unteren Kronenbereich waren nur noch so wenige Nadeln vorhanden, daß jeweils eine Mischprobe beider Höhenstufen zur Untersuchung gelangte.

Die Bestimmung der Fluorgehalte erfolgte nach KRONBERGER und HALBWACHS (1974) mit einer ionenselektiven Elektrode.

6.5 Nadellänge

Für die 4 Kronenbereiche (unten, Mitte, oben, Wipfel) wurde von jedem Nadeljahrgang eine Stichprobe von 100 Nadeln gezogen und vermessen.

6.6 100-Nadel-Gewicht

Die Nadeln, die für die Längenbestimmung herangezogen worden waren, wurden bei 103°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen.

7. Ergebnisse

Beim Auftrennen des Stammes in die einzelnen Jahrestriebe, die mit Hilfe der im Mark gut erkennbaren Terminalknospen erfolgte, zeigte sich, daß es bei diesem stark luftschadstoffbelasteten Baum zeitweise zum Absterben der Terminalknospe gekommen war. Deutlich war erkennbar, daß eine Seitenknospe dann die Funktion des Haupttriebes übernahm. Bei der weiteren Bearbeitung wurde klar, daß genau dieser Umstand auch die Anwendung der Nadelspurmethode zumindest teilweise in Frage stellte. Beim Absterben der Terminalknospe kommt es zu einer zeitlichen Verzögerung der Fortsetzung des Stammes, die durch die Seitentrieb - Haupttrieb - Umstellung bedingt ist. Daher kam es in diesem Bereich auch zu Einbußen im radialen Zuwachs sowie auch zu Reaktionsholzbildung (Druckholz). Genau diese zwei Faktoren behindern aber die erfolgreiche Anwendung der Nadelspurmethode.

Es war daher nur möglich den Zeitraum 1914 bis 1971 zu bearbeiten.

Die Jahrringbreitenverläufe korrelierten sehr gut mit der am Institut erstellten Jahrringchronologie aus dem Raum Ranshofen. Es konnte somit auch jedes Wuchsjahr der Jahrestriebe anhand der Jahrringbreitenverläufe nachkontrolliert und bestätigt werden.

	1.JG	2.JG	3.JG	4.JG	5.JG	6.JG	7.JG	BN%
1914	100	92	85	77	23	0	0	100
1915	100	100	81	59	30	0	0	192
1916	100	100	79	74	34	4	0	285
1917	100	100	71	48	39	10	3	358
1918	100	100	86	76	37	12	0	361
1919	100	0	0	0	0	0	0	375
1920	100	100	60	14	0	0	0	267
1921	100	100	79	42	17	0	0	319
1922	100	100	84	68	32	3	0	307
1923	100	100	70	45	35	13	0	309
1924	100	100	96	81	75	30	0	326
1925	100	100	80	73	40	3	0	354
1926	100	100	46	20	8	4	0	373
1927	100	95	63	35	2	0	0	399
1928	100	100	69	17	0	0	0	403
1929	100	100	78	64	44	20	2	353
1930	100	90	68	55	18	0	0	314
1931	100	100	70	36	6	0	0	291
1932	100	100	35	13	3	0	0	332
1933	100	100	79	66	45	2	0	369
1934	100	100	80	79	16	3	0	310
1935	100	50	43	27	0	0	0	301
1936	100	100	24	10	3	0	0	300
1937	100	96	50	31	10	0	0	366
1938	100	100	50	28	17	0	0	266
1939	100	91	31	28	16	0	0	264
1940	100	100	91	77	34	10	0	275
1941	100	100	95	74	18	0	0	270
1942	100	96	88	76	4	0	0	337
1943	100	100	95	40	0	0	0	383
1944	100	100	69	53	7	0	0	396
1945	100	100	55	13	2	0	0	399
1946	100	100	66	20	6	0	0	314
1947	100	71	34	26	13	0	0	308
1948	100	100	64	34	17	3	0	256
1949	100	100	77	38	37	0	0	257
1950	100	90	71	66	54	13	2	296
1951	100	100	77	66	25	0	0	314
1952	100	100	87	71	32	2	0	327
1953	100	60	50	37	23	0	0	382
1954	100	100	64	60	59	0	0	368
1955	100	80	65	43	7	0	0	358
1956	100	100	70	63	33	0	0	316
1957	100	100	66	34	21	0	0	350
1958	100	100	40	32	0	0	0	372
1959	100	100	78	62	22	0	0	335
1960	100	71	37	10	0	0	0	307
1961	100	90	29	21	0	0	0	302
1962	100	100	63	44	15	0	0	288
1963	100	100	30	0	0	0	0	261
1964	100	100	50	44	15	0	0	283
1965	100	100	87	49	21	0	0	274
1966	100	100	70	28	8	0	0	265
1967	100	100	90	46	0	0	0	331
1968	100	100	67	50	13	0	0	334
1969	100	50	18	0	0	0	0	337
1970	100	100	72	46	3	0	0	270
1971	100	100	94	79	17	0	0	268

Abb. 14: Die Datenmatrix der Ergebnisse der Nadelspuranalyse (JG = Jahrgang; BN% = Gesamtbenadelungsprozentsatz)

Berechnungsbeispiel mit den Zahlen der Abbildung 14:

Der Benadelungsprozentsatz des Jahres 1971 errechnet sich aus dem 1. Jahrgang 1971 +

2. Jahrgang 1970 + 3. Jahrgang 1969 + ...

in Zahlen: $268 = 100 + 100 + 18 + 50 + 0 + 0 + 0$

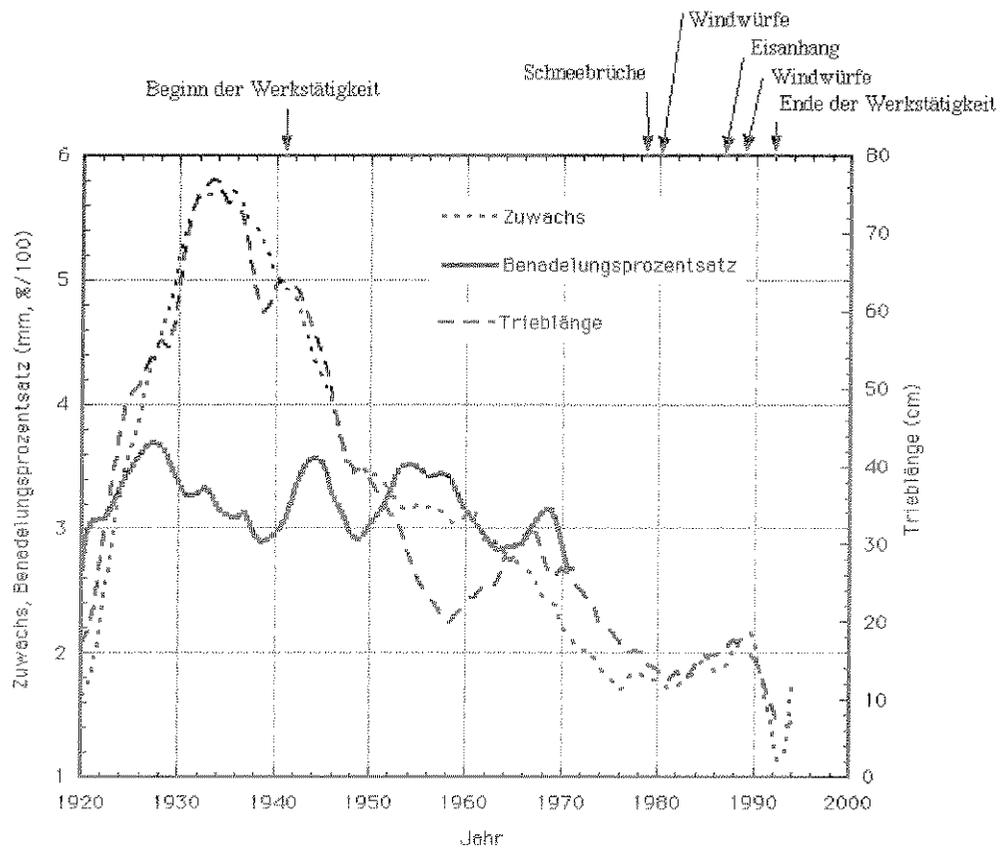


Abb. 15: Geglättete Kurven des Benadelungsprozentsatzes, der Jahrringbreite und der Trieblänge. Weiters sind hier einige „Ereignisse“ angeführt.

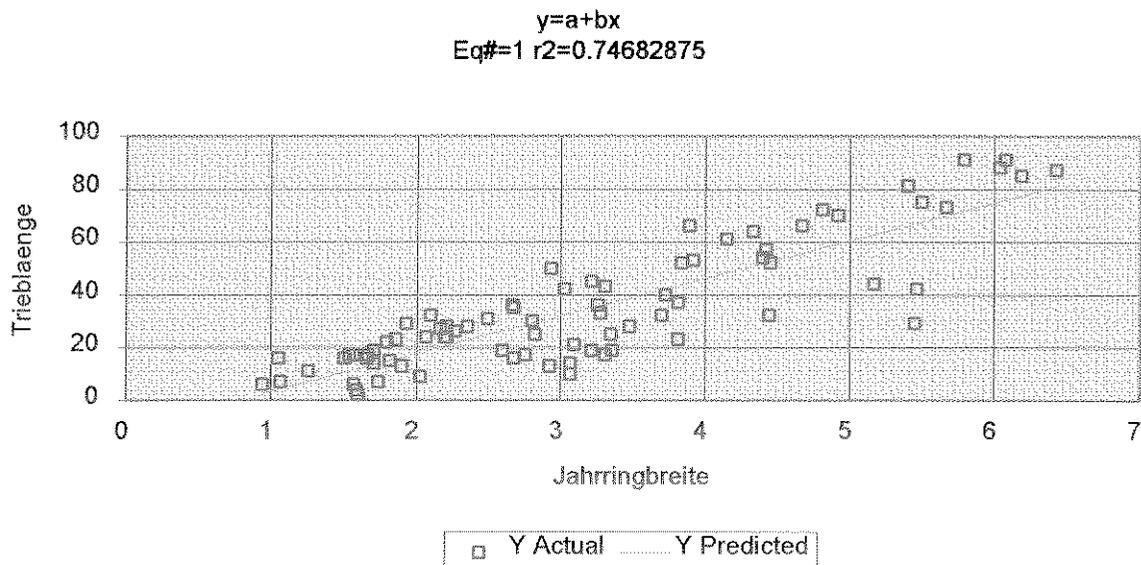


Abb. 16: Korrelation zwischen Jahrringbreite und Trieblänge

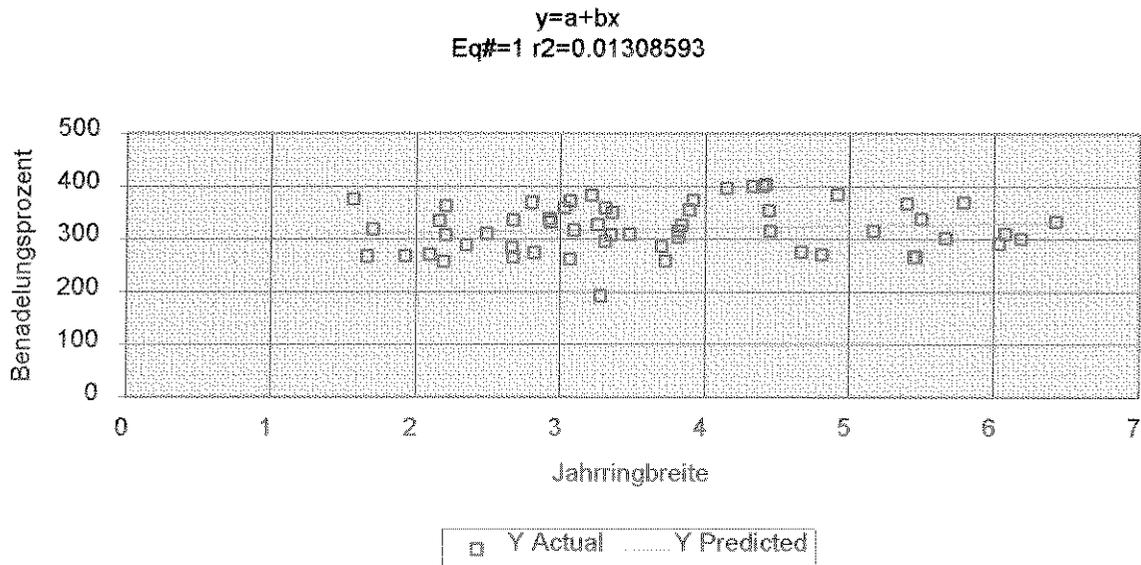


Abb. 17: Korrelation zwischen Jahrringbreite und Benadelungsprozentsatz

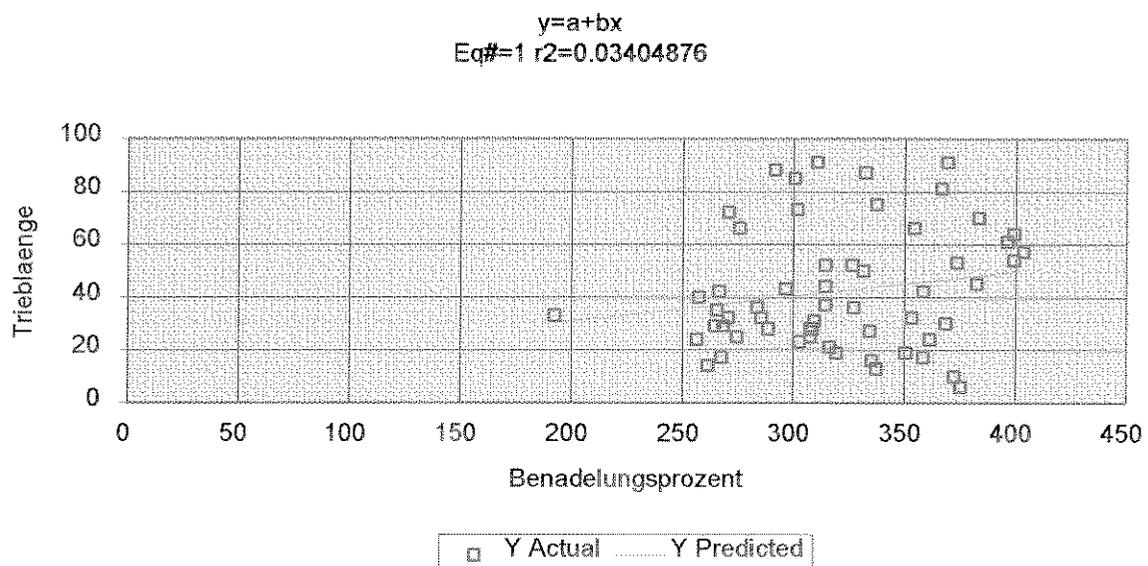


Abb. 18: Korrelation zwischen Trieblänge und Benadelungsprozentsatz

Anhand dieser Auswertungen ist zu sehen, daß der Zusammenhang zwischen Jahrringbreite (= radialer Dickenzuwachs) und der Trieblänge (= Höhenzuwachs) sehr gut erklärt ist ($R^2=0,75$). Die Zusammenhänge zwischen den Zuwachsgrößen (Jahrringbreite und Trieblänge) und dem Benadelungsprozentsatz sind sehr schwach ($R^2=0,01$ bzw. $0,03$).

Aktuelle Benadelung:

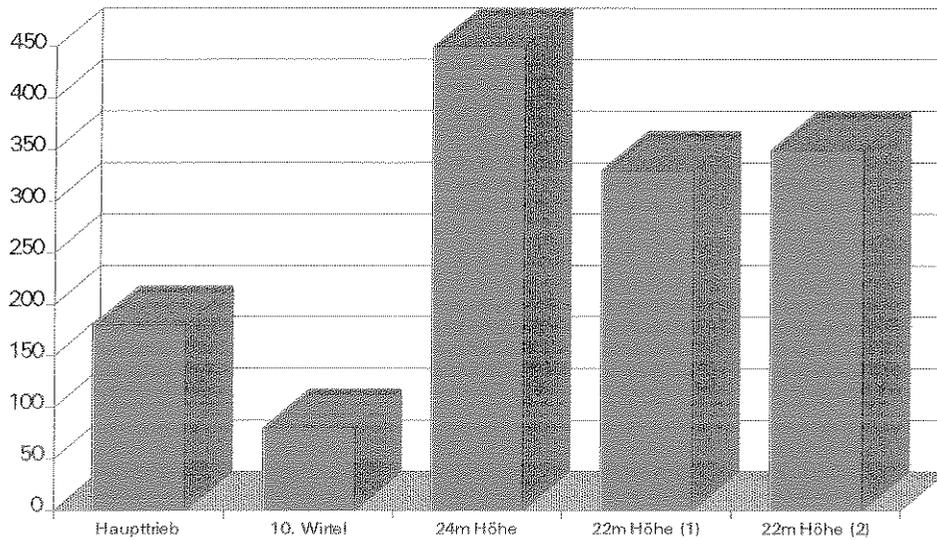


Abb. 19: Die Werte der aktuellen Benadelung bei der Fällung

Die Ergebnisse zeigen, daß der Wipfel sehr schlecht benadelt war. Dieser Umstand ist weitgehend auf biotische Schädlinge zurückzuführen. Die Benadelungsprozentsätze der restlichen Krone entsprechen in etwa denen der durch die Nadelspuranalyse ermittelten. Die Benadelung ist aber allgemein schlecht, da die Normalwerte für Fichte im alpinen Bereich zwischen 600 und 1400 liegen.

Fluorgehalte der Nadeln:

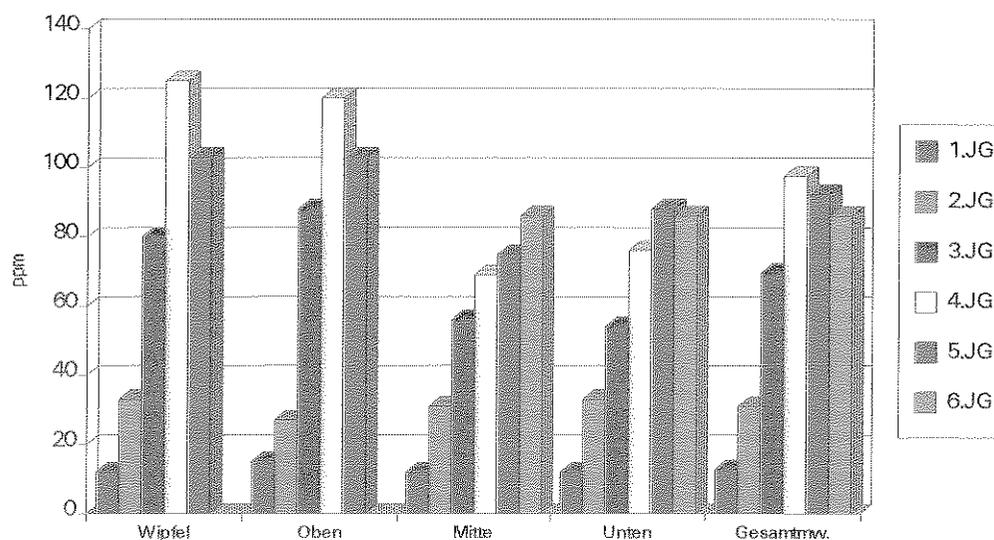


Abb. 20: Fluorgehalte der Nadeln aus verschiedenen Kronenbereichen und Gesamtmittelwert (1.JG = 1994; 6.JG = 1989)

Hier zeigte sich, was auch in anderen Untersuchungen am Institut bestätigt wurde, daß mit dem Schließen des Emittenten Ende 1992 die Fluorwerte rapid abnehmen, aber sich aufgrund von Translokationen im Baum doch noch erhöhte Werte zu finden.

Nadellänge:

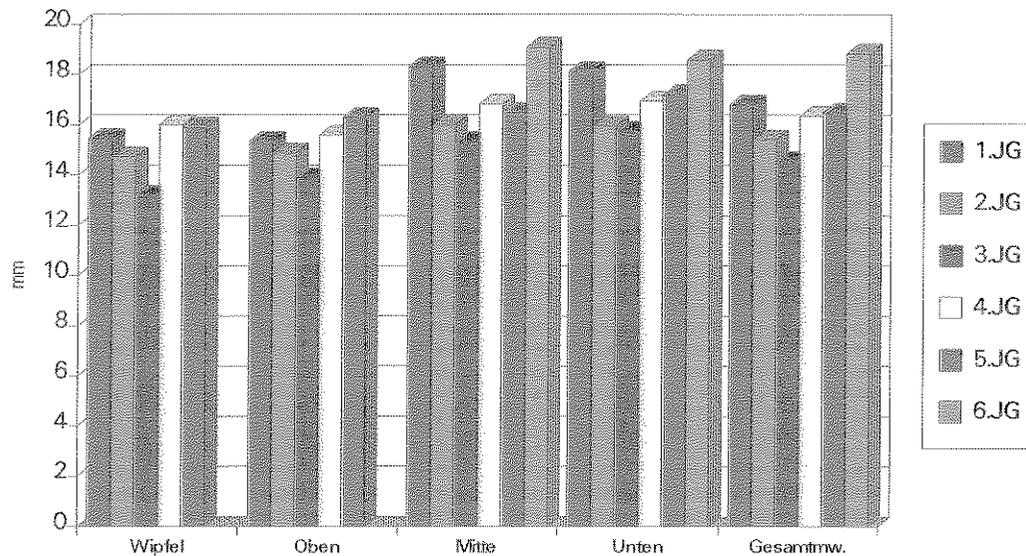


Abb. 21: Die Nadellängen aus verschiedenen Kronenbereichen und Gesamtmittelwert (1.JG = 1994; 6.JG = 1989)

100-Nadel-Gewicht:

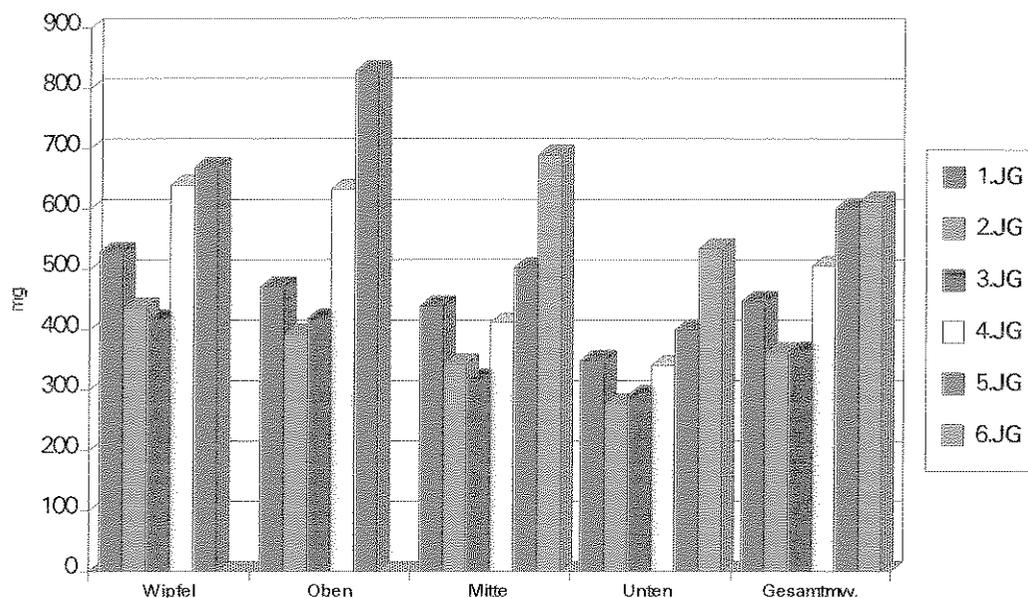


Abb. 22: 100-Nadel-Gewicht aus verschiedenen Kronenbereichen und Gesamtmittelwert (1.JG = 1994; 6.JG = 1989)

Die Werte der Nadellängen und des 100-Nadel-Gewichtes zeigen keine besonderen Trends und entsprechen den zu erwartenden Größenordnungen.

8. Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, daß biotische Einflüsse wie Terminalknospenzerstörung, Nadelabwurf, Eisanhang u.ä. sich stärker in der Benadelung niederschlagen als die Immissionsbelastung. Durch die erwähnte Druckholzbildung bzw. die Ausbildung sehr schmaler Jahrringe war die Anwendung der Nadelspuranalyse nicht über das Jahr 1971 hinaus möglich. Der Beginn der starken Fluoremissionen um 1941 hat sich offenbar nicht in einem vermuteten Nadelverlust manifestiert. Dieses Ergebnis ist sicher auch damit zu erklären, daß die Fichte im Untersuchungsgebiet nicht standortgemäß und deshalb für immissionsunabhängige biotische und abiotische Einflüsse anfälliger ist.

Die schlechte Benadelung über das gesamte Baumalter deutet ebenso klar auf Standortswidrigkeit hin.

Bei ECKMÜLLNER (1988) kann man einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Benadelung und dem Zuwachs sehen. An unserer einzelnen Fichte konnte diese Korrelation nicht nachgewiesen werden. Auch dieser Umstand ist wahrscheinlich auf die Standortswidrigkeit der Fichte in diesem Gebiet zurückzuführen.

Die retrospektive Ermittlung der Benadelung mit Hilfe der Nadelspuranalyse ist grundsätzlich möglich. Da aber aufgrund des sehr hohen Arbeitsaufwandes nur eine Fichte bearbeitet werden konnte, können vermutete Auswirkungen, wie Nadelverlust nach dem Einsetzen der Emissionstätigkeit des Werkes, nicht bestätigt werden. Einen sehr großen Störfaktor stellt auch die Anfälligkeit auf biotische Schädigungen dar.

Um genauere und statistisch absicherbare Ergebnisse der Benadelungsverläufe und somit mögliche Folgen von abiotischen Beeinflussungen zu erhalten, müßten mehrere Bäume untersucht werden.

9. Literatur

AALTO, T., Jalkanen, R., 1991: The Vascular Bundle Method Instructions. The Finnish Forest Research Institute, Rovaniemi Research Station, Finland

DE SLOOVER, J., 1958: Recherches sur l'histogenese' de tissus conducteurs. II. Le senes longitudinal de la differenciation du procambium, du xyleme et du phloeme chez Coleus, Ligustrum, Anagallis et Taxus. Cellule 59, 53-202

- ECKMÜLLNER, O., 1988: Neuartige Waldschäden: Benadelung und Zuwachs von Fichte. Aus den Untersuchungen des Institutes für forstliche Ertragslehre an der Universität für Bodenkultur Wien / Otto Eckmüller Jun. Wien: Kooperationsabkommen Forstwirtschaft - Platte - Papier, 1988. 24 S
- HALBWACHS G, et al., 1993: Immissionsökologische Studie über die Belastung der Vegetation durch Fluoride in der Umgebung von Fluoremittenten. BM f. Umwelt, Jugend und Familie - Schriftenreihe der Sektion I, Band 3/1993
- HELM, J.; 1932: Untersuchungen über die Differenzierung der Sproßscheitelmeristeme von Dikotylen unter besonderer Berücksichtigung des Prokambiums. *Planta* 15, 1932, 105-191
- JALKANEN, R., 1995: Needle trace method (NTM) for retrospective needle retention studies on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Acta Universitatis Ouluensis A* 264, 1995
- KESTEL, P., 1961: Der Anschluß der Blattspuren an das Holz bei den Coniferen. Dissertation an der Ludwig Maximilians Universität München
- KRONBERGER, W., Halbwachs, G., 1974: Über eine einfache Methode zur Bestimmung des Fluorgehaltes von Pflanzen mittels ionenspezifischer Elektrode. Tagungsband der IX. Internationalen Tagung über Luftverunreinigung und Forstwirtschaft, den 15. bis 18. Oktober 1974, Marianske Lazne, Tschechoslowakei: Ministerium für Forst- und Wasserwirtschaft der CSR: 121-129
- MAYER, H., 1974: Wälder des Ostalpenraumes. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- RUDOLPH, E., Halbwachs, G., 1983: Das Bioindikatornetz „Inn-Salzach-Gebiet“ - ein grenzüberschreitendes Meßnetz. *Europ. J. Forest Path.*, 13, p 334-343, 1983
- SANDER, C., Eckstein, D., 1994: Reconstruction of the Foliation of Spruce by Means of Needle Traces. *Scand. Journal of Forest Research*
- SCHÖN, B., WIMMER, R., WUGGENIG, W., HALBWACHS, G. (1988): Nadel- und triebbiometrische Untersuchungen an Fichten aus österreichischen Waldschadensgebieten. In: Bucher, J.B., Bucher-Wallin, I. (Hrsg.): *Air Pollution and Forest Decline. Proc. 14th Int. Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems IUFRO P2.05*, Interlaken, Switzerland, Oct. 2-8, 1988: 517-519.
- WALTER, H., LIETH, H., 1960: Klimadiagramm-Weltatlas, 1960, VEB Gustav Fischer Verlag Jena
- WENZEL, W.W., 1990: Bodenbelastung durch Fluor und Schwermetalle im Immissionsbereich der Aluminiumhütte Ranshofen und ihre Auswirkungen auf Bodenzustand und Bodenfunktion. Dissertationsarbeit, Univ. f. Bodenkultur, Wien