



FBVA-BERICHTE Nr. 101/1998

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien
Waldforschungszentrum

Waldwachstumskundlicher Rauchhärtestest „Arnoldstein“

Auswertung einer 25jährigen Fallstudie

*Final results of a case study over
25 years in three experimental plots
near Arnoldstein/Carinthia -
in respect to air pollution
and juvenile growth*

M. NEUMANN

FDK 181:45:181.65:561.1:174.7:(436)



Das Lebensministerium

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft

Empfohlene Zitierung:

Waldwachstumskundlicher Rauchhärte-Test „Arnodstein“ - Auswertung einer 25jährigen Fallstudie / M. Neumann. FBVA-Berichte; Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 1998, Nr. 101, 42 S.

ISSN 1013-0713

Copyright 1998 by
Forstliche Bundesversuchsanstalt

Für den Inhalt verantwortlich :
Direktor HR Dipl. Ing. Friedrich Ruhm

Herstellung und Druck :
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Waldforschungszentrum
Seckendorff-Gudent Weg 8
A-1131 Wien

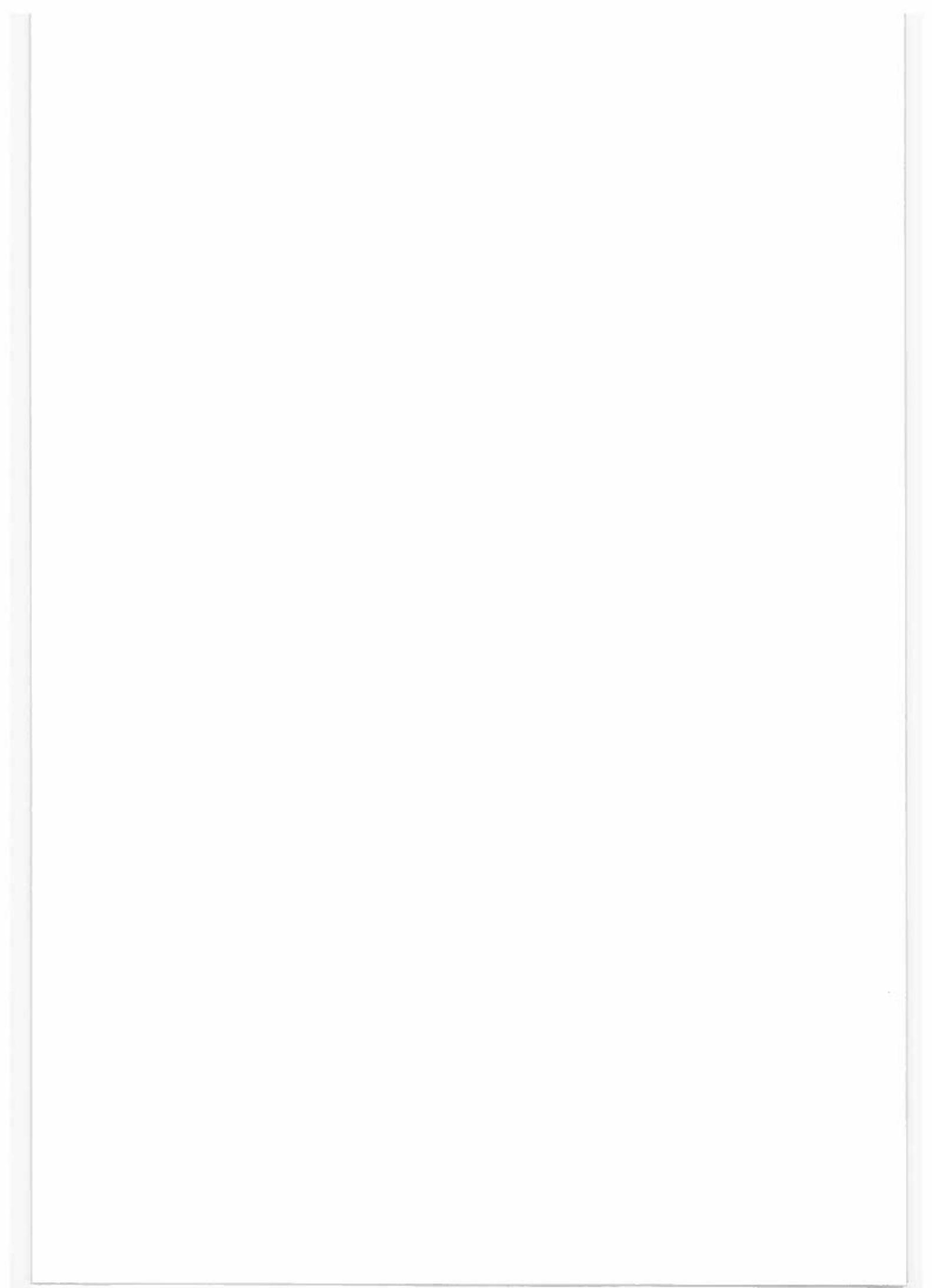
Anschrift für Tauschverkehr :
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Bibliothek
Seckendorff-Gudent Weg 8
A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 216
Fax. + 43-1-877 59 07

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
Abstract	7
0. Vorbemerkung	8
1. Einleitung	8
2. Allgemeine Situation	8
2.1 Geschichte des Werkes	8
2.2 Charakterisierung der Belastungssituation im Versuchsgebiet	9
2.2.1 Emissionssituation	9
2.2.2 Immissionsmeßwerte	9
2.3 Lage der Versuchsflächen und Versuchsführung	11
3. Ziele und Methoden	12
3.1 Fragestellungen im Laufe der Zeit	12
3.2 Methoden der Erfassung der Pflanzenentwicklung	13
3.3 Methoden der Erfassung der Nadelgehalte	14
3.4 Methoden der Erfassung der Bodengehalte	15
4. Ergebnisse	16
4.1 Ergebnisse der Nadelanalysen	16
4.1.1 Ergebnisse früherer Untersuchungen	16
4.1.2 Ergebnisse auf den Versuchsflächen	16
4.1.2.1 Schwefel- und Fluorgehalte	16
4.1.2.2 Schwermetallgehalte	17
4.1.2.3 Nährelementgehalte	18
4.1.2.4 Wachstumsqualität der Fichtennadeln	20
4.2 Ergebnisse der Bodenanalysen	20
4.2.1 Ergebnisse früherer Untersuchungen	20
4.2.2 Ergebnisse auf den Versuchsflächen	21
4.2.2.1 Probenahme im Jahr 1984	21
4.2.2.2 Probenahme im Jahr 1989	22
4.2.2.3 Probenahme im Jahr 1995	22
4.3 Untersuchungen des Anwuchsverhaltens von Fichtensamen	26
4.4 Untersuchung des Wuchsverhaltens von Fichtenpflanzen	29
4.4.1 Mortalität	29
4.4.2 Höhenentwicklung	29
4.4.3 Entwicklung der Benadelung	30
4.4.4 Bewertung der Volumenzuwachstleistung	30
4.4.5 Unterschiede zwischen den Nachkommen verschiedener Mutterbäume	33
4.5 Untersuchung des Wuchsverhaltens der Pflöpfungen	34
4.5.1 Benadelung, Mortalität und Höhenwachstum	34
4.6 Beurteilung der anderen Baumarten	35
4.6.1 Entwicklung und Wachstumsleistung der Nadelbaumarten	35
4.6.2 Entwicklung und Wachstumsleistung der Laubbaumarten	36
5. Zusammenfassende Wertung der Ergebnisse	36
5.1 Beurteilung der Immissionsbelastung	36
5.2 Gesamtbewertung des Versuchs	36
5.3 Waldbauliche Wertung der Pflöpfungen	37
5.4 Wertung der Zuwachsbeeinträchtigung	38
6. Folgerungen	38
Literatur	40
Anhang	42



Waldwachstumskundlicher Rauchhärtestest „Arnoldstein“

Auswertung einer 25jährigen Fallstudie

M. NEUMANN

Institut für Waldwachstum und Betriebswirtschaft, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien

Kurzfassung. Auf drei Versuchsf lächen in unterschiedlicher Entfernung vom Hüttenbetrieb in Gailitz-Arnoldstein wurden im Rahmen einer Fallstudie seit 1972 das Wachstum von Aufforstungen untersucht und Immissionsparameter erhoben. Die Immissionssituation konnte durch die Luftmeßdaten, Nadelanalysen und Bodenanalysen eindeutig belegt werden. Die Gehalte an Schwefel und auch an Schwermetallen waren - sowohl im Boden als auch in den Nadeln - lange Zeit zweifelsfrei überhöht. Trotz der werksseitig veranlaßten Emissionsreduktion seit 1987 werden im untersuchten Gebiet die gesetzlich festgelegten Grenzwerte von Schwefel in Fichtennadeln auch 1996 noch überschritten. Durch die unterschiedliche Distanz der Versuchsf lächen zur Emissionsquelle ergaben sich deutliche Belastungsunterschiede in allen untersuchten Immissionsparametern, sowohl in den Nadeln als auch im Boden. Der Immissionseinfluß reicht allerdings über die werksferne Fläche hinaus, es konnte also in dieser Untersuchung der äußere Rand der Immissionseinwirkung nicht gefunden werden.

Die Zuwachsleistung auf der werksfernen Fläche ist innerhalb der bisher beobachteten 25 Jahre trotz Immissionseinwirkung nicht negativ beeinflußt, sondern im Gegenteil außerordentlich hoch. Auf den beiden nähergelegenen Versuchsf lächen ist zwar das Wachstum beeinträchtigt; auf der mittleren Fläche erreicht der laufende Zuwachs derzeit bereits normale Werte.

Der Versuch, von resistent erscheinenden Fichten des Gebietes selbst Pflöpfreiser zu gewinnen, brachte zwar interessante Ergebnisse, die Verwendung derartiger Pflöpfreiser für Aufforstungen in der Praxis scheint jedoch - nicht nur aus Kostengründen - ausgeschlossen. Die Eignung anderer Baumarten kann anhand der weniger ausgepflanzten Exemplare nicht gesichert beurteilt werden.

Schlüsselworte: Immissionen, Fichte, Jugendwachstum, Nadelanalyse, Fallstudie

Abstract. [Final results of a case study over 25 years in three experimental plots near Arnoldstein/Carinthia - in respect to air pollution and juvenile growth.] Since 1972, juvenile development of afforestation plantings of spruce and other species has been observed and parameters for determining air pollution impact has been measured within a case study on three observation plots, located at different distances from the smelting plant at Gailitz/Arnoldstein in Carinthia.

The importance of air pollution in this area was shown by air quality measurement and by the results of tree needle and soil analyses: Sulfur and heavy metals were significantly above natural levels in both needles and soil. Despite strong efforts by the smelter since 1987 to reduce air pollution, legal sulfur threshold levels were exceeded in spruce needles from all investigated plots, although a clear reduction in needle content as well as in air concentration was measurable.

The different distances of the trial plots from the source of emission resulted in corresponding differences in all measured parameters. Air pollution impact extended beyond the most distant plot and thus the full extent of pollution influence could not be determined. Although air pollution impact extended beyond the most distant plot, increment was found to be extremely high on this plot. On the two plots closer to the source of emission the growth has been reduced, but current increment reaches already normal values on the one intermediate plot.

The use of graftings of phenologically resistant trees from the Arnoldstein area was not successful. Thus the use of such trees for afforestations would seem to be infeasible.

A proposal of more suitable tree species for afforestations in polluted areas could not be made as not enough specimen were tested to get reliable results.

Keywords: Air pollution, norway spruce, juvenile growth, needle analysis

0. Vorbemerkung

Im Gebiet von Arnoldstein wurde seit 1972 der Anwuchserfolg und das Jugendwachstum von Aufforstungen beobachtet. Die drei Versuchsflächen wurden mit Saatgut aus Ranshofen angelegt, später wurden auch Fichtenpflanzungen relativ widerstandsfähig erscheinender Fichten des Rauchschaadensgebietes Arnoldstein und andere Baumarten in den Versuch einbezogen.

Der vorliegende Bericht baut in wesentlichen Teilen auf den von NEUMANN (1991) publizierten Zwischenergebnissen auf. Die Langfristigkeit und Vielfältigkeit dieses Versuches bedingt natürlich, daß viele Personen an der Versuchsführung und Auswertung beteiligt waren, ohne deren Hilfe es nicht möglich gewesen wäre, die hier zusammengefaßten Ergebnisse zu präsentieren. Ihnen allen sei an dieser Stelle gedankt.

1. Einleitung

Das Gebiet von Arnoldstein ist seit über 100 Jahren starken Immissionen ausgesetzt; 1962/63 weitete sich das Schadgebiet rasch aus und innerhalb einiger Jahre entstand auf dem Stoßauer Hügel eine „Rauchblöße“ bis zu einer Distanz von 1500 m vom Hüttenwerk, wobei die ursprünglich dominierende Baumart Fichte vollständig ausfiel und in der Kernzone nur mehr vereinzelt Buchen aus dem Vorbestand verblieben. Diese für österreichische Verhältnisse alarmierende Entwicklung war Anlaß für genauere Untersuchungen ab 1963 (DONAUBAUER et al., 1965).

In einer interdisziplinären Studie („CARINTHIA-PROJEKT“, HALBWACHS, 1982) der Universität für Bodenkultur und der Forstlichen Bundesversuchsanstalt wurde die Immissionssituation und deren Auswirkungen auf den Bodenzustand, die landwirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten und -erträge sowie die forstlichen Zuwachsverhältnisse dargelegt.

Mit der Schwermetallbelastung im Raum Arnoldstein befaßte sich eine Studie des Umweltbundesamtes (KASPEROWSKI, 1993). Darin wurden direkte Auswirkungen auf den Menschen berücksichtigt, dementsprechend konzentriert sich die Untersuchung auf Gartenkulturen im Ortsgebiet von Arnoldstein.

An der Universität für Bodenkultur wurde 1991 ein interdisziplinäres Forschungsprojekt begonnen, das den Ist-Zustand des Gebietes als Grundlage für eine quantitative Abschätzung der durch die Immissionsreduzierung zu erwartenden Veränderungen erfaßte. Einerseits wurden Boden- und Nadelanalysen zur Charakterisierung der Standortstypen durchgeführt und andererseits wurden für die ertragskundliche Bewertung insgesamt 47 Probeflächen in Wuchsreihen angelegt, auf 2 Flächen wurden zusätzlich biometrische und physiologische Parameter erhoben. Nach einer Revision der Aufnahmen wird eine Interpretation bezüglich der Dynamik erfolgen können (HALBWACHS, 1994).

Bisher wurden die Auswirkungen von Immissionen auf Wälder überwiegend in Altbeständen untersucht. Aussagen über das Ausmaß der Beeinträchtigung von Kulturen und Jungbeständen konnten bislang nicht gemacht werden. Die Anlage und Auswertung der drei Versuchsflächen im Rahmen dieser Fallstudie ermöglicht nun auch eine Abschätzung, inwieweit Jungbestände von Immissionen beeinflußt werden.

2. Allgemeine Situation

2.1 Geschichte des Hüttenwerkes

Die Erzverarbeitung reicht im Raum Arnoldstein bis ins Mittelalter zurück; seit 1882 besteht dort ein kontinuierliche Verhüttung der Bleierze vom nahegelegenen Abbau in Bleiberg. Die Immissionsbelastung aus der Bleierzhütte wechselte je nach Produktionsumfang und -methoden.

Eine entscheidende Änderung trat 1951 durch die Inbetriebnahme der Zinkrösthütte ein, deren Röstgase mit einem SO₂-Gehalt von 6-8 % zur Schwefelsäureproduktion verwendet wurden; bei Störfällen mußten die Etagenöfen abgeschaltet werden und beim „Überdachfahren“ wurden extrem konzentrierte Abgase freigesetzt. Durch eine Rohrleitung von der Rösthütte zum 1924 errichteten Kamin sollten ab 1964 extreme Immissionsbelastungen im Nahbereich vermieden werden. Durch die Umstellung auf Wirbelschichtöfen konnten seit 1973 derartige Extrembelastungen emissionsseitig verhindert werden, da diese bei Störfällen abschaltbar sind. Die Bleistaubemissionen wurden durch einen Schlauchfiltereinbau 1968 wesentlich reduziert, es

verblieben aber noch staubförmige Emissionen aus dem Fabrikgelände selbst.

Ende 1986 wurde eine Entschwefelungsanlage in Betrieb genommen, die erst im Laufe der Zeit voll funktionsfähig wurde. Ab 1989 konnte damit die Schwefelbelastung um 90-95 % reduziert werden. Gleichzeitig wurde ein wirtschaftliches Sanierungskonzept für den Gesamtbetrieb erarbeitet, das 1992 zur Liquidierung der Bleiberger Bergwerksunion als wirtschaftliche Einheit und der Weiterführung von teilweise privatisierten Teilbetrieben führte. Die Zinkhütte wurde 1993/94 stillgelegt und die Bleihütte auf die Wiederverwertung von Akkusrott umgestellt. Wesentlich auf die Immissionsbelastung wirkte sich die Produktion von Handelsdünger im Zeitraum von 1961 bis 1980 aus, bei der aus Rohapatit durch Zusatz von Schwefelsäure Superphosphat erzeugt wurde. Durch die Superphosphatproduktion kam mit Fluor eine zusätzliche Belastung hinzu und führte durch synergistische Wirkung mit Schwefeldioxid damals zum flächigen Absterben der Waldbestände. Unklar ist, in welchem Ausmaß der äußerst strenge Winter 1962/63 durch Trockenschäden zur Situation beigetragen hat und ob die Borkenkäfervermehrung im Jahr 1963 als Folgewirkung oder als Auslöser zu betrachten ist (DONAUBAUER et al., 1965). Die gleiche Ursachenkette soll auch im Erzgebirge zum Absterben der Bestände dort geführt haben (DONAUBAUER, 1995).

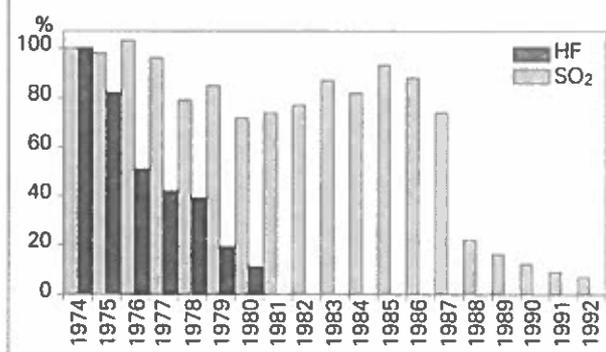
2.2 Charakterisierung der Belastungssituation im Versuchsgebiet

2.2.1 Emissionssituation

Die Emissionssituation von 1974 bis 1992 ist in Abbildung 1 in Relation zu 1974 dargestellt. Nach Werksangaben betrug die SO₂-Emission 1974 insgesamt 8500 Tonnen, davon stammten rund 4000 Tonnen aus der Zinkhütte und 3600 aus der Bleihütte, der Rest verteilte sich auf Schwefelsäurefabrik, Superphosphaterzeugung und allgemeine Energiegewinnung. Die Gesamtemission variierte aus Produktions- und Absatzgründen bis 1986 zwischen 6000 und 8000 Tonnen. Seit 1987 verringerte sie sich durch die Rauchgasentschwefelungsanlage von 6200 auf 563 Tonnen im Jahr 1992.

Die Fluoremissionen wurden nicht quantitativ erfaßt und konnten in der Abbildung nur in Relation zur Superphosphaterzeugung (46000 Tonnen im

Abb.1:
Darstellung der Entwicklung der Emissionssituation des Hüttenwerkes in Relation zum Jahr 1974 (8516 t Schwefeldioxid bzw. 45900 t Superphosphat = 100 %) nach Werksangaben und KASPEROWSKI (1993).



Jahr 1974 und 5000 Tonnen im Jahr 1980) dargestellt werden. Seit 1980 sollten nach Werksangaben keine Fluoremissionen mehr auftreten. Über die staubförmigen Emissionen liegen Informationen für den Zeitraum 1989 bis 1992 vor, demnach wurden jährlich rund 5000 kg Zink emittiert. Die Bleiemission reduzierte sich in diesem Zeitraum von 13000 kg Blei (1989) auf 9000 kg (KASPEROWSKI, 1993).

2.2.2 Immissionsmeßwerte

Die Immissionsituation ist stark durch die Orographie geprägt, der horizontale Emissionsaustausch wird nur abgeschwächt wirksam und der vertikale Austausch ist oft durch längeranhaltende Inversionslagen verhindert, deswegen können durch Akkumulation erhöhte Schadstoffkonzentrationen entstehen (VERGEINER und DREISEITL, 1982).

Aus den Emissionsangaben des Werkes sind daher keine direkten Schlüsse auf die Immissionsbelastung ableitbar; hinzu kommt noch, daß auch andere Emittenten der näheren Umgebung östlich des Werkes - aber auch aus dem Villacher Raum - auf Grund der Orographie zu den Immissionen im Bereich des Stoßauer Hügels beitragen. Luftmessungen der Schwefeldioxidkonzentration mit registrierenden Meßgeräten liegen im Gebiet von Arnoldstein von 11 Monaten für 1973 und 1974, sowie für einzelne Monate 1977 und 1978 vor (HAUK und RESCH, 1982).

Ab Mai 1985 wird an zwei Stationen bei Hohenthurn und bei der Waldsiedlung (siehe Abbildung 2 und 3) kontinuierlich gemessen (Meßberichte des Amtes der Kärntner Landesregierung). Die Station Hohenthurn, liegt etwa 700 m westlich von Fläche 703, also weiter vom Werk entfernt. Sie ist für den Versuch aussagekräftiger als die Station Waldsiedlung, die östlich des Werks im unmittel-

Abb.2:

Ergebnisse der Messungen der Schwefeldioxidbelastung an der Meßstelle Hohenthurn (westlich des Werkes), Monatsmittelwerte, maximale Tages- und Halbstundenmittelwerte, von 1973-1978 nach HAUK UND RESCH (1982), ab 1985 nach den Meßberichten des Amtes der Kärntner Landesregierung.

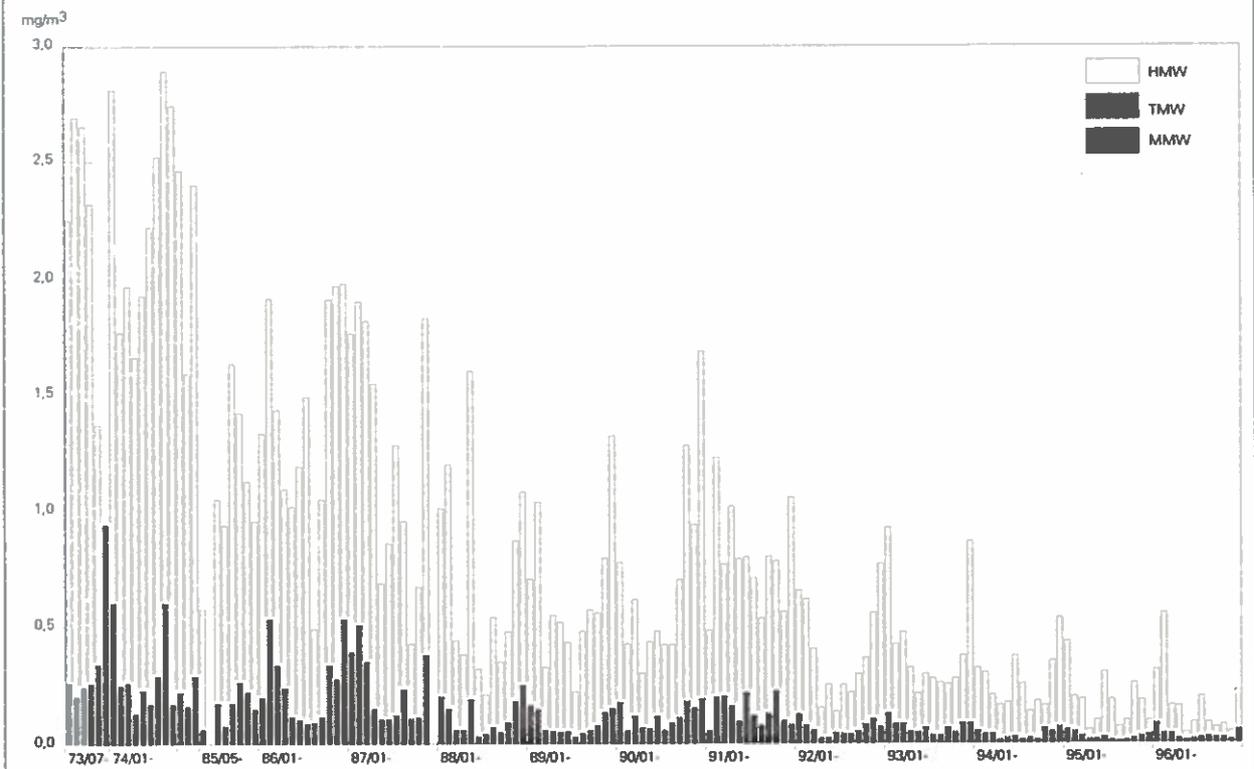
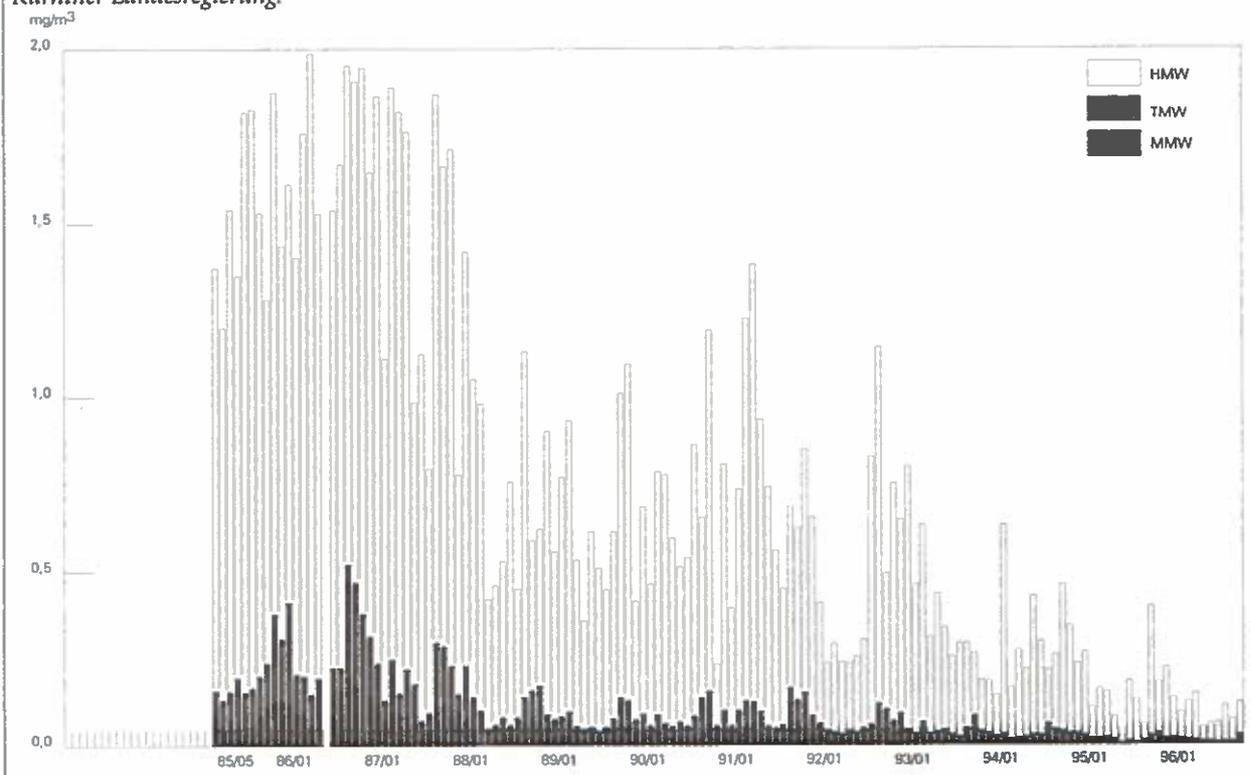


Abb.3:

Ergebnisse der Messungen der Schwefeldioxidbelastung an der Meßstelle Waldsiedlung (östlich des Werkes), Monatsmittelwerte, maximale Tages- und Halbstundenmittelwerte, ab 1985 nach den Meßberichten des Amtes der Kärntner Landesregierung.



baren Ortsgebiet von Arnoldstein liegt (Abb. 4). In den Abbildungen 2 und 3 sind die Monatsmittel, sowie die maximalen Tagesmittelwerte und Halbstundenmeßwerte aufgetragen. Wenn die Beobachtungsreihen unvollständig waren (wie im August 1986, November 1987, Jänner oder Mai 1988), wurde auf die Darstellung des Monatsmittelwertes verzichtet. Für einzelne Monate lagen keine Meßwerte vor (Juni 1985 und Dezember 1987).

Aus den Abbildungen sind bei beiden Stationen die deutlichen Jahresschwankungen mit maximalen Werten während des Winters zu erkennen. Die Werte von 1973 bis 1978, sowohl für die Monatsmittel wie auch die Halbstundenwerte, waren höher als ab 1985. Danach verändern sie sich bis zum Funktionieren der Entschwefelungsanlage im Laufe des Jahres 1987 nicht wesentlich. Ab 1988 ist eine Abnahme der Monatsmittel zu erkennen, die kurzfristigen Werte (Tagesmittel und Halbstundenmittelwert) haben sich jedoch nicht in gleicher Weise verringert. Die kurzzeitigen Immissionsspitzen konnten durch die Entschwefelungsanlage also nur teilweise verhindert werden. Die jahreszeitlichen Schwankungen wurden deutlich verringert und vor allem die winterlichen Werte gesenkt. Ab 1992 bewirkte wohl die allgemeine Betriebsumstellung bzw. Einstellung der Zinkverhüttung deutliche Belastungsrückgänge. Die in der 2. Verordnung zum Forstgesetz festgelegten forstlichen Grenzwerte wurden jedoch auch in den letzten Jahren jeweils an mehreren Tagen pro Monat überschritten.

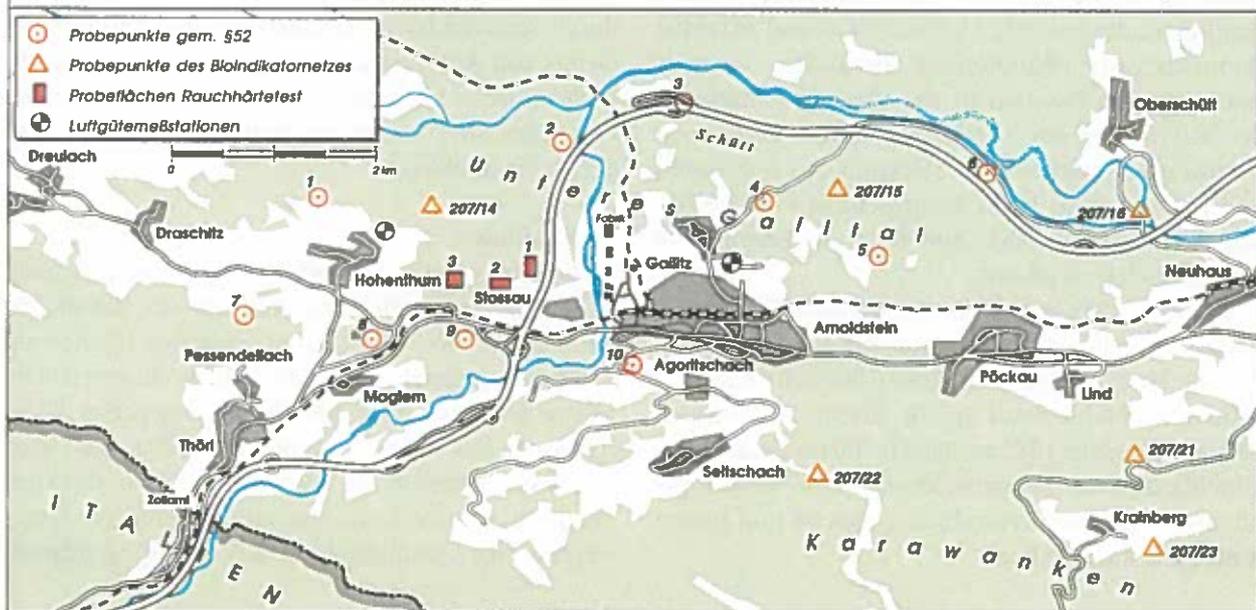
2.3 Lage der Versuchsflächen und Versuchsführung

Die drei Versuchsflächen (je 0,2 ha) liegen auf dem Moränenrücken des „Stoßauer Hügel“ westlich des Werks in rund 660 m Seehöhe, in Höhe des Rauchgasaustritts aus dem 100 m hohen Kamin. Die Entfernung beträgt 1050 m für Fläche 701, 1300 m für Fläche 702 und 1900 m für Fläche 703, jeweils zum Schlot gemessen (Abb. 4). Fläche 701 liegt auf dem zum Werk frei exponierten, leicht geneigten (15 %) ostexponierten Abhang des Stoßauer Hügels, vom Werk durch die Gailitz und den Autobahneinschnitt getrennt. Fläche 702 befindet sich in ebener Lage, weiter vom Werk entfernt als 701 und zusätzlich noch durch eine landwirtschaftliche Fläche und einige verbliebene Altbuchen getrennt, in der Nähe der offensichtlich resistenteren „R-Fichte“ (POLLANSCHÜTZ, 1983). Diese beiden Versuchsflächen wurden auf der 1961/62 entstandenen Rauchblöße angelegt. Fläche 703 auf einem leicht geneigten (15 %) südexponierten Mittelhang, wurde auf einer Wiese angelegt und ist an drei Seiten von Fichtenbeständen umgeben, Richtung Osten schließt eine unbewirtschaftete Wiese an. Auf allen drei Flächen herrscht Braunerde vor, die auf 701 etwas weniger bindig ist, die Gründigkeit ist überall mehr als 120 cm.

Im Frühjahr 1972 wurden die Flächen gezäunt und die Nachkommen von 19 Mutterbäumen aus dem Gebiet von Ranshofen getrennt zu je 40 Stück auf 100 m² als 4jährig verschulte Pflanzen (Saat 1968) in

Abb.4:

Lage der drei Versuchsflächen im Raum Arnoldstein, der zwei Luftmeßstationen, der Bioindikatorpunkte 207/14 und 207/15 sowie der vier Nadelanalysenpunkte im Rahmen der § 52 Untersuchung.



einem Rechteckverband von 2 x 1,25 m als Winkelpflanzung gesetzt. Da nicht die gesamte Fläche ausgenutzt wurde, kamen zwischen 740 und 750 Fichten je Fläche zur Ausbringung. 1973 wurde mit dem gleichen Pflanzenmaterial nachgebessert. Auf Fläche 701 wurden etwa 12 %, auf Fläche 702 etwa 25 % und auf Fläche 703 20 % der Ausgangszahl nachgebessert. Dieser hohe Nachbesserungsbedarf ist nur zum Teil auf Immissionseinwirkungen zurückzuführen. Auf 703 jedoch war er überwiegend durch Mäusefraß bedingt und ging dort nach einer Behandlung mit „Endrex“ vollkommen zurück. Auch der starke Gras- und Farnwuchs hat die Ausfälle mitverursacht; das Aussicheln wurde auf 701 noch bis 1987 weitergeführt. Die 1973 nachgebesserten Pflanzen wurden mit einer Startdüngung von jeweils 70-80 g Vollkorn Spezial versehen, auf Fläche 701 und 702 zusätzlich mit 100-120 g Kalk, über die Düngerrezepturen gibt es keine Informationen in den Versuchsunterlagen.

Im Frühjahr 1976 wurden in den drei Flächen insgesamt 240 Pfropfungen als Ballenpflanzen gesetzt, mit einer Startdüngung mit Vollkorn Rot versehen und der Boden mit Agromax behandelt. Die aus dem direkten Immissionsschadgebiet von Arnoldstein stammenden Pfropfreiser wurden von 1969 bis 1973 gewonnen, die gepfropften Pflanzen waren also zum Zeitpunkt des Aussetzens zwischen 4 und 8 Jahre alt. Es wurden 12 Klone vermehrt. Die mit „AG“ (für Arnoldstein-Gailitz) bezeichneten Klone sind Sekundärpfropfungen von Altbäumen. Die mit „M“ (für Mariabrunn) bezeichneten Klone hingegen wurden von Jungfichten gewonnen, die von Arnoldstein nach Wien verpflanzt wurden. Der Klon AG1 wurde von der „R-Fichte“ selbst gewonnen, die anderen 11 (AG2-AG6 und M1-M6) stammen von phänotypisch besonders resistent erscheinenden Bäumen in der näheren Umgebung der R-Fichte. Zum Vergleich wurden 1976 auch Kernwüchse verschiedener Herkunft aus Ranshofen und Zeltweg (Saat 1972) ausgesetzt. Auf Fläche 701 und 702 wurden 1976 außerdem insgesamt 188 Schwarzkiefern gepflanzt.

Zwischen 1981 und 1986 wurden auf 701 und 702 weitere 19 Baumarten verschiedener in- und ausländischer Herkunft gesetzt (siehe Übersicht dazu im Anhang); anschließend an die Fläche 702 wurden dazu im Frühjahr 1982 zusätzlich 700 m² eingezäunt. Die Pflanzen wurden teilweise als Ballen- bzw. Topfpflanzen aber auch wurzelnackt versetzt und hatten unterschiedliches Alter.

Im Herbst 1983 wurde auf Fläche 703 bei einer durchschnittlichen Baumhöhe von 4,5 m eine Stammzahlreduktion durchgeführt, bei der die Ausgangsstammzahl von rund 4000 Pflanzen pro Hektar auf etwa 2000 reduziert wurde (Abb. 16). Die erste Auslesedurchforstung fand 1991 im Alter 24 bei einer Oberhöhe von 13 m statt, es wurde etwa 50 % der Stammzahl entnommen, wodurch 1050 Stämme verblieben. Auf Fläche 702 wurde 1993 die Stammzahl auf 1755 pro Hektar reduziert. Die Markierung der Brusthöhe und Numerierung aller Bäume wurde auf Fläche 703 im Jahr 1991 vorgenommen. Auf 702 wurde dies im Jahr 1995 durchgeführt. Vereinzelt auf 702 vorkommende Fichten, Weißkiefern, Lärchen, Buche und Eichen, die aus Naturverjüngung stammen und möglicherweise etwas älter sind, wurden mitaufgenommen. Für diese beiden Fläche wurde auch ein idealisierter Baumverteilungsplan auf Basis des Pflanzverbandes angefertigt und die Entnahmen darin dokumentiert.

3. Ziele und Methoden

3.1 Fragestellungen im Laufe der Zeit

Erste Phase:

Prüfung ob sich die Nachkommen verschiedener Fichten aus dem Gebiet von Ranshofen/OÖ hinsichtlich der Mortalität, der Dichte und Farbe der Benadelung und des Wachstums unterscheiden. Im Jahr 1972 wurden dazu Herkünfte aus dem Fluorimmissionsgebiet von Ranshofen in das sowohl durch Schwefeldioxid wie auch durch Fluor belastete Gebiet von Arnoldstein gesetzt. Das Ziel war, festzustellen welche Halbgeschwisterfamilien immissionsresistenter sind und diese dann für Aufforstungen gezielt einzusetzen.

Zweite Phase:

Nach den extremen Ausfällen zu Versuchsbeginn wurde die Aufforstung mit Fichten aus Ranshofen auf den zwei dem Werk näher gelegenen Flächen als gescheitert angesehen. Ab 1976 wurde dann versucht relativ resistente und klimatisch angepaßte Fichtenklone aus dem Schadgebiet selbst auf ihre Immissionsresistenz zu überprüfen. Zum direkten Vergleich wurden auch aus Samen gezogene Kernwüchse (von Arnoldstein und Zeltweg) gepflanzt,

gleichzeitig wurden auch Schwarzkiefern in die Untersuchung miteinbezogen.

Dritte Phase:

Nachdem der Einsatz von Pflöpfungen wenig erfolgsversprechende Resultate zeigte, wurden ab 1980 zusätzlich verschiedene in- und ausländische Baumarten ausgepflanzt und in ihrer weiteren Entwicklung beobachtet, um eventuell besonders geeignete, d.h. immissionsresistente, zu finden. Es wurden Arten ausgewählt, die gemäß Literaturangaben oder eigenen Beobachtungen vergleichsweise resistent erschienen. 1983 und 1986 wurden nochmals Pflöpfungen ausgepflanzt, wobei das gleiche genetische Material wie 1976 verwendet wurde.

Vierte Phase:

Durch die wesentliche Verringerung der Emission ab 1987 konsolidierten sich die Verhältnisse, sodaß keine bedeutende Mortalität mehr auftrat. Auf 703 und 702 wurden Eingriffe zur Wuchsraumgestaltung notwendig: Eine Stammzahlreduktion wurde auf 703 im Herbst 1983 und auf 702 im Herbst 1993 durchgeführt. Die erste Auslesedurchforstung erfolgte auf 703 im Herbst 1991. Die periodische Erfassung des Zustandes einzelner Individuen wurde auf diesen beiden Flächen seither zugunsten einer flächenbezogenen Erfassung der Wuchsleistung beendet. Seit 1988 werden auf 703 und seit 1992 auch auf 702 zusätzlich zur Höhe die BHDs gemessen, wodurch die Ableitung der Massenleistung möglich ist. Aus der mittlerweile langfristig dokumentierten Belastung des Gebiets und den erhobenen Parametern sollten sich Erkenntnisse über die möglichen Variationsbreiten und Einblicke in die Ursachen-Wirkungsbeziehungen ergeben. Weiters kann geprüft werden, ob sich aus der verschiedenen Entfernung zum Werk ein Belastungsgradient ergibt, mit welchen Parametern dieser am deutlichsten zu belegen ist und inwieweit aus der unterschiedlichen Entfernung auch Unterschiede in der Wuchsleistung resultieren.

Fünfte Phase:

Nach Beendigung des Projektes „Waldwachstumskundlicher Rauchhärteest“ im Jahr 1996 sollen alle drei Flächen als ertragskundliche Dauerbeobachtungsflächen weitergeführt werden, um Informationen über die Entwicklung von unterschiedlich stark immissionsbeeinflussten Flächen nach Wegfall oder zumindest deutlicher Reduktion des Schadein-

flusses zu erhalten. Insbesondere erscheint interessant zu sein, wie lange sich Wuchsleistungsunterschiede feststellen lassen. Es kann auch wertvolles Grundlagenmaterial für weitere Fragestellungen erwartet werden, da hier seit der Pflanzung zu jedem Einzelbaum Informationen über die Standraumgestaltung und Zuwachsleistung vorliegen. Weiters ergibt sich daraus erstmals die Möglichkeit, nicht nur das Wachstum unter räumlich unterschiedlicher Belastung zu untersuchen, sondern auch zu überprüfen, inwieweit sich die Maßnahmen der Emissionsreduktion sowohl in Hinblick auf die Immissionsbelastung, als auch auf die bodenkundlichen Befunde und auf die Entwicklung der Pflanzen auswirken.

3.2 Methoden der Erfassung der Pflanzenentwicklung

Zur Beurteilung der Pflanzenentwicklung wurden folgende Parameter herangezogen:

- Mortalität
- Benadelungszustand
- Höhenwachstum
- Volumenzuwachs

Die *Mortalität* als entscheidendstes Merkmal ist eindeutig und frei von Abgrenzungsunsicherheiten erhebbar. Zu Versuchsbeginn entstanden in einigen Fällen Schwierigkeiten daraus, daß im Herbst vollkommen entnadelt und dementsprechend als tot klassifizierte Fichten im folgenden Frühjahr wieder austrieben. Diese Fehleinstufungen konnten später durch genauere Beurteilung der Knospen vermieden werden. Die beobachtete Mortalität ist nicht ausschließlich auf die Einwirkungen der Immissionen zurückzuführen, es müssen auch andere exogene Faktoren wie Trockenheit, Schnee und Frost, Konkurrenz durch Gras und Farn sowie Schäden durch Mäusefraß dabei berücksichtigt werden.

Der *Benadelungszustand* wurde sowohl anhand der Dichte (und Länge) der Nadeln, als auch eventueller Verfärbungserscheinungen (Nekrosen) beurteilt. Der Aufnahmeschlüssel wurde im Laufe der Zeit geändert, bzw. auch für andere Nadelbaumarten adaptiert. Ab 1980 wurde die Benadelung nach 5 Stufen erfaßt und die Beurteilung erfolgte ab diesem Zeitpunkt zur besseren Vergleichbarkeit durch dieselbe Person.

Die Beurteilung erfolgte an den obersten 5-6 Quirl, die Stufen wurden folgendermaßen definiert:

- 1... keine Nadelverluste, keine Verfärbungen oder Nekrosen, normale Länge der Nadeln
- 2... Nadelverlust von 1-2 Nadeljahrgängen, nur sehr geringe Nekrosen
- 3... Nadelverlust von bis zu 3 Nadeljahrgängen, häufig (Spitzen-)nekrosen, Nadellänge verringert
- 4... Nadelverlust von 3-4 Nadeljahrgängen (d.h. nur mehr 1-2 verblieben), eventuell vorhandene ältere Nadeljahrgänge braun verfärbt, stets mit Verfärbung und Nekrosen kombiniert, Nadellänge stark reduziert
- 5... darunter wurden Pflanzen mit fehlendem/abgestorbenem oberem Kronenteil (Wipfeldürre) ohne Rücksicht auf den Benadelungszustand der Restkrone zusammengefaßt.

Insgesamt wurden 38 Aufnahmen durchgeführt, sie erfolgten von 1972 bis 1979 bis zu dreimal pro Jahr zu unterschiedlichen Zeitpunkten, zwischen 1980 und 1985 zweimal pro Jahr im April/Mai und Oktober, ab 1987 nur mehr im Oktober. Der Aufnahmeumfang variierte von Aufnahme zu Aufnahme. Normalerweise wurde für jede Pflanze die Mortalität und der Benadelungszustand erhoben, die Höhe wurde nicht immer gemessen. Da auf Fläche 703 ab 1984 der entscheidende obere Kronenbereich nicht mehr einsehbar war, wurde die Benadelungserhebung eingestellt. Es waren ab dann keine wesentlichen Informationen zu dieser Fragestellung mehr zu erwarten. Aus denselben Gründen wurde diese Erhebung im Jahr 1990 auch auf Fläche 702 eingestellt.

Die Höhenmessung erfolgte mit einem Maßstab bzw. einer Teleskopmeßstange zu Versuchsbeginn unregelmäßig, von 1980 bis 1991 fast jedes Jahr an jeder Pflanze auf Dezimeter genau. Bei einzelnen Aufnahmetermen erfolgte eine Messung der Triebblängen zur Ableitung nicht gemessener Höhen.

Nachdem auf Fläche 703 und danach auch auf 702 mit der BHD-Messung begonnen wurde, ist die Massenberechnung und somit die Ermittlung der *Volumenzuwachstleistung* möglich. Die Höhenmessung wurde in den letzten Jahren nur mehr an einem systematisch ausgewählten Teilkollektiv vorgenommen. Auf 703 erfolgte die Höhenmessung erst wieder 1994 (Clinometer) und 1996 (Vertexmeßgerät) an einem Teilkollektiv. Auch auf 702 erfolgten Messungen erst wieder 1994 (Meßstange) und 1996 (Vertex). Mit Ausnahme der Stammzahl-

reduktion im Jahr 1983 auf 703 wurde an allen Aushiebsstämmen die Länge gemessen.

3.3 Methoden der Erfassung der Nadelgehalte

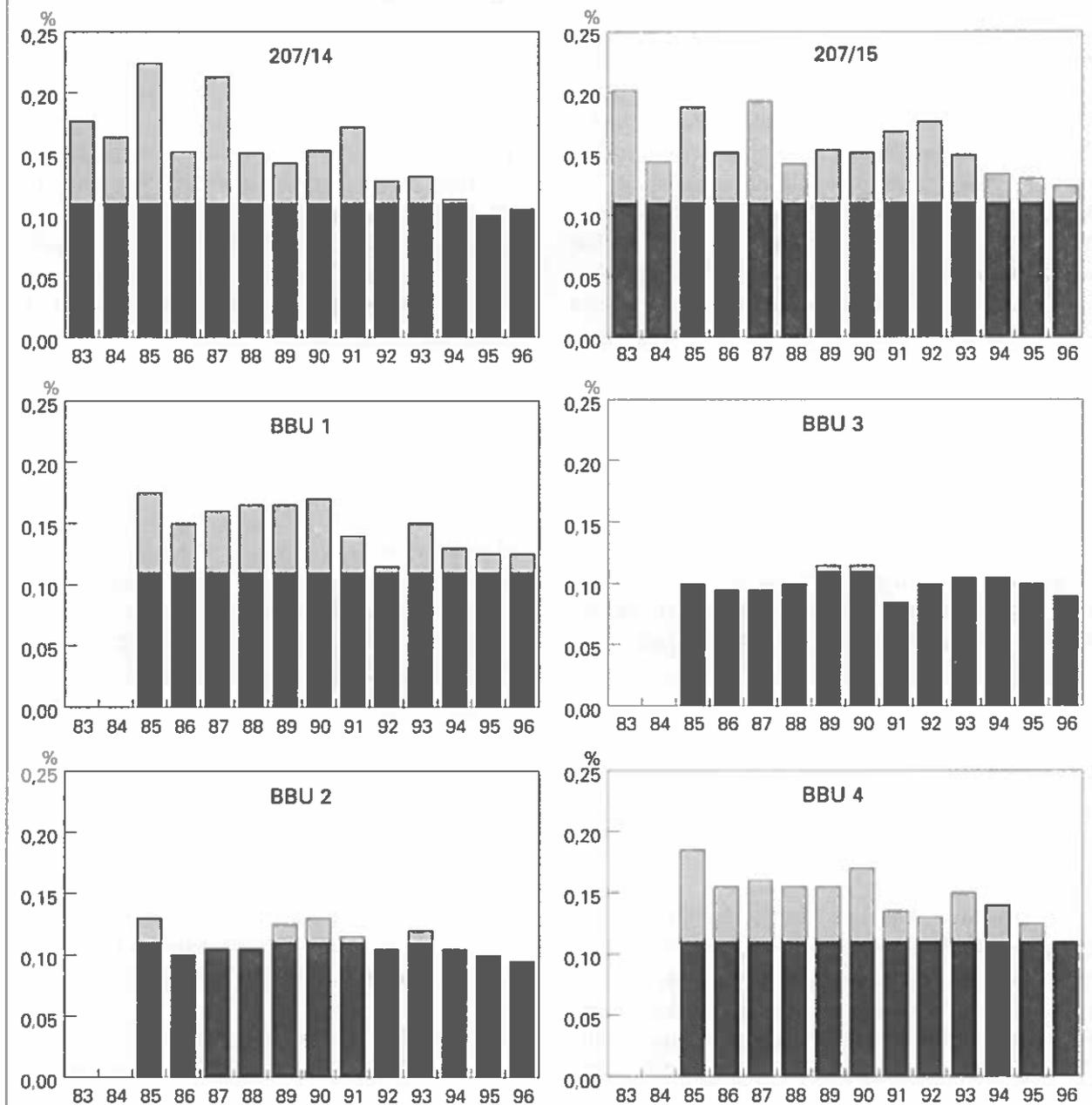
Nadelanalysen wurden 1963 und 1965 an einigen Punkten im engeren Bereich des Schadgebietes durchgeführt (DONAUBAUER et al., 1965). Im Zuge des bereits erwähnten interdisziplinären „CARINTHIA-Projektes“ wurden in den Jahren 1976/77/78 Nadelanalysen von 55 Punkten von Einzelbäumen aus dem gesamten Gebiet zwischen Feistritz und dem Faaker See gewonnen (STEFAN, 1982), nur zwei Punkte davon lagen in unmittelbarer Umgebung der Flächen. Von dem seit 1983 bestehenden Bioindikatornetz sind zwei Punkte für das Immissionsgebiet von Arnoldstein relevant (siehe Abb. 4), davon liegt jedoch nur einer (207/14) in unmittelbarer Nähe der Versuchsflächen.

Im Rahmen von Untersuchungen gemäß §52 des Forstgesetzes 1975 werden seit 1985 jährlich Nadelanalysen an 10 Punkten im Gebiet von Arnoldstein durchgeführt. Vier Punkte (BBU1 bis BBU4) davon wurden ausgewählt und die Ergebnisse in Abbildung 5, gemeinsam mit den zwei Bioindikatorpunkten dargestellt.

1986 wurde mit der Nadelprobengewinnung von den Pflanzen der Versuchsflächen begonnen; dabei wurden von jeweils drei markierten Fichten je Versuchsfläche Nadelproben getrennt nach erstem und zweitem Nadeljahrgang gewonnen. Auf Fläche 702 mußte 1988 ein neuer Baum als Ersatz gewählt werden. Die Proben wurden auf den Schwefel- und Fluorgehalt, sowie auf Hauptnährstoffe und teilweise auch auf den Gehalt von Blei und Cadmium als Leitsubstanzen für die Schwermetallbelastung untersucht. Analysen auf den Gehalt der Nadeln an Blei und Cadmium wurden zwischen 1986 und 1995 fünfmal mit der gleichen Methode, wie bei HERMAN (1994) beschrieben, durchgeführt. Die Proben wurden vor der Analyse nicht gewaschen.

Die Analysemethoden der früheren Untersuchungen (4.1.1) unterschieden sich speziell in Hinblick auf die Bestimmung der Schwefelgehalte von den Verfahren seit 1983. Die Ergebnisse können aber durch Anwendung des jeweils entsprechenden Grenzwertes vergleichend bewertet werden. Der Fluorgehalt wird ordnungskonform in mg % (=mg/100 g) angegeben, die Werte sind mit dem Faktor 10 zu multiplizieren um die üblichere Maßeinheit von µg/g zu erhalten.

Abb.5: Schwefelgehalte vom 1. Nadeljahrgang der zwei BIN-Punkte des Raumes Arnoldstein von 1983 bis 1996, sowie die vier Punkte der §52 Untersuchung von 1985 bis 1996 (Mittelwert von jeweils zwei Bäumen).



3.4 Methoden der Erfassung der Bodengehalte

Die ersten Bodenanalysedaten stammen aus dem Jahr 1972. Damals wurde die Nährstoffversorgung auf den Flächen bestimmt, um den Düngemittelbedarf beurteilen zu können. Im Rahmen des CARINTHIA-Projektes wurden erstmals Analysen auch hinsichtlich des Schwermetallgehalte durchgeführt, allerdings nicht auf den Flächen selbst.

Erst 1984 wurden an jeweils zwei Stellen auf den Flächen Bodenproben gewonnen und hinsichtlich

der Nährstoff- und Schwermetallgehalte analysiert und allgemeine bodenchemische Parameter bestimmt. Die Probennahme erfolgte in Profilgruben nach genetischen Horizonten, wobei der Auflagehumus, der humose A-Horizont und zwei Tiefenstufen des B-Horizonts unterschieden wurden. Im Jahr 1989 und 1995 wurden die Probenahmen mit gleicher Entnahmemethode und Horizontierung wie 1984 wiederholt. Zusätzlich wurden Proben nahe bei 701 in Richtung zum Werk und in der Nähe von 703 aber noch weiter zum Werk

entfernt gewonnen. Mit diesen ergänzenden Proben sollte ein eventuell vorhandener Gradient besser erkannt werden, sie sind mit 701/b bzw. 703/b bezeichnet. Für die Proben 1989 und 1995 erfolgten die chemischen Analysen mit den gleichen Methoden wie bei der Waldbodenzustandsinventur (BLUM et al., 1986), die Schwermetallgehalte wurden also nach Säureaufschluß bestimmt. Schwerpunktmäßig werden hier die Schwermetallgehalte im Boden und die Schwefelgehalte im Auflagehumus (nur für 1989 und 1995 verfügbar) betrachtet. Die jeweils zwei Proben je Fläche geben zwar gewisse Einblicke in die Streuverhältnisse, können jedoch für die Einzelfläche keinen zuverlässigen Mittelwert ergeben, daher wird auf dessen Darstellung verzichtet. Die kleinräumige Variabilität des Standortes kann dadurch leider nicht erfaßt werden.

Bisher wurden in etwa fünfjährigen Abständen dreimal auf den Flächen Analysen der Schwermetallgehalte durchgeführt. Eine direkte Vergleichbarkeit ist auf Grund der Inhomogenität nicht möglich (vgl. MAJER, 1988), dennoch erscheint es sinnvoll, diese auch in Zukunft zu wiederholen, um Informationen über die Bodendynamik in diesem Raum zu erhalten.

4. Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Nadelanalysen

4.1.1 Ergebnisse früherer Untersuchungen

Die ersten Proben der Jahre 1963, 1965 und 1968 erbrachten Maximalwerte von 0,24 % bis 0,30 % Schwefel (Sulfatschwefelgehalt) im ersten Nadeljahrgang und bis zu 0,42 % im zweiten Nadeljahrgang. Die Fluorgehalte betragen zwischen 4,8 und 7,3 mg % Fluor im ersten Nadeljahrgang. Diese wenigen Proben aus dem Zentrum des Schadgebietes wiesen auf extreme Belastung sowohl durch Schwefel (Grenzwert um das Dreifache überschritten) als auch durch Fluor (Grenzwert um das Achtfache überschritten) hin.

Die zwei bzw. drei Proben der Jahre 1976 bis 1978 wiesen in allen drei Jahren Grenzwertüberschreitungen um das ein- bis zweifache bei Schwefel und bis zum Dreifachen bei Fluor auf. Die Verringerung im Vergleich zu den Proben der sechziger Jahre kann nicht ausschließlich in einer Belastungsminderung (vgl. die aus Abb. 1 ersichtliche Verminderung der Fluoremission) begründet werden, sondern ist auch

dadurch bedingt, daß diese Proben in größerer Entfernung zum Werk gewonnen wurden.

Dies gilt in noch stärkerem Maße für die Werte aus dem Bioindikatornetz, wo die Punkte 207/14 und 207/15 jeweils rund zwei Kilometer Abstand zum Werk haben; durch die Berechnung des Mittelwertes von je zwei Bäumen werden die Maxima zusätzlich verringert. Trotzdem wird der Grenzwert auch bei den Bioindikatorpunkten für den Schwefelgehalt überschritten; nur in den letzten beiden Jahren 1995 und 1996 wird er auf Punkt 207/14 eingehalten (Abb. 5). Gewisse Tendenzen zur Abnahme sind beim nächstgelegenen Punkt 207/14 westlich des Werkes erkennbar, schwächer nur bei 207/15, und bei drei Punkten im Rahmen der §52 Untersuchung (BBU 1, 2 und 4).

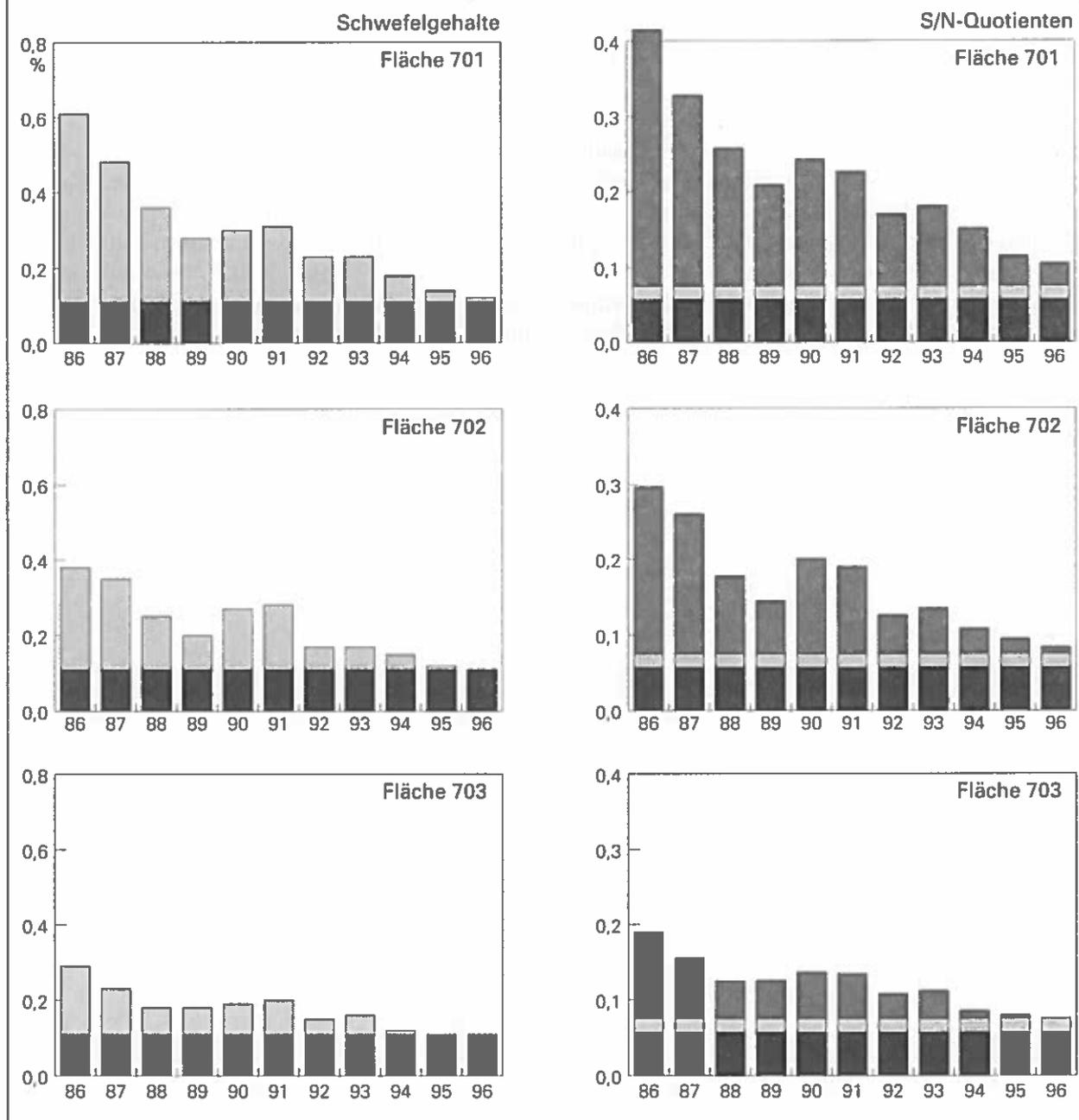
4.1.2 Ergebnisse auf den Versuchsflächen

Die auf den Flächen entnommenen Nadelproben stammen von den 1972/73 gesetzten Fichtenpflanzen und sind wegen des geringeren Alters nicht uneingeschränkt mit den Werten von Altbäumen aus anderen Untersuchungen vergleichbar, bzw. sind bei der Wertung der Ergebnisse die Grenzwerte nicht in gleicher Weise anwendbar. Stefan (1983) findet bei immissionsbelasteten Fichten nur geringe Unterschiede zwischen Jung- und Altbäumen, in immissionsfreien Gebieten hingegen muß damit gerechnet werden, daß Jungfichten höhere Schwefelgehalte aufweisen. Da auf den Versuchsflächen freie Zuwegungsmöglichkeiten gegeben sind und keine Abschirmungseffekte auftreten, können die gefundenen Werte doch mit den übrigen Untersuchungen verglichen werden bzw. die gesetzlichen Grenzwerte zur Beurteilung herangezogen werden.

4.1.2.1 Schwefel- und Fluorgehalte

In Abbildung 6 sind die Schwefelgehalte vom ersten Nadeljahrgang in Relation zum Grenzwert von 0,11 % als Mittelwerte von je drei Pflanzen je Versuchsfläche dargestellt (siehe auch Tab. 1). Auf allen drei Flächen wird der Grenzwert in allen Jahren zu Beginn bei allen Pflanzen, später zumindest bei einer überschritten, teilweise auch um ein Vielfaches. Die Mittelwerte je Fläche verringern sich über die beobachteten 11 Jahre von 1986 bis 1996 fast kontinuierlich, sodaß in den letzten Jahren der Grenzwert gerade erreicht wird. Zwischen den Flächen bestehen in allen Jahren eindeutige Unterschiede, worin sich der Belastungsgradient klar ausdrückt. Noch deutlicher wird dies anhand des S/N-Quotienten, der sich nur auf 703 im Jahr 1996 dem optimalen Bereich

Abb.6:
Schwefelgehalte (links) und die S/N-Verhältnisse (rechts) auf den drei Versuchsflächen von 1986 bis 1996
(Mittelwert von jeweils drei Bäumen).



annähert und ansonsten das Überwiegen des Schwefels belegt. Bemerkenswert ist, daß der Fluorgehalt noch im Jahr 1987 auf 701 und 702 deutlich überhöht war (bis zu 1,3 mg% im 1.NJ und bis zu 2,0 mg% im 2.NJ), auch 1988 traten geringfügigere Grenzwertüberschreitungen auf 701 auf. Dieser Befund ist deshalb überraschend, da laut Werksangabe seit 1980 kein Fluor mehr emittiert wurde und eine Fluoraufnahme über den Boden bisher nicht bekannt ist (vgl. GARBER, 1967; DÄSSLER, 1969).

4.1.2.2 Schwermetallgehalte

Im Jahr 1986 betrug die Bleigehalte im 1. Nadeljahrgang der einzelnen Probebäume zwischen 63 und 44 ppm auf Fläche 701, zwischen 47 und nur 3 ppm auf Fläche 702 und zwischen 16 und 18 ppm auf 703. Die Mittelwerte je Fläche sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Bei Cadmium wurden Gehalte von bis zu 9 ppm festgestellt.

Die vorläufig letzten Analysen für 1995 ergaben für Blei Gehalte zwischen 23 und 35 ppm auf 701,

zwischen 5 und 10 ppm auf 702 und zwischen 5 und 6 ppm auf Fläche 703. Die Cadmiumgehalte waren mit Werten zwischen 1,2 und 2,3 ppm weniger differenziert. Eine eindeutige Abnahme ist nur im Vergleich zur ersten Analyse 1986, als das Werk im Vollbetrieb stand, festzustellen, danach ist keine klare Tendenz erkennbar (Abb. 7).

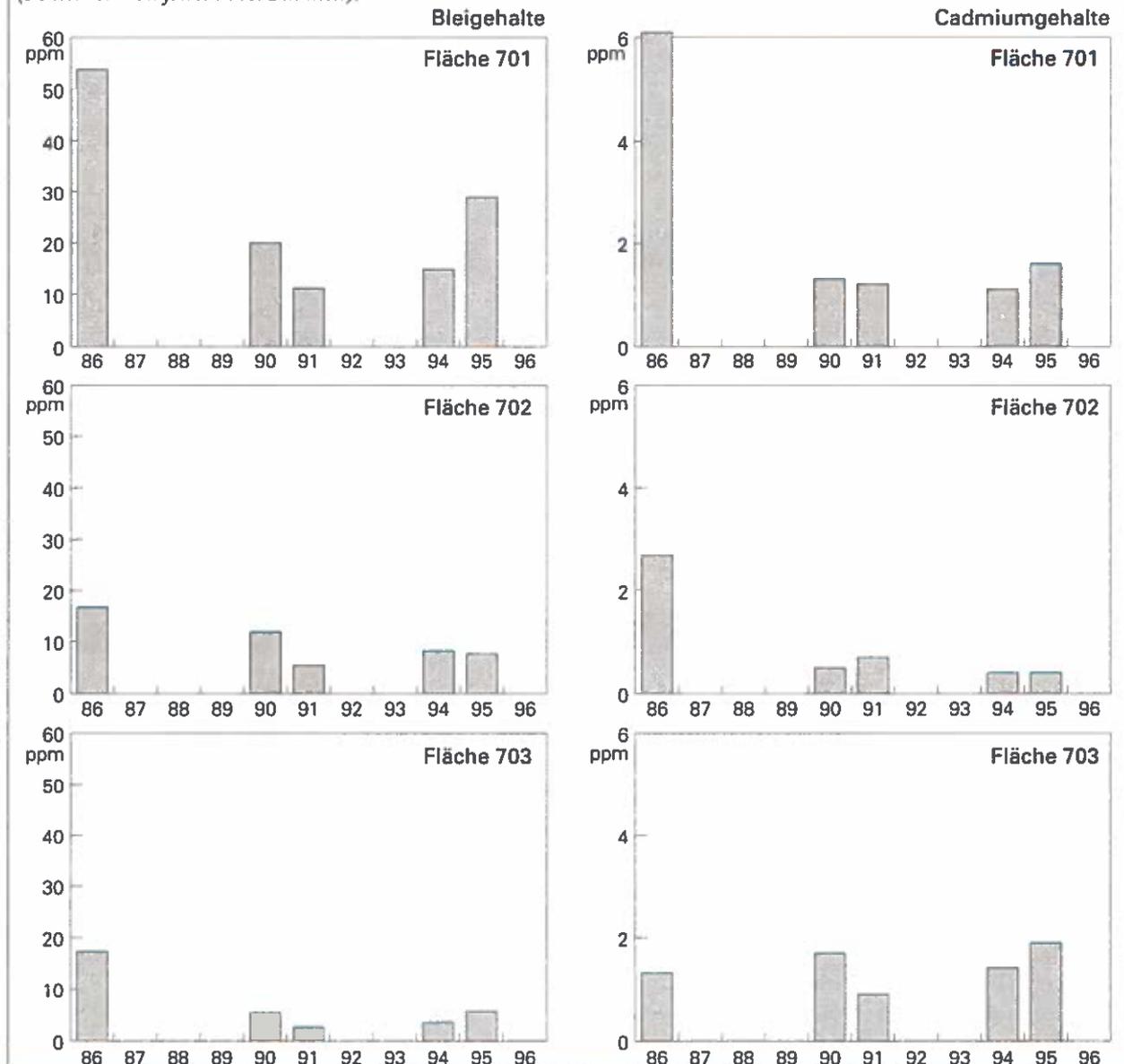
Für diese beiden Schwermetalle existieren keine gesetzlichen Grenzwerte. Im Vergleich mit Angaben in der Literatur (HERMAN, 1994) sind die hier gefundenen Werte teilweise extrem hoch und überschreiten die Werte für Ballungsgebiete von 1,7 ppm für Blei um ein Vielfaches. Ähnliche Werte zwischen 42 und 72 ppm findet GLATZEL (1985) für Fichtennadeln von Gefäßpflanzen auf Substrat aus der Umge-

bung des Montanwerkes in Brixlegg/Tirol. Auch der Richtwert von 0,6 ppm für Cadmium (HURRE, 1981) wird auf Fläche 701 zu allen Zeitpunkten und auf den beiden anderen Flächen oftmals überschritten. Lediglich auf Fläche 702 werden ab 1990 die Richtwerte für Cadmium etwa eingehalten.

4.1.2.3 Nährelementgehalte

Zur Beurteilung der Ernährungssituation wurden die Gehalte von Stickstoff, Phosphor, Kalium, Calcium und Magnesium jeweils im 1. Nadeljahrgang bestimmt. Über die einzelnen Jahre hinweg haben sich die Nährstoffgehalte nur unbedeutend verändert und auch zwischen den Flächen sind nur unwesentliche Unterschiede zu erkennen. Die Werte

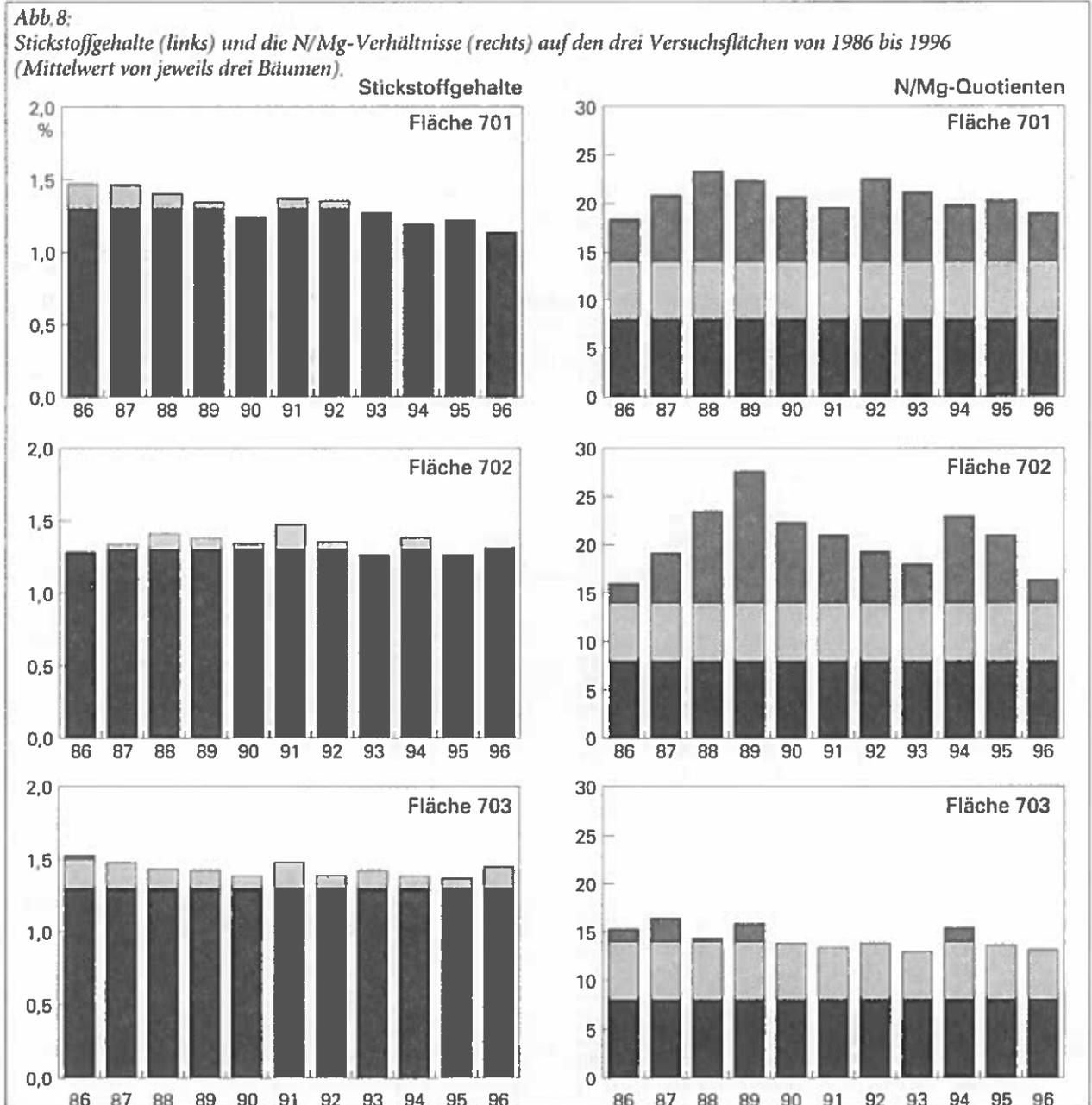
Abb. 7: Bleigehalte (links) und Cadmiumgehalte (rechts) auf den drei Versuchsflächen in einzelnen Jahren zwischen 1986 und 1995 (Mittelwert von jeweils drei Bäumen).



im einzelnen sind in Tab. 1 zusammengestellt und in den Abbildungen 8 bis 12 in Relation zu den Grenzwerten von GUSSONE (1984) dargestellt.

Der Magnesiummangel auf Fläche 701 und 702 ist sehr deutlich ausgeprägt, mittlere Gehalte der drei Bäume von mehr als 0,08 % werden nie erreicht. Die Stickstoffversorgung ist mit Werten unter 1,5 % auf allen Flächen als nicht ausreichend zu bewerten. Ebenso ist der Calciumgehalt teilweise nicht ausreichend, einzig Fläche 703 ist ausreichend versorgt. Die Calciumversorgung verschlechterte sich auf Fläche 701 im Laufe der Jahre. Der Kaliumgehalt ist überall ausreichend, teilweise sogar sehr hoch mit Werten über 1 %. Die Versorgung mit Phosphor ist auf allen drei Flächen als ausreichend zu bewerten.

Die Elementgehalte von altersmäßig vergleichbaren Fichten in Deutschland lagen bei Calcium und Magnesium deutlich geringer (WEBER und HUBER, 1988). HÖHNE und NEBE (1964) haben darauf hingewiesen, daß die Nährelementgehalte in Nadeln jüngerer Bäume höher sind, dementsprechend wäre die Mangelsituation noch bedeutender einzuschätzen. Für Phosphor ist diese Altersabhängigkeit nicht gegeben, so daß die Versorgung ausreichend erscheint. Die Harmonie der Nährstoffversorgung wird durch Nährstoffquotienten treffender erfaßt als durch Konzentrationsangaben. Am wesentlichsten sind die Quotienten von Stickstoff zu Magnesium, Phosphor und Kalium, sowie Kalium zu Calcium und Magnesium. Den Angaben für harmonische



Bereiche von Stefan (1989) folgend liegen auf 703 von diesen fünf berechneten Quotienten drei im harmonischen Bereich, auf 702 hingegen zwei und auf 701 nur einer (siehe rechte Seite von Abb. 8-12). Die Nährstoffbalancen erscheinen demzufolge auf Fläche 701 am ehesten gestört zu sein.

4.1.2.4 Wachsqualität der Fichtennadeln

Nadelprobenmaterial der Beerntung 1994 und 1995 wurden dem Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt und mit dem dort entwickelten Verfahren bewertet (TRIMBACHER et al., 1995). Die Untersuchungen an den Proben von 1994 ergaben leichte bis mittelstarke Beeinträchtigungen der Wachstrukturen und Staubverunreinigungen (TRIMBACHER, 1996). Aufgefundene Gipskristalle auf Proben von 701 wurden mit einer Säurebelastung in Verbindung gebracht. Im Vergleich dazu war die Wachsqualität des 1. Nadeljahrganges 1995 weitgehend intakt und

entspricht somit den Ergebnissen von unbeeinflussten Hintergrundstandorten.

4.2 Ergebnisse der Bodenanalysen

4.2.1 Ergebnisse früherer Untersuchungen

Anlässlich der Flächenanlage wurde auf allen drei Flächen eine Bodenanalyse hinsichtlich der Nährstoffvorräte durchgeführt, um eventuellen Düngungsbedarf zu erkennen (vgl. 2.3). Vor allem auf Fläche 701 wurde Mangel an Phosphor, Kalium und Magnesium festgestellt. Auffällig war auch die weitgehende Entkalkung auf Fläche 701 und 702. Eine Bestimmung der Schwermetallgehalte in diesen Proben erfolgte nicht.

Im Rahmen der bodenkundlichen Analysen des Jahres 1978 im Zuge des CARINTHIA-Projektes (KILIAN, 1982) wurden im gesamten Gebiet sehr

Tabelle 1:

Elementgehalt in der Trockensubstanz der 1jährigen Nadeln (Mittelwerte von je drei Bäumen je Fläche, Fläche 701 im Jahr 1995 nur 2 Bäume, Mangelwerte kursiv) und 100 Nadelgewicht.

		N	P	K	Ca	Mg	S	F	Pb	Cd	Gewicht
		in Prozent der Trockensubstanz							mg%	ppm	ppm
1	86	1.47	0.27	1.54	0.54	0.08	0.61	—	53.9	6.1	0.25
	87	1.46	0.28	1.36	0.51	<i>0.07</i>	0.48	1.0	—	—	
	88	1.40	0.25	1.23	0.56	<i>0.06</i>	0.36	0.8	—	—	
	89	1.34	0.24	1.27	0.40	<i>0.06</i>	0.28	0.5	—	—	
	90	<i>1.24</i>	0.24	1.11	0.33	<i>0.06</i>	0.30	—	20.1	1.3	
	91	1.37	0.22	1.05	0.41	<i>0.07</i>	0.31	—	11.2	1.2	
	92	1.35	0.25	1.09	0.34	<i>0.06</i>	0.23	—	—	—	
	93	<i>1.27</i>	0.27	1.04	0.32	<i>0.06</i>	0.23	—	—	—	
	94	<i>1.19</i>	0.24	0.96	0.27	<i>0.06</i>	0.18	—	15.0	1.1	
	95	<i>1.22</i>	0.22	0.98	0.28	<i>0.06</i>	0.14	—	29.0	1.6	
	96	<i>1.14</i>	0.21	0.86	0.24	<i>0.06</i>	0.12	—	—	—	0.35
2	86	<i>1.28</i>	0.17	1.31	0.38	0.08	0.38	—	16.8	2.7	0.43
	87	1.34	0.19	1.39	0.32	<i>0.07</i>	0.35	0.6	—	—	
	88	1.41	0.18	1.20	0.32	<i>0.06</i>	0.25	0.5	—	—	
	89	1.38	0.18	1.31	0.27	<i>0.05</i>	0.20	0.4	—	—	
	90	1.34	0.16	1.19	0.22	<i>0.06</i>	0.27	—	11.9	0.5	
	91	1.47	0.19	1.17	0.28	<i>0.07</i>	0.28	—	5.5	0.7	
	92	1.35	0.15	0.98	0.31	<i>0.07</i>	0.17	—	—	—	
	93	<i>1.26</i>	0.18	0.99	0.31	<i>0.07</i>	0.17	—	—	—	
	94	1.38	0.15	0.89	0.31	<i>0.06</i>	0.15	—	8.2	0.4	
	95	<i>1.26</i>	0.15	0.90	0.31	<i>0.06</i>	0.12	—	7.7	0.4	
	96	1.31	0.17	0.95	0.33	0.08	0.11	—	—	—	0.38
3	86	1.53	0.20	1.10	0.80	0.10	0.29	—	17.3	1.3	0.56
	87	1.48	0.23	1.03	0.66	0.09	0.23	0.4	—	—	
	88	1.44	0.21	1.10	0.77	0.10	0.18	0.3	—	—	
	89	1.43	0.23	1.16	0.63	0.09	0.18	0.3	—	—	
	90	1.39	0.19	0.99	0.75	0.10	0.19	—	5.4	1.7	
	91	1.48	0.23	1.06	0.67	0.11	0.20	—	2.6	0.9	
	92	1.39	0.17	0.87	0.75	0.10	0.15	—	—	—	
	93	1.43	0.22	0.91	1.01	0.11	0.16	—	—	—	
	94	1.39	0.20	0.87	0.75	0.09	0.12	—	3.6	1.4	
	95	1.37	0.20	0.90	0.79	0.10	0.11	—	5.7	1.9	
	96	1.45	0.21	1.01	0.74	0.11	0.11	—	—	—	0.46

hohe Konzentrationen von Blei und Zink, aber auch von Kupfer gefunden. In Werksnähe (etwa bei der „R-Fichte“ in der Nähe von Fläche 702) wurde mit EDTA-Auszug über 10000 µg/g Blei in der Auflage festgestellt, für Zink mit Säureaufschluß rund 3000 µg/g und für Kupfer 360 µg/g.

4.2.2 Ergebnisse auf den Versuchsflächen

4.2.2.1 Probenahme im Jahr 1984

1984 wurden auf den Flächen jeweils an zwei Stellen Bodenproben gewonnen. Die Trennung erfolgte dabei in Auflagehumus, in den humosen A-Horizont und in zwei Tiefenstufen des B-Horizonts. Im A-Horizont von 701 und 702 betragen die in KCl-

Suspension gemessenen pH-Werte zwischen 3,4 und 3,7, auf 703 hingegen von 4,9 bis 5,5 (Abb. 15). Die Basensättigung wurde nicht bestimmt. Die Schwermetallgehalte wurden nach Säureaufschluß analysiert, sie sind in den nachfolgenden Tabellen für je zwei Proben dargestellt. Die Berechnung eines Mittelwertes erschien bei der teilweise sehr großen Spreitung nicht sinnvoll.

Tabelle 2:
Schwermetallgehalte 1984 in der Auflage (in µg/g).

	Blei	Zink	Kupfer
701	12000/15000	1500/1800	600/800
702	5000/9000	1700/6000	600/650
703	1200/6000	600/1100	70/170

Abb.9:
Phosphorgehalte (links) und die N/P-Verhältnisse (rechts) auf den drei Versuchsflächen von 1986 bis 1996 (Mittelwert von jeweils drei Bäumen).

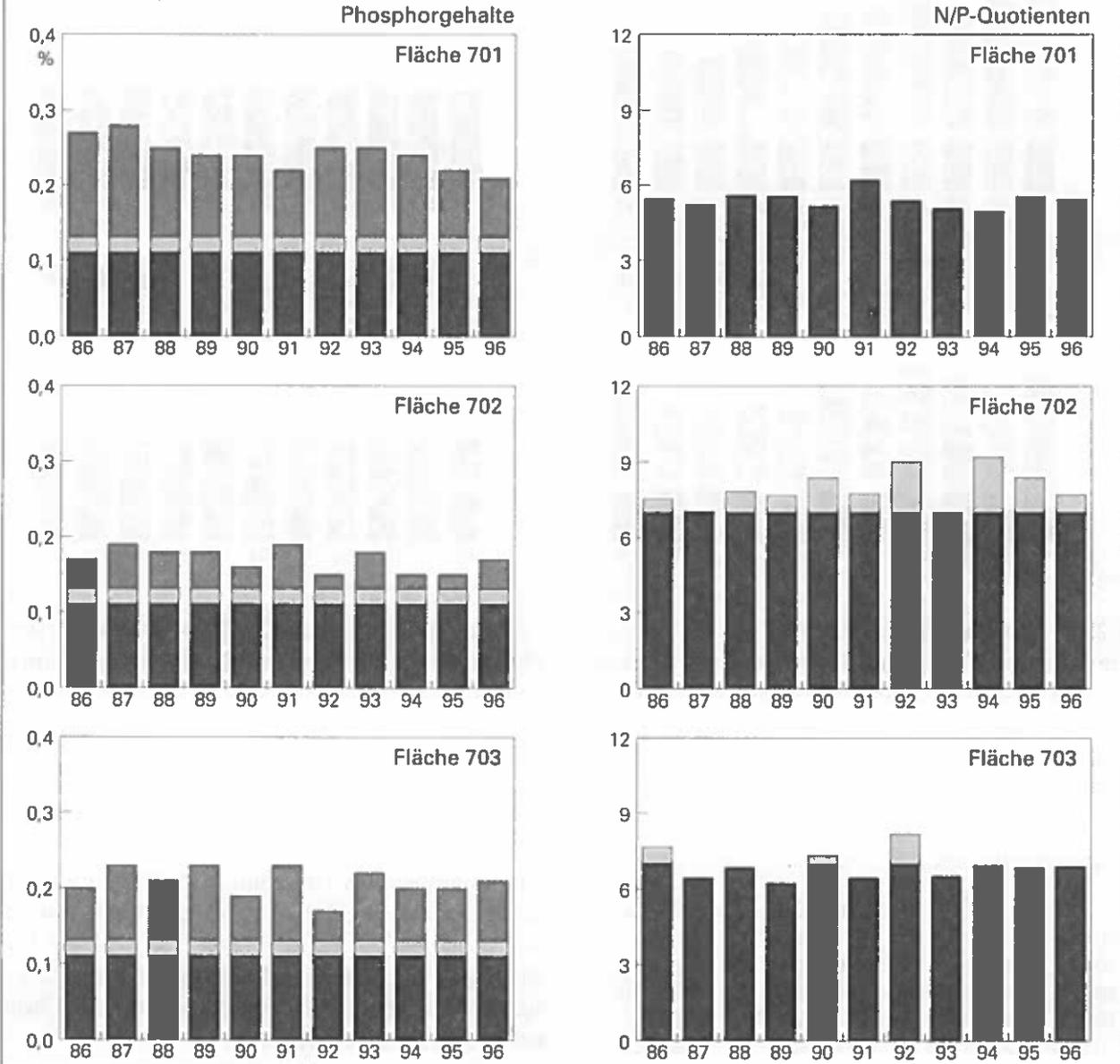
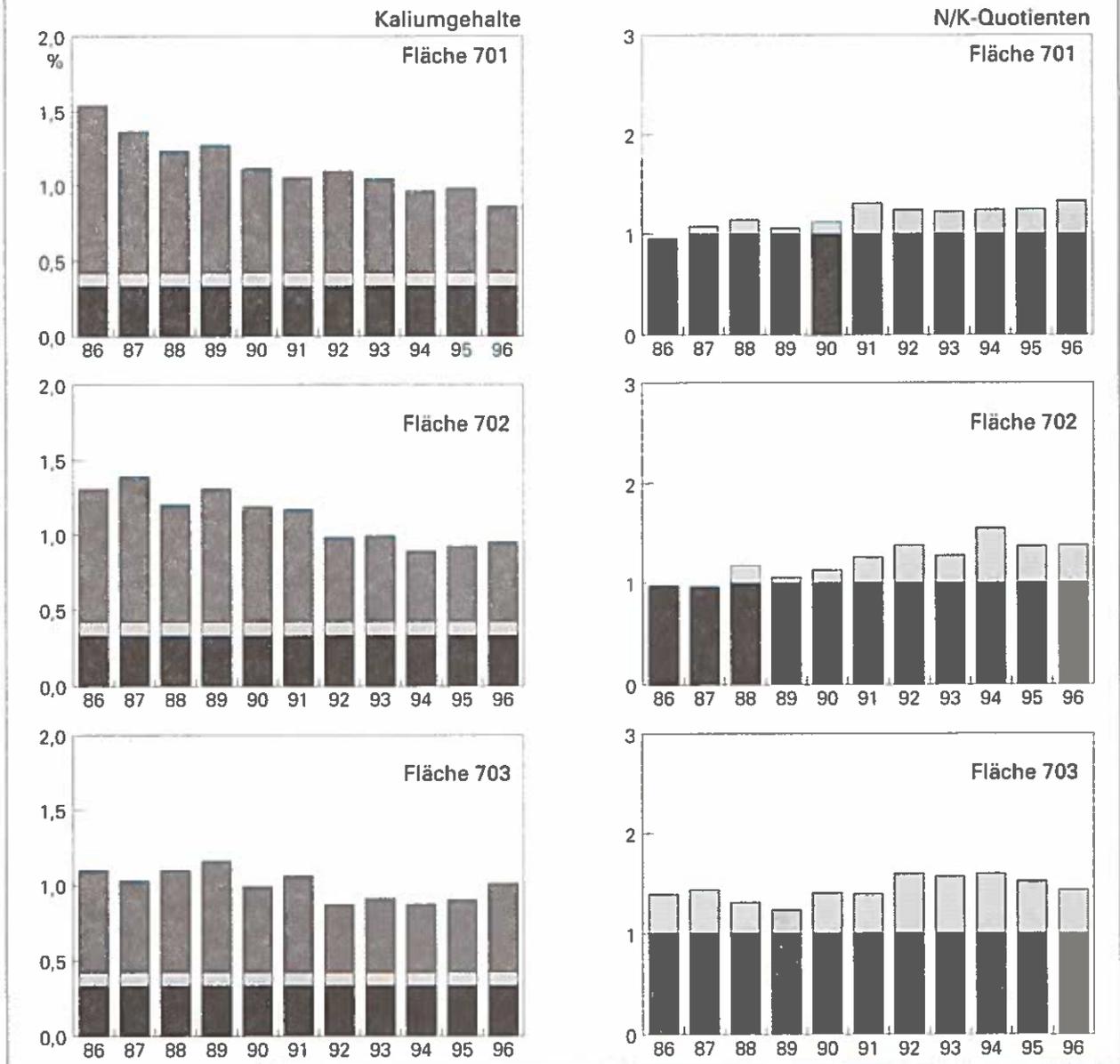


Abb. 10: Kaliumgehalte (links) und die N/K-Verhältnisse auf den drei Versuchsflächen von 1986 bis 1996 (Mittelwert von jeweils drei Bäumen).



4.2.2.2 Probenahme im Jahr 1989

Im humosen A-Horizont von 701 und 702 betragen die in CaCl_2 gemessenen pH-Werte von 3,2 bis 3,4, auf 703 hingegen von 4,8 bis 5,0. Die Basensättigung beträgt auf 701 um 5 %, auf 702 variiert sie zwischen 7 und 32 % und liegt auf 703 bei 99 %.

Tabelle 3:
Schwermetallgehalte 1989 in der Auflage (in $\mu\text{g/g}$).

	Blei	Zink	Kupfer
701/b	5900	4400	900
701	8900/5600	2100/2500	900/1200
702	1800/3000	2200/2300	600/650
703	850/950	470/520	45/60
703/b	2000/2100	700/800	100/180

Auf dem Zusatzpunkt 701/b konnte 1989 und 1995 nur an einer Stelle Auflagehumus gewonnen werden.

4.2.2.3 Probenahme im Jahr 1995

Im Jahr 1995 wurden die Probenahmen mit gleicher Horizontierung und gleichem Analyseverfahren wie 1989 wiederholt.

Im humosen A-Horizont von 701 und 702 betragen die in CaCl_2 gemessenen pH-Werte von 3,1 bis 3,6, auf 703 hingegen von 5,0 bis 6,0. Die Basensättigung beträgt auf 701 zwischen 8 und 14 %, auf 702 variiert sie zwischen 11 und 34 % und liegt auf 703 bei 95-99 % (Abb. 15).

Abb.11: Calciumgehalte (links) und das K/Ca Verhältnis (rechts) auf den drei Versuchsflächen von 1986 bis 1996 (Mittelwert von jeweils drei Bäumen).

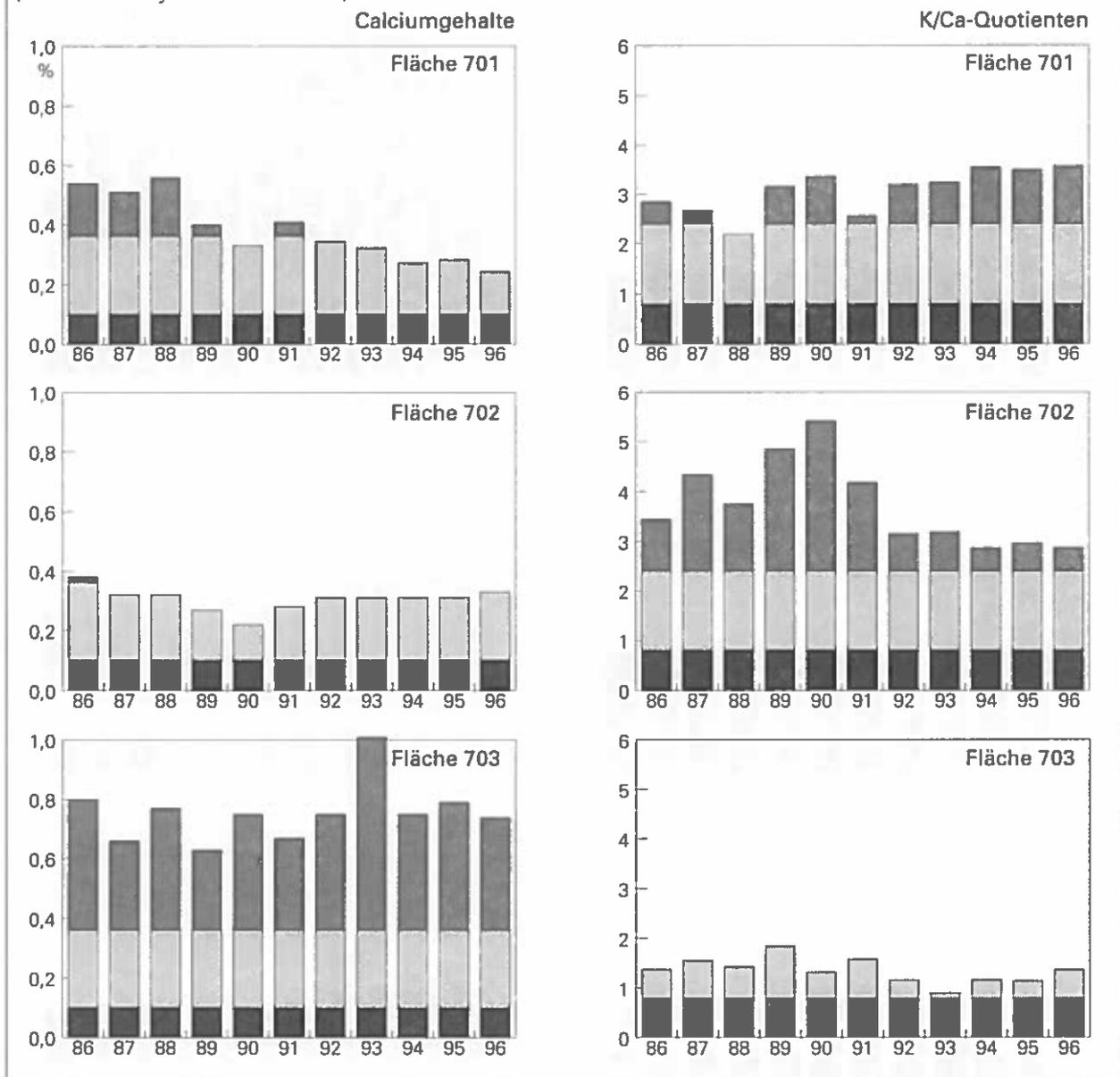


Tabelle 4: Schwermetallgehalte 1995 in der Auflage (in µg/g).

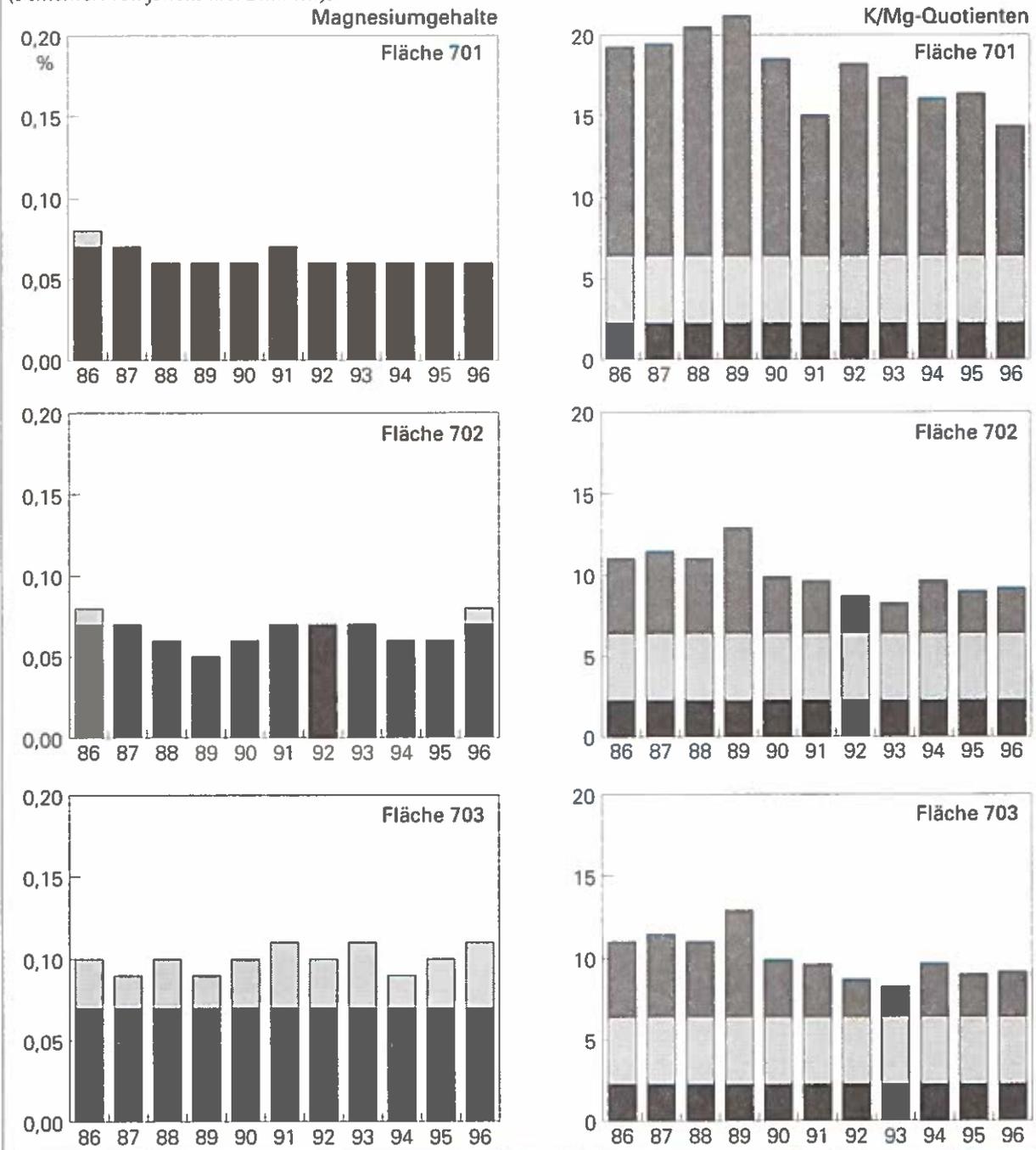
	Blei	Zink	Kupfer
701/b	11400	2900	750
701	10200/14900	2300/2500	1000/1150
702	2900/3800	2200/2900	100/400
703	1200/1300	1400/1500	35/40
703/b	2300/2300	800/1000	60/140

Der Bleigehalt ist bei allen Proben in allen Jahren als deutlich überhöht zu bewerten. Die Maximalwerte der im Rahmen des Waldschaden-Beobachtungssystems durchgeführten Waldbodenzustandsinventur (MUTSCH, 1992b) betragen in allen Horizonten weniger als ein Drittel der in Fläche 703 gefundenen,

im Vergleich zu 701 und 702 liegen sie sogar um den Faktor 10-20 tiefer. GLATZEL (1985) findet im Auflagenhumus aus der Umgebung des Montanwerkes Brixlegg/Tirol nur Bleigehalte zwischen 1200 und 5000 µg/g, die Rückrechnung auf die Originalwerte erfolgte wie angegeben durch Multiplikation mit 1,33. Bleigehalte bis 2500 µg/g wurden im A-Horizont von Proben aus unmittelbarer Nähe (bis zu 300 m entfernt) einer Ni-Cd Akkumulatorenfabrik in Schweden gefunden (EKLUND, 1995).

Auch die Gehalte an Zink und Kupfer (mit Ausnahme von Fläche 703) sind, wenn auch beide Elemente für Pflanzen essentielle Spurenelemente sind, ganz eindeutig überhöht; Werte über 500 µg/g

Abb. 12: Magnesiumgehalte (links) und die K/Mg Verhältnisse (rechts) auf den drei Versuchsf lächen von 1986 bis 1996 (Mittelwert von jeweils drei Bäumen).

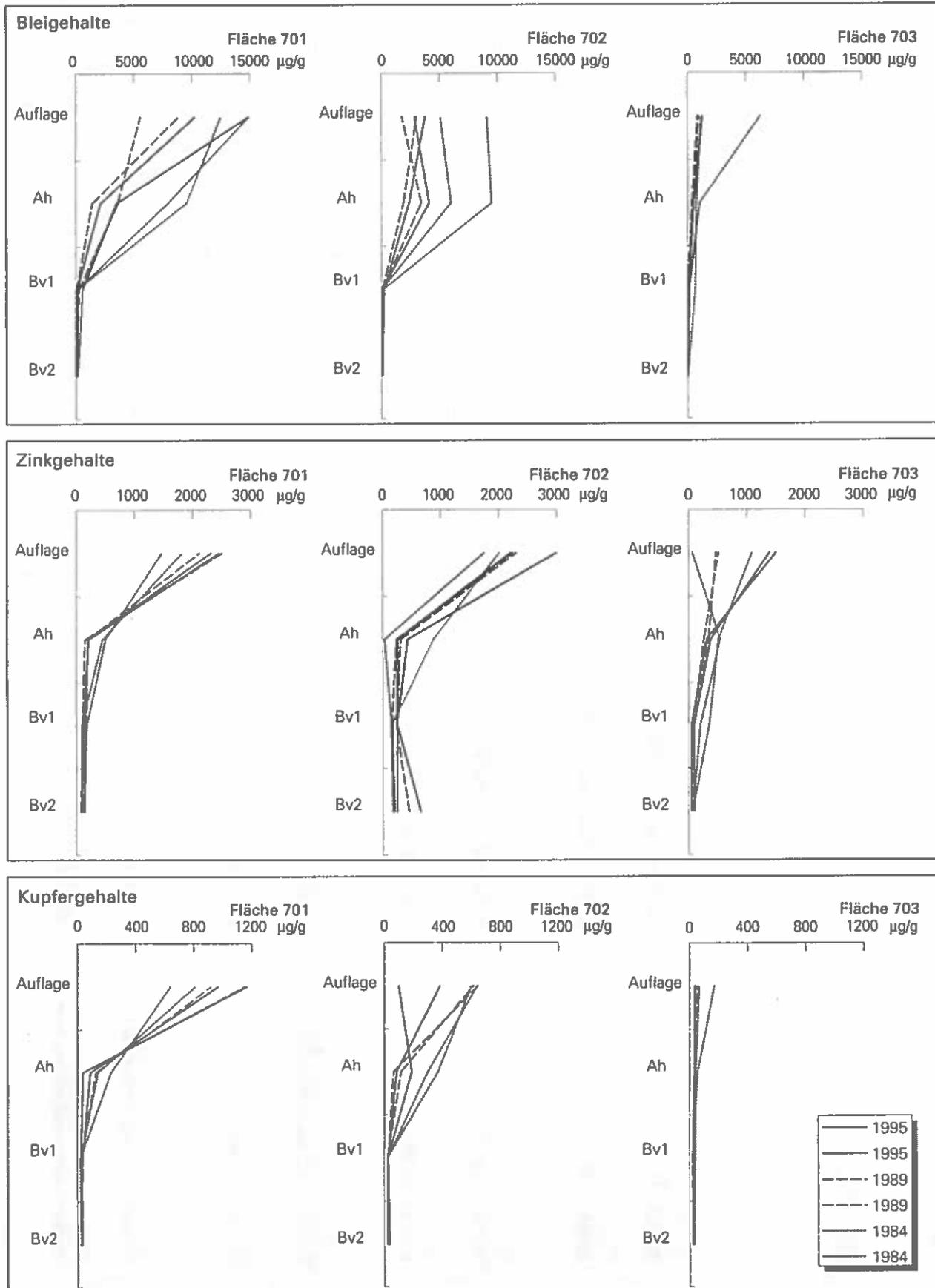


können ohne jeden Zweifel nicht als natürlich angesehen werden. Verglichen mit den Maximalwerten aus der Waldbodenzustandsinventur liegen die in Arnoldstein gefundenen Werte weit darüber. Im Auflagenhumus aus der Umgebung von Brixlegg/Tirol findet GLATZEL (1985) rückgerechnete Zinkgehalte zwischen 1600 und 7700 $\mu\text{g/g}$ bzw. Kupfergehalte zwischen 3300 und 19500 $\mu\text{g/g}$. In Brixlegg sind die Gehalte an Blei geringer, hingegen die Kupfergehalte deutlich höher als in Arnoldstein, was

mit der Produktion im Einklang steht. Auf eine direkte vergleichende Wertung hinsichtlich einer zeitlichen Veränderung zwischen den drei Aufnahmetermi nen soll wegen der kleinräumlichen Inhomogenität verzichtet werden. Die vertikale Verteilung, mit höchsten Werten in der Auflage und einer sehr deutlichen Abnahme gegen den Unterboden, weist auf einen Eintrag von außen hin (Abb. 13).

1989 und 1995 wurden die Gehalte an Schwefel in der Auflage analysiert. Für 1989 liegen sie zwischen

Abb.13:
Vertikale Verteilung von Kupfer, Blei und Zink in den Böden der drei Flächen gemäß den drei Probenahmen.



0,66 % auf Fläche 701 und 0,14 % auf 703. Für 1995 liegen sie zwischen 0,60 % auf Fläche 701 und 0,23 % auf 703. Deutlicher als die Absolutgehalte nimmt das Verhältnis von Kohlenstoff zu Schwefel von rund 50 (701 und 701/b) auf 80-90 zu (702) und steigt bis auf 140-166 (703 bzw. 703/b). Zwischen den beiden Aufnahmen ist eine Zunahme des Quotienten festzustellen, besonders deutlich ist sie auf Fläche 702 (von 80-90 auf 140-150). Durch den C/S-Quotienten wird einerseits der räumliche Belastungsgradient sehr deutlich bestätigt und andererseits ergeben sich Hinweise auf eine zeitliche Veränderung, dh. auf eine Schwefelabnahme, in Abbildung 14. Der Median für Lockersedimentbraunerden (Mutsch, 1992a) liegt im Vergleich dazu bei 195. Die Basensättigung beträgt auf Fläche 701 weniger als 10 %, auf Fläche 702 zwischen 10-30 % und auf 703 über 90 %. Von 1989 auf 1995 ist eine leichte Zunahme der Basensättigung festzustellen (Abb. 15).

Das pflanzenverfügbare Calcium und Magnesium ist auf Fläche 701 sehr gering und erreicht auf 702 und 703 etwa normale Werte. Die Stickstoff- und Kaliumgehalte sind zwar gering, entsprechen jedoch durchaus

dem österreichischen Durchschnitt. Die Phosphorgehalte sind überall als ausreichend anzusehen.

Die deutlich geringere der Basensättigung und die Unterschiede bei Calcium- und Magnesiumgehalten legen die Vermutung nahe, daß durch den langfristigen Säureeintrag im Gebiet von Fläche 701 eine Entbasung stattgefunden hat, da diese Unterschiede durch die allgemein standörtliche Situation sonst nicht erklärbar wären, auch wenn auf dieser Fläche eine Tendenz zur Verhagerung besteht.

4.3 Untersuchungen des Anwuchsverhaltens von Fichtensamen

Die hohen Schwermetallgehalte im Oberboden legten die Vermutung nahe, daß in werksnahen Bereichen die Naturverjüngung durch Keimhemmnis verhindert werden könnte. Das Fehlen von Naturverjüngung und der offensichtlich stark verzögerte Streuabbau verstärkten diesen Verdacht.

Zur Klärung dieser Frage wurden 1986 in ihrer Struktur ungestörte Bodenproben von etwa

Abb.14:

Schwefelgehalte in der Auflage aus den drei Versuchsflächen und von zwei Zusatzpunkten für die Probenahme 1989 und 1995 (oben) und Kohlenstoff-Schwefelverhältnisse (unten).

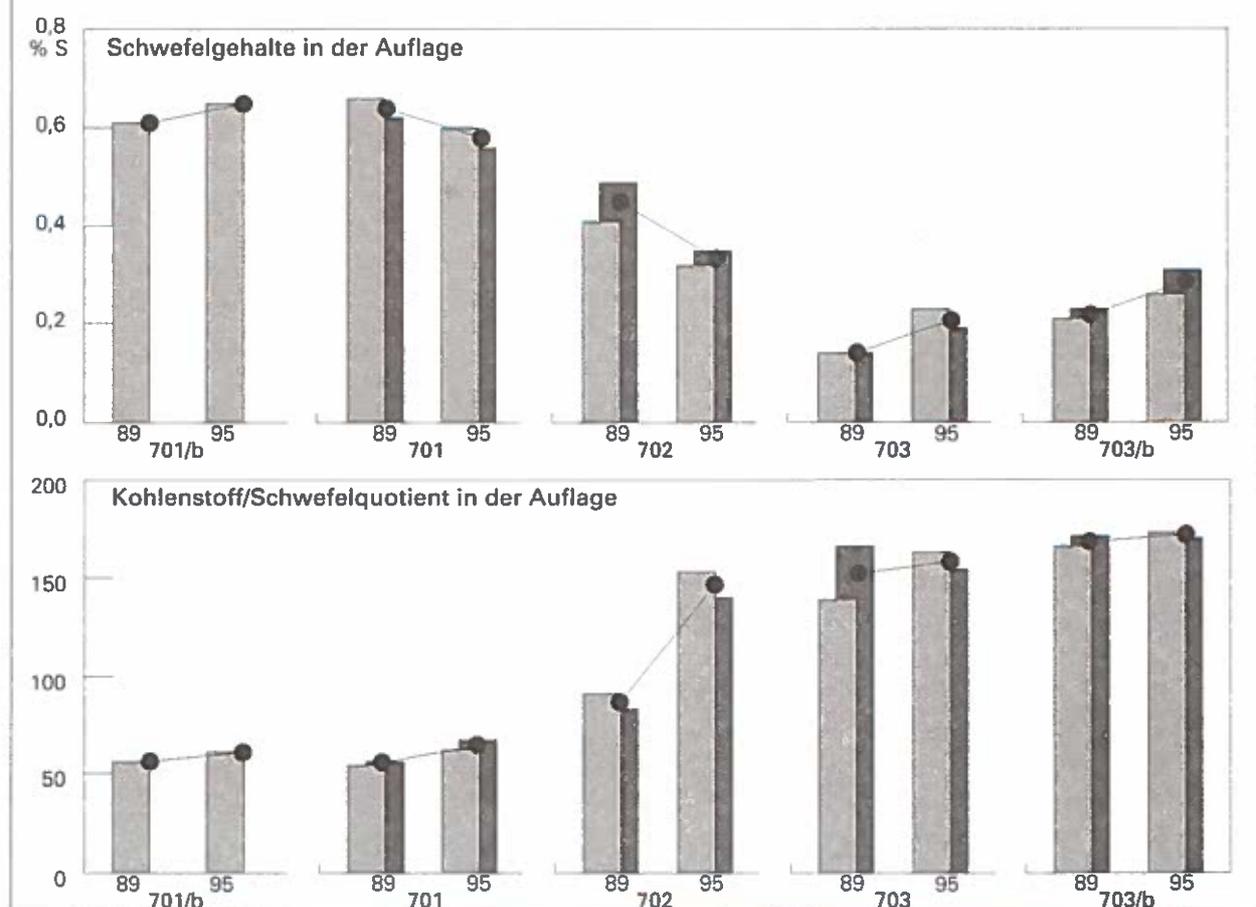
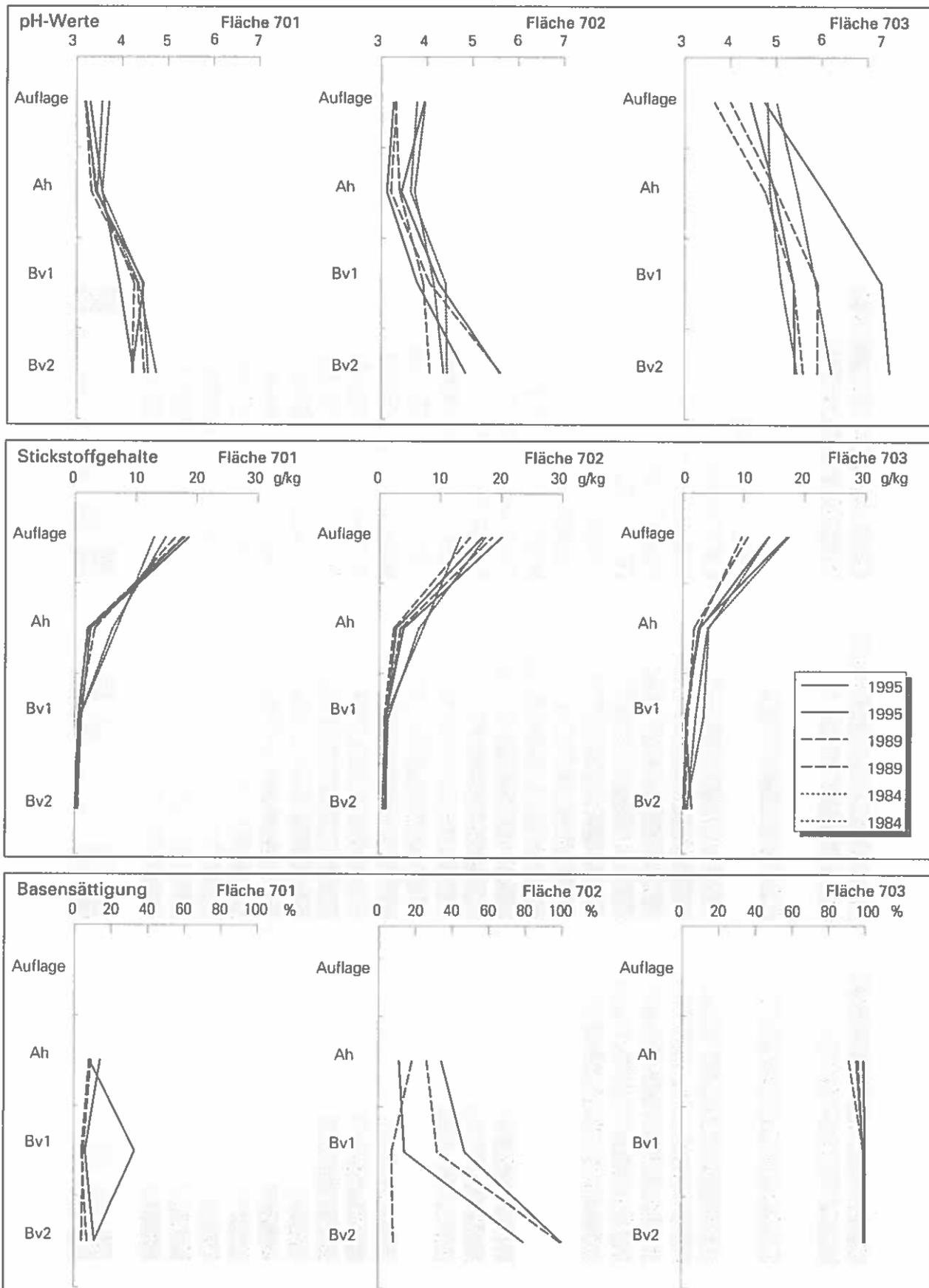


Abb. 15: Vertikale Verteilung von pH-Wert, Stickstoff und Basensättigung in den Böden der drei Flächen gemäß den drei Probenahmen.



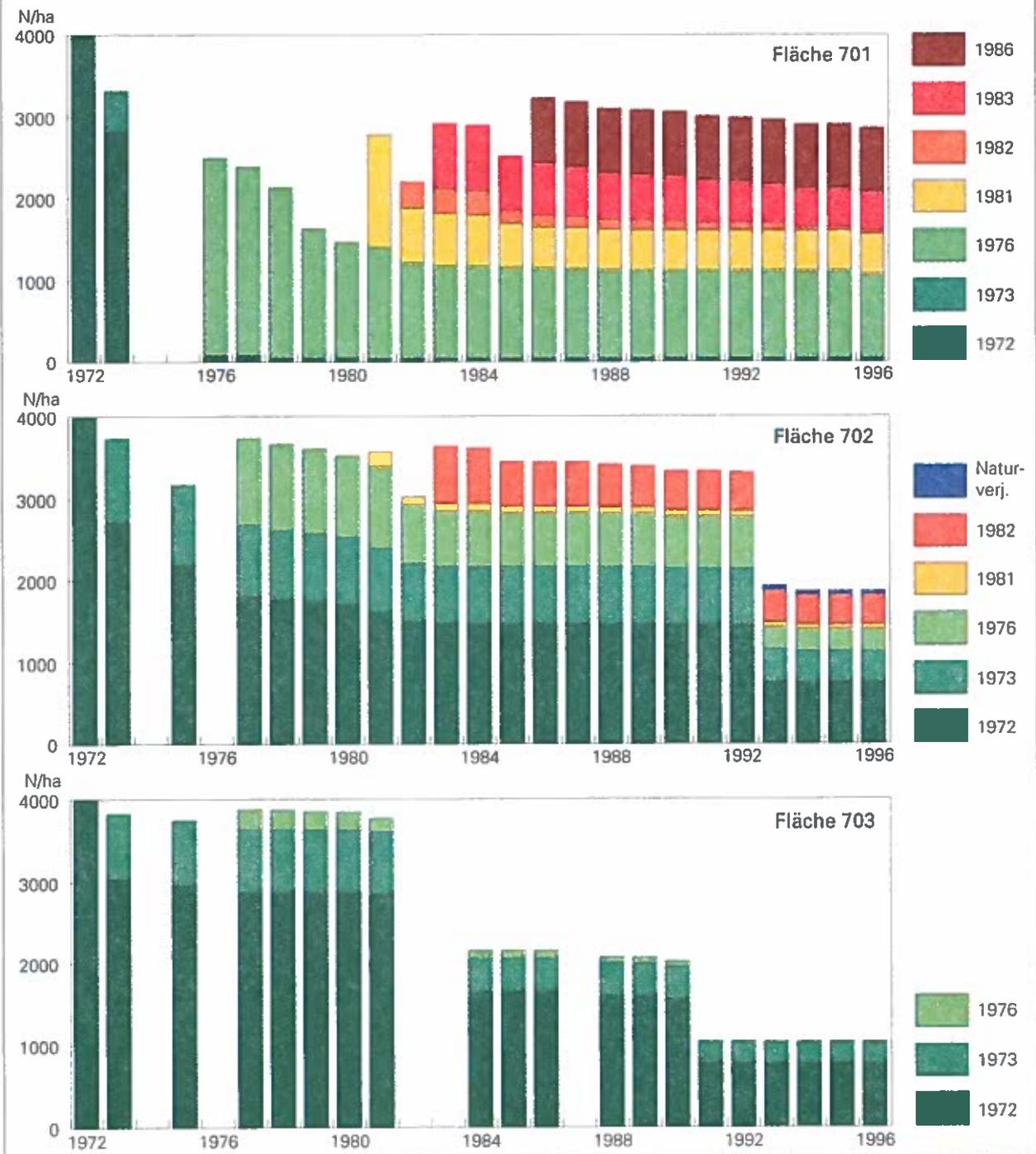
30 x 30 cm bis zu einer Tiefe von 10 cm entnommen und in zwei Schichten von jeweils 5 cm aufgeteilt. Das erste Stratum umfaßt die Auflage und den humosen Mineralboden, während das zweite Stratum nur aus Mineralboden bestand. In Wien wurden auf diesen Straten zwei Fichtenherkünfte gesät. Zwischen den beiden Bodenstraten von den drei Flächen ergab sich nach drei Monaten weder für das Keimprozent noch für die Mortalität ein stati-

stisch absicherbarer Unterschied, ebensowenig wie im Vergleich zu einem Standardsubstrat. Dieses Ergebnis läßt den Schluß zu, daß zumindest zu Beginn der Keimlingsentwicklung die extrem belasteten Oberböden keinen negativen Einfluß haben und die fehlende Naturverjüngung andere Ursachen hat.

Ein ähnlicher Versuch mit Proben aus dem Auflagehumus aus dem Raum Brixlegg ergab nach einer

Abb.16:

Stammzahlentwicklung auf den drei Flächen zwischen 1972 und 1996 getrennt nach den in den einzelnen Jahren gepflanzten Bäumen (die jeweils ausgesetzten Baumarten sind aus dem Anhang ersichtlich).



Wuchssaison hingegen deutliche Unterschiede im Vergleich zum unbelasteten Vergleichssubstrat (GLATZEL, 1985). Dieser Unterschied kann in der längeren Beobachtungsdauer, der Beschränkung auf den Auflagehumus, der Verwendung von einjährigen Fichtensämlingen methodisch begründet sein oder aber ist er auf die unterschiedlichen Schwermetallgehalte zurückzuführen. Dann würde daraus folgen, daß erhöhte Kupfergehalte wesentlich mehr Einfluß auf das Wachstum haben als erhöhte Bleiwerte (vgl. 4.2.2.3). Auch GRESZTA et al. (1981) bezeichnen Blei-Zink-Stäube als am wenigsten toxisch und Stäube aus Kupferhütten als mitteltoxisch.

4.4 Untersuchung des Wuchsverhaltens von Fichtenpflanzen

Die Ergebnisse sowohl der Nadel- als auch der Bodenanalysen belegen die deutlichen Unterschiede zwischen den Flächen auf, die darauf schließen lassen, daß die Immissionsbeeinflussung auf den einzelnen Flächen unterschiedlich stark war. Inwiefern sich die Belastungsunterschiede auch in der Mortalität und dem Wachstum manifestieren, soll im folgenden an Hand der 1972/73 gesetzten Fichtenpflanzen aus Saatgut von Ranshofen gezeigt werden.

4.4.1 Mortalität

Auf Fläche 701 sind innerhalb von 4-5 Jahren fast alle Fichten abgestorben. Die wenigen verbliebenen Pflanzen überlebten dann fast alle bis 1990. Die Mortalität - mit Schwerpunkt in den ersten fünf Jahren - beträgt 99 % (Abb. 16).

Auf Fläche 702 sind im gleichen Zeitraum rund die Hälfte aller Fichten der Pflanzung 1972 ausgefallen, von den Nachbesserungen jedoch nur 12 %. Bis 1981 reduzierte sich die Anzahl noch weiter, danach blieb sie beinahe konstant, sodaß bis 1990 noch 39 % der Erstanpflanzung und 74 % der Nachbesserungen verblieben sind. Die Mortalität ist also deutlich geringer als auf 701, das dennoch große Ausmaß kann hier nur durch einwirkende Belastungsfaktoren erklärt werden.

Auf Fläche 703 sind zu Beginn etwa ein Viertel der Erstanpflanzung ausgefallen, von der Nachbesserung nur einige wenige Pflanzen. Die im Zuge der Stammzahlreduktion im Herbst 1983 entnommenen Bäume bewirken die Abnahme von 72 % auf 42 % bzw. von 97 % auf 53 % (Tab. 5). Dies darf in diesem Zusammenhang jedoch nicht berücksichtigt werden.

Seither schieden noch einzelne Bäume durch Schneedruck aus. Wenn die Ausfälle zu Versuchsbeginn außer acht gelassen werden, ist die Mortalität mit nur 3 % gering und liegt im Rahmen normaler Werte. Die Überlebensraten unterscheiden sich somit zwischen den Flächen eindeutig.

Die Erstauspflanzung weist eine höhere Mortalität als die Nachbesserungen von 1973 auf.

Tabelle 5:
Überlebensraten für Fichten 1972/1973 in Prozent.

	701	702	703
1973	71/98	68/99	76/99
1975	-/-	55/97	74/99
1977	2/1	45/88	73/98
1979	1/1	44/83	73/97
1981	1/1	40/74	72/97
1983	1/1	39/74	42/53

Tabelle 6:
Höhenentwicklung der Fichten (Pflanzung 1972) in cm

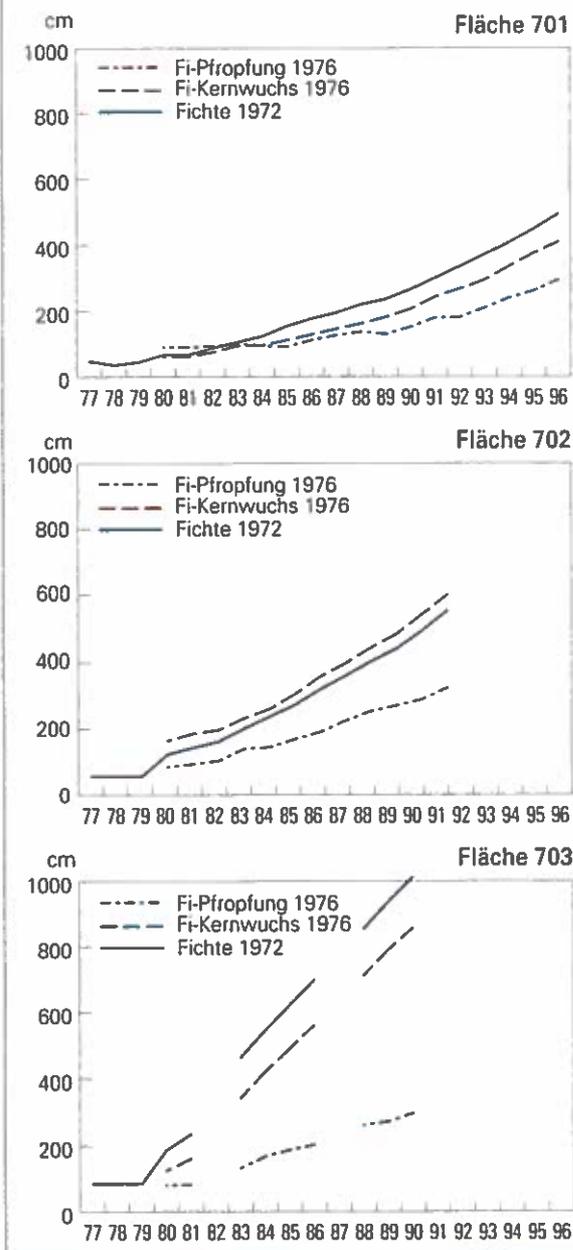
Jahr	701 (N= 7)	702 (N= 280)	703 (N= 300)
1972	43	41	43
1977	47	57	85
1980	66	123	187
1981	81	143	235
1982	86	161	-
1983	104	201	463
1984	122	236	544
1985	153	272	621
1986	176	319	696
1987	194	360	-
1988	219	400	856
1989	235	438	934
1990	264	492	1011
1991	299	552	
1992	334		
1993	370		
1994	406		
1995	446		
1996	492		

4.4.2 Höhenentwicklung

Die Höhenentwicklung der 1972 gepflanzten Fichten ist in Tabelle 6 aufgelistet und in Abbildung 17 mit dem Wachstum der Pflanzung 1976 verglichen. Um 1,3 m zu erreichen, benötigten die Fichten auf Fläche 701 seit der Auspflanzung 14 Jahre, auf 702 zehn Jahre und auf 703 nur sieben Jahre. 1990 wurden letztmalig auf allen drei Flächen eine Vollaufnahme der Höhen vorgenommen. Nach 19 Jahren unterschieden sich die Mittelhöhen mit 2,6 m auf Fläche 701, beinahe 5 m auf 702 und mehr als 10 m auf der werksfernsten Fläche 703 eindeutig.

Die 1973 nachgebesserten Fichten wachsen auf 702 etwas besser als die Erstpflanzung, der Höhenwachs-

Abb. 17:
Entwicklung der durchschnittlichen Höhe der Fichten (Erstanpflanzung 1972) im Vergleich zur Pflanzung von 1976 (Pfropfungen und Kernwüchse) auf den drei Flächen von 1980 bis 1996.



tumsvorsprung beträgt im Durchschnitt 50 cm. Auf 703 sind keine Unterschiede zu erkennen und auf 701 ist nur mehr eine Fichte der Nachbesserung vorhanden, so daß sich ein Vergleich erübrigt.

4.4.3 Entwicklung der Benadelung

Der Benadelungszustand wurde nach den in Pkt. 3.2 beschriebenen Stufen erfaßt, abgestorbene Pflanzen wurden getrennt ausgewiesen. Die relativen Häufigkeiten in den fünf Stufen sind für die 1972 gepflanzten Fichten in Abbildung 18 dargestellt. Die

Darstellung bezieht sich auf die Fichten der Pflanzung 1972 auf Fläche 702 zwischen 1977 und 1991 und auf 703 zwischen 1977 und 1983 (keine Erhebungen nach 1984). Da auf Fläche 701 nur noch 9 Pflanzen verblieben sind, werden die Ansprachen an den Kernwuchsfichten der Pflanzung 1976 herangezogen. Die Einstufung variiert zwischen 1977 und 1981 ziemlich stark. Deutlich bemerkt man den Taxatorenwechsel im Jahr 1980 an den Ergebnissen von 703, er ist jedoch auf allen Flächen zu berücksichtigen. Die schlechtesten Resultate ergeben sich für die Jahre 1981 und 1982 mit Anteilen von über 50 % stark verlichteten bzw. wipfeldürren Pflanzen. Danach zeigt sich eine klare Tendenz der Verbesserung im Benadelungszustand. Die Anteile in den Stufen „normal“ und „leicht“ nehmen auf Fläche 702 von einigen Prozent im Jahr 1977 auf beinahe 80 % in den Jahren 1989 und 1991 zu. Ganz entscheidend hat sich auch der Anteil von Pflanzen mit starkem Nadelverlust verringert. Auf Fläche 701 ist die Verbesserung ab 1987 augenfällig und kontinuierlich.

4.4.4 Bewertung der Volumenzuwachsstleistung

Neben der auf allen Flächen durchgeführten Höhenmessung wurde ab 1988 auf 703 bzw. ab 1992 auf 702 auch der Brusthöhendurchmesser erhoben. Dadurch ist die Abschätzung des Vorrates und damit die Erstellung von Leistungstabellen möglich. Die Erweiterung von 702 (siehe 3.3) bleibt hier unberücksichtigt und die Ergebnisse beziehen sich nur auf die ursprüngliche Flächengröße. Eine BHD-Messung auf 701 wurde noch nicht vorgenommen.

Da nicht in allen Jahren die Höhen gemessen wurden, mußten fehlende Werte geschätzt werden. Dazu wurden die gemessenen Werte für den arithmetischen und den Oberhöhenmittelstamm linear über dem Alter interpoliert und damit Schätzwerte dieser beiden Höhenwerte für alle Aufnahmen erhalten. Mit diesen beiden und dem Wertepaar von $BHD = 0$ bei einer Höhe von 1,3 m wurden für jedes Jahr die Koeffizienten (a_0 , a_1 und a_2) der Durchmesserhöhenkurve ($H = BHD / (a_0 + a_1 \cdot BHD + a_2 \cdot BHD^2)$) bestimmt. Die verwendeten Höhen-Durchmesserbeziehungen für 703 sind in Abbildung 19 grafisch dargestellt.

Die auf einen Hektar hochgerechneten Werte sind für beide Flächen in Tabelle 7 zusammengestellt. Für die Zuwachsermittlung wurde der vor 1990 ausscheidende Bestand vereinfachend außer acht gelassen. Das betrifft auf beiden Flächen die Mortalität bis zu diesem Zeitpunkt und die Entnahmen bei der

Abb. 18: Ergebnisse der Benadelungserhebung auf den Flächen an den 1972 gepflanzten Fichten (bzw. 1979 gepflanzten auf 701) ab 1977 bis zum Ende der Beobachtung auf der jeweiligen Fläche.



Stammzahlreduktion auf 703 im Jahr 1984. Die Gesamtwuchsleistung (GWL) wird also geringfügig unterschätzt. Die geringfügige Stammzahlzunahme auf Fläche 703 im Jahr 1990 ist auf Einwuchs zurückzuführen. Die Schaftholzvolumina wurden nach der Formzahlfunktion von POLLANSCHÜTZ (1965) bzw. für kleinere Durchmesser nach JOHANN (1964) ermittelt. Der laufende Zuwachs auf 703 beträgt zwischen 23 und 30 Festmeter pro Jahr, bzw. 27 Vfm im Durch-

schnitt der letzten fünf Jahre, und liegt damit ganz eindeutig über den Tafelwerten für die beste Bonität. Auch wenn man berücksichtigt, daß in den Ertragstafeln Durchschnittswerte für zehnjährige Perioden angegeben sind und außerdem die Ertragstafeln nicht auf die bekanntermaßen hohen (Anfangs-)Wuchsleistungen von Wiesenaufforstungen ausgelegt sind, so ist dennoch die Zuwachsleistung auf 703 als den besten Bonitäten bei hohem Bestockungsgrad

Abb. 19:
Errechnete Durchmesser-Höhenkurven für Fläche 703 zwischen 1990 und 1996.

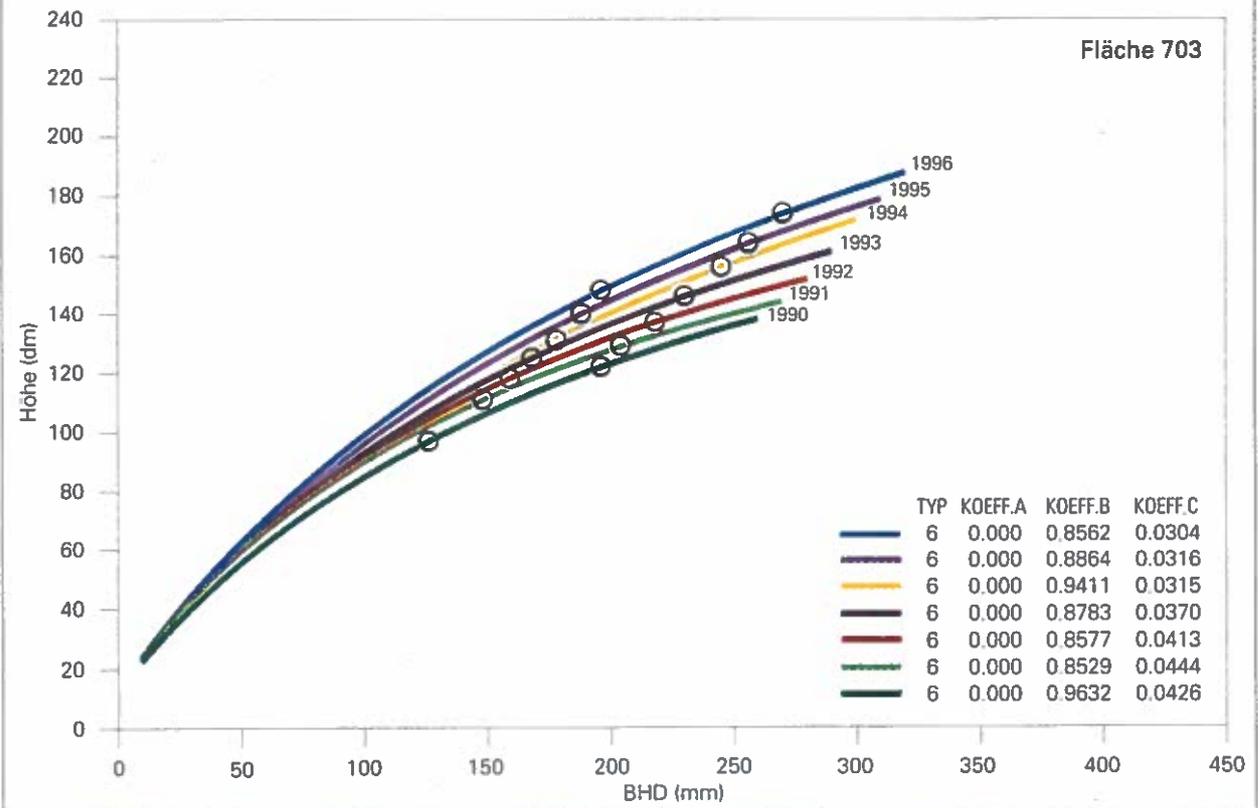
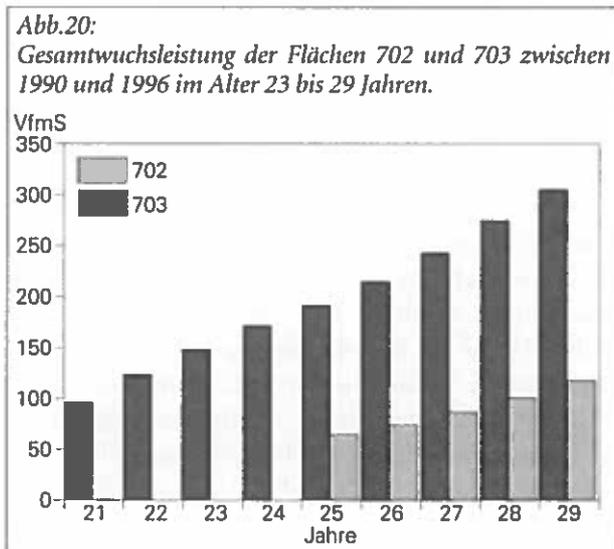


Tabelle 7:
Leistungstabelle für 702 und 703 (Werte pro Hektar).

Fläche 702						
Alter	Stammzahl n	Oberhöhe m	Grundfläche m ²	Vorrat Vfm	ausscheidend Vfm	IfZ Vfm
25	3150	11.3	14.4	65	0	9.9
26	1755	11.8	12.2	58	16	12.8
27	1725	12.4	14.2	71	1	13.6
28	1720	12.9	16.1	83	1	17.2
29	1720	13.6	18.7	100	0	
Fläche 703						
Alter	Stammzahl n	Oberhöhe m	Grundfläche m ²	Vorrat Vfm	ausscheidend Vfm	IfZ Vfm
21	2060	10.5	20.7	96	0	27.5
22	2030	11.5	24.9	123	0	24.8
23	2040	12.2	28.2	148	0	23.3
24	1050	12.9	18.9	108	64	20.0
25	1050	13.7	21.5	128	0	23.6
26	1045	14.6	24.1	151	0	27.4
27	1040	15.6	27.2	178	0	31.8
28	1040	16.5	30.3	210	0	30.8
29	1040	17.4	32.9	241	0	



entsprechend zu werten. Ähnliche Zuwachsleistungen fanden sich auch auf Grenzertragsaufforstungen in der Steiermark (ENGERT, 1986). Auch die bisher geleistete GWL ist mit über 300 Vfm höher als jeder Tafelwert (Abb. 20) und erreicht beinahe die extrem hohen Werte des internationalen Durchforstungsversuchs „Ottensstein“. An Einzelbaumdimensionen werden mehr als 29 cm BHD und 19 m Höhe erreicht, was einem Volumen von etwa 0,5 Vfm entspricht.

Auf Fläche 702 werden diese Leistungen nicht erreicht. Der laufende Zuwachs steigt von 10 bis auf derzeit 17 Vfm pro Jahr an. Auf 702 dürfte spätestens im Alter 31 (d.h. in 2 Jahren) die GWL erreicht werden, die auf 703 bereits 8 Jahre zuvor im Alter 23 erreicht wurde. Die Zuwachsleistung auf 702 erreicht derzeit etwa die 13. Bonität und würde demzufolge einer GWL von 1300 Vfm im Alter 100 entsprechen. An Einzelbaumdimensionen werden etwa 20 cm BHD und 13 m Höhe erreicht, was einem Volumen von etwa 0,2 Vfm entspricht. Einzelne stärkere Bäume bis 24 cm BHD entstammen der Naturverjüngung.

4.4.5 Unterschiede zwischen den Nachkommen verschiedener Mutterbäume

Zu Versuchsbeginn stand die Prüfung, ob sich Nachkommen verschiedener Mutterbäume in ihrer Entwicklung unterscheiden, im Vordergrund. Ursprünglich war als Testgröße dafür der Benadelungszustand vorgesehen. Das Höhenwachstum erscheint jedoch besser geeignet, da es nicht durch die Subjektivität der Einstufung beeinflusst wird (vgl. 4.4.3). Zur Prüfung des Zusammenhangs von Benadelung und Zuwachs wurden die Ergebnisse der Benadelungserhebungen und der Höhenmessungen zwischen 1985 und 1989 untersucht. Es wurden Kollektive gebildet, die über den untersuchten Zeit-

raum von fünf Jahren gleichbleibend eingestuft wurden; eine abweichende Klassifizierung um eine Stufe in einem Jahr wurde toleriert. Die eine Gruppe umfaßt Fichten mit Einstufung 2 (leichte Nadelverluste), die zweite Gruppe umfaßt Fichten mit Einstufung 3 (mittlere Nadelverluste) und schließlich eine Gruppe von Pflanzen mit starken Nadelverlusten. Um Anfangsunterschiede auszuschließen, wurde nicht die erreichte Höhe, sondern der fünfjährige Höhenzuwachs mit dem Benadelungszustand der betreffenden fünf Jahre in Beziehung gesetzt.

Die drei Gruppen unterscheiden sich nach den mittleren Höhenzuwachsen in den fünf Jahren voneinander sehr deutlich. Die fünfjährigen Höhenzuwächse variieren zwischen 250 cm und 100 cm bei Fichten der Pflanzung 1972 bzw. zwischen 330 cm und 150 cm bei den Fichten der Pflanzung 1973. Hochsignifikant unterscheidet sich die „schlechteste“ Gruppe von den anderen zwei Gruppen bei den 1972 gepflanzten Fichten und die „beste“ Gruppe von den zwei anderen bei den 1973 gepflanzten. Es erscheint damit eindeutig, daß sich ein während mehrerer Jahre festgestellter Nadelverlust auch in einem unterschiedlichen Höhenzuwachs der Jungfichten auswirkt.

Mit einer Varianzanalyse wurde der Einfluß der Mutterbäume geprüft; dafür wurden willkürlich die Jahre 1985 und 1990 ausgewählt. Da auf Fläche 701 zuwenige Fichten überlebten, wurde die Untersuchung auf 702 und 703 beschränkt.

Die erreichten Mittelhöhen betragen auf Fläche 702 im Jahr 1985 zwischen 170 und 350 cm und zwischen 310 und 630 cm im Jahr 1990; auf 703 im Jahr 1985 zwischen 530 und 710 cm und 1990 zwischen 870 und 1120 cm. Die Varianzanalyse ergibt für beide Flächen und in beiden untersuchten Jahren einen signifikanten Einfluß der Mutterbäume auf das Höhenwachstum auf dem Niveau von 1%-Irrtumswahrscheinlichkeit.

Die Ergebnisse des SCHEFFE-Tests trennen jedoch kein einzelnes Kollektiv eines Mutterbaumes als besonders wüchsig (und daher besonders geeignet) ab. Zwischen den beiden untersuchten Flächen bestehen sehr große Unterschiede: von den fünf besten Kollektiven auf 703 scheint nur eines auch auf 702 unter den fünf besten auf. Dies legt den Schluß nahe, daß die standörtlichen Verhältnisse das Ergebnis wesentlich mitbeeinflussen, zur Beurteilung dieses möglichen Effektes wären mehr Wiederholungen notwendig gewesen, die jedoch nicht angelegt wurden. Außerdem konnte bei dieser Überprüfung der generativ entstandenen Pflanzen einer

Halbgeschwisterfamilie die vom unbekanntem Vater stammende Unsicherheit nicht ausgeschlossen werden. Eine Entscheidung, ob die Nachkommen eines bestimmten Mutterbaumes besonders geeignet sind, konnte somit nicht getroffen werden. Es erscheint zulässig, die unterschiedlichen Nachkommen weiterhin gemeinsam zu betrachten.

4.5 Untersuchung des Wuchsverhaltens der Pflanzungen

Bereits zu Projektbeginn war beabsichtigt, auch Nachkommen von einzelnen besonders widerstandsfähig erscheinenden Fichten des Gebietes von Arnoldstein in die Untersuchungen miteinzubeziehen. Dazu wurden schon 1966 Pflanzfreier von 6 Fichten (AG-Klone) in der Nähe von Fläche 702 gewonnen. 7 Jungfichten (M-Klone) wurden ausgegraben, nach Wien gebracht und dort zur weiteren Pflanzfreigewinnung bereitgestellt. Auf den Versuchsflächen konnten jedoch nur 12 Klone ausgepflanzt werden. Zu drei Terminen (1976, 1983 und 1986) wurden insgesamt 580 Pflanzungen auf den Versuchsflächen gesetzt. Rund 1000 Pflanzungen wurden 1984/85 außerhalb der Versuchsflächen auf einer Fläche im Ortsgebiet von Arnoldstein gesetzt.

4.5.1 Benadelung, Mortalität und Höhenwachstum

Die 1976 gesetzten Fichtenpflanzungen wurden über alle Jahre hinweg und in allen Flächen bezüglich der Benadelung besser eingestuft als die gleichzeitig gesetzten Kernwüchse, allerdings bei hohen Anteilen von „Wipfeldürren“ bis zu 40 %. Eine vergleichende Beurteilung der Benadelung von Pflanzungen zu den Kernwüchsen ist aber schwierig, da die Pflanzungen den Habitus von „Alterszweigen“ mit einem dichteren Erscheinungsbild haben und dadurch vielleicht besser eingestuft werden als die Kernwüchse mit Jugendhabitus. Eine höhere Widerstandsfähigkeit der Nadeln von Pflanzungen gegen Schadeinwirkungen wird allerdings auch durch die geringere Häufigkeit von Verfärbungen und Nekrosen belegt.

Die offenbar geringere Anfälligkeit auf Nadel-schäden wirkt sich jedoch nicht in einer allgemein höheren Widerstandskraft und größeren Wachstumsleistung aus, wie die Ergebnisse in bezug auf Mortalität und Wachstum der Pflanzungen in Tabelle 8 im Vergleich zu den Kernwüchsen belegen (siehe auch Abb. 17). Die Sekundärpflanzungen (AG-Klone) zeigen eine höhere Mortalität und ein schlechteres

Wuchsverhalten als die Primärpflanzungen der M-Klone.

Auf 701 haben die Pflanzungen mit fast 86 % eine höhere Mortalität als die Kernwüchse, weitere Aussagen über die derzeit noch verbliebenen vier Pflanzungen können nicht gemacht werden.

Auf 702 wurden insgesamt 157 Pflanzungen aller 12 Klone gesetzt, und es ist daher eine differenzierte Beurteilung möglich. Bis 1986 sind 69 davon (entspricht 44 %) abgestorben, danach bis 1991 nur zwei, also 45 % innerhalb von 15 Jahren nach der Pflanzung. Nach den Klonen differenziert ergibt sich für AG1 und AG2 eine Mortalität von rund 20 %, für AG4 und AG5 von 50 % und für AG3 und AG6 von 75 %, für die insgesamt 25 gesetzten Pflanzungen der M-Klone ergibt sich eine Mortalität von 28 %.

Auf 703 sind bis 1984 knapp 50 % der Pflanzungen ausgefallen, danach wurden einige im Zuge der Stammzahlreduktion entnommen bzw. anschließend überwachsen und sind demzufolge ausgeschieden. Die Gesamtmortalität von 58 % ist also nicht direkt mit den Werten der anderen Flächen vergleichbar, da die zwischen 1984 und 1990 hinzugekommenen 8 % als konkurrenzbedingt anzusehen sind.

Tabelle 8:
Die wichtigsten Kennwerte der Pflanzungen im Vergleich zu den Kernwüchsen des Jahres 1976.

Fläche	Anzahl	Mortalität bis 1991	mittl. Höhe 1986 in cm	mittl. Höhe 1990 in cm
Propfungen				
701	28	24 (85.7%)	110	150
702	157	71 (45.2%)	190	288
703	55	23 (58.2%)	203	297
Kernwüchse				
701	308	196 (63.6%)	127	205
702	43	10 (23.3%)	357	528
703	37	10 (27.0%)	559	857

Der Vergleich des Höhenwachstums zwischen den Pflanzungen und den Kernwüchsen im Zeitraum 1980-1991 ist in Abbildung 16 dargestellt. Deutlich ist daraus zu entnehmen, daß die Pflanzungen nur etwas mehr als die halbe Höhe der gleichalten Kernwüchse erreichen, auf 701 sind die Unterschiede zwischen den Pflanzungen und den Kernwüchsen etwas geringer als auf 702, auf Fläche 703 hingegen größer (Tab. 8). Die Kernwüchse haben den Wachstumsrückstand von vier bzw. drei Jahren im Vergleich zu den Fichten 1972/73 bis 1991 bereits weitgehend wettmachen können. Die Pflanzungen bleiben hingegen immer weiter zurück.

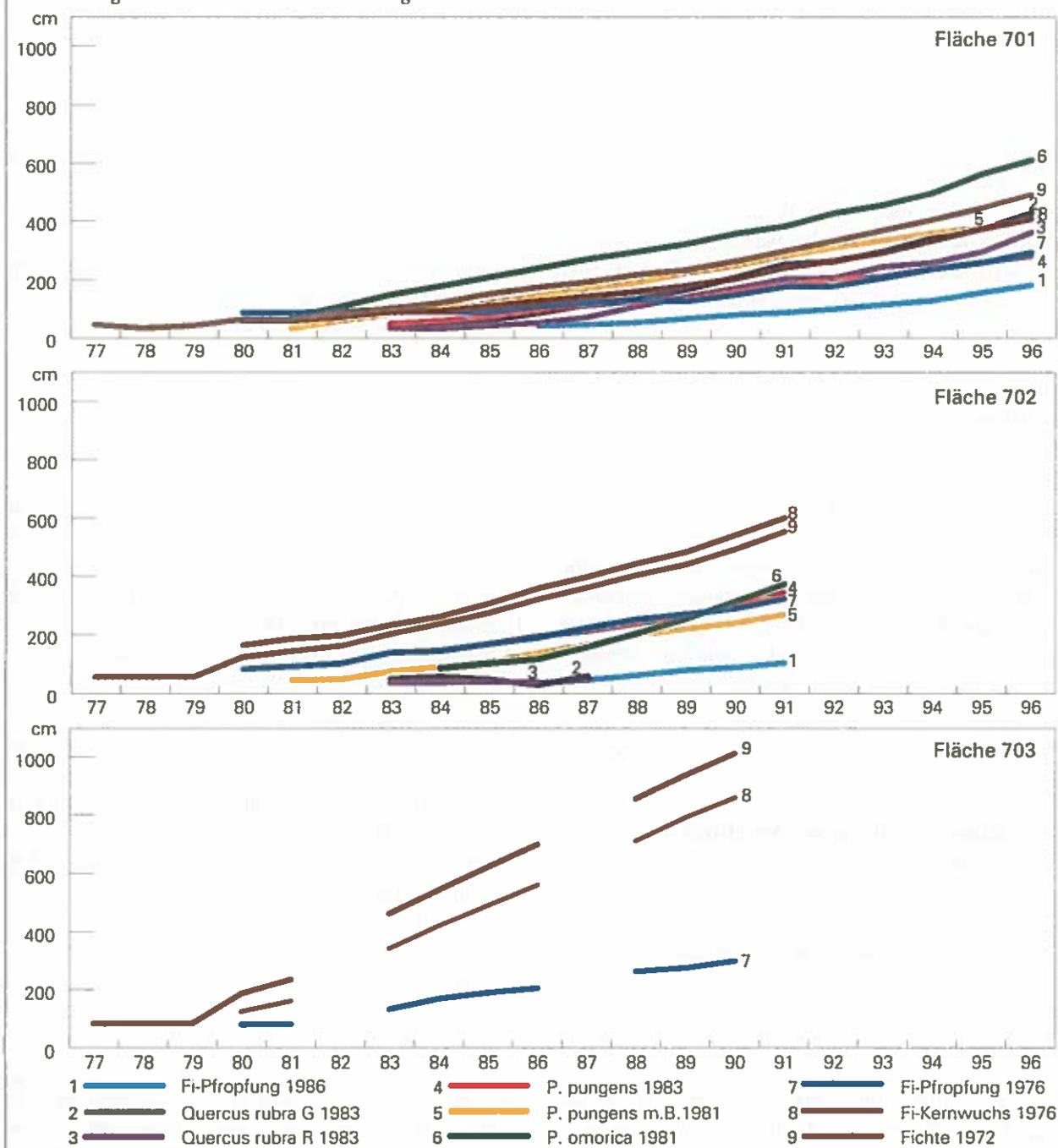
4.6 Beurteilung der anderen Baumarten

4.6.1 Entwicklung und Wuchsleistung der Nadelbaumarten

Wie schon bei der Beschreibung der Versuchsanlage erwähnt, wurden auf den Flächen 701 und 702 im Jahr 1976 auch Schwarzkiefern gepflanzt. Zwischen 1981 und 1983 wurden weitere 19 Baumarten gesetzt, teilweise jedoch in geringer Anzahl. Das durchschnittliche Höhenwachstum der einzelnen Baumarten ist in Abbildung 21 zusammengestellt.

Gut bewährt hat sich bisher die *Schwarzkiefer*, sowohl auf 701 als auch 702. Die 1990 erreichten Höhen betragen 2,7 m auf Fläche 701 bzw. 3,5 m auf 702, die Mortalitätsraten liegen zwischen 31 % auf 701 und 61 % auf 702, dort wahrscheinlich durch die Farnkonkurrenz bedingt. Gut geeignet erscheint auch die *Omorica*fichte, die vor allem auf 702 geringe Mortalität und zufriedenstellendes Höhenwachstum aufweist. Die 1982 als zweijährige Sämlinge gesetzten *Omorica*fichten erreichten innerhalb von 10 Jahren bis 1991 eine Mittelhöhe von 3,5 m. Bei der *Stechfichte*

Abb.21: Entwicklung der durchschnittlichen Höhe ausgewählter Baumarten.



war der Anwuchserfolg bei den mit Ballen gesetzten Pflanzen gut, während die wurzelnackt gesetzten weitgehend ausfielen. Das Höhenwachstum von *Picea pungens* ist arttypisch geringer als bei *Picea abies*. Die 1981 gesetzten Stechfichten erreichten innerhalb von 10 Jahren bis 1990 auf 701 eine Höhe von 2,5 m und 2,4 m auf 702. Das Höhenwachstum geht in den letzten Jahren deutlich zurück. Die *Sequoien* hatten zu Beginn starke Ausfälle und abgestorbene Leittriebe - wahrscheinlich durch Frost verursacht - weshalb nur geringe Höhen erreicht werden. *Pinus ponderosa* wächst auf beiden Flächen zufriedenstellend. *Thuja occidentalis* ist in der Wuchsleistung *Thuja plicata* überlegen. Über die anderen Nadelbaumarten (*Larix decidua*, *Taxus baccata*, *Abies cephalonica* und *Pinus tabulaeformis*) können wegen der zu geringen Anzahl keine fundierten Aussagen gemacht werden.

4.6.2 Entwicklung und Wuchsleistung der Laubbaumarten

Bei den einheimischen Laubbaumarten (Bergahorn, Sommer- und Winterlinde) waren geringe Ausfälle und sehr unterschiedliches Höhenwachstum auch innerhalb einer Art zu verzeichnen, so daß keine zuverlässigen Aussagen möglich sind. Die 1981 gesetzten einjährigen Sämlinge der *Robinie* sind vollständig ausgefallen, während die 1982 gesetzten zweijährigen Pflanzen überlebten und rasch wuchsen (Höhen von mehr als 10 m auf 701). Die *Roteiche* hat sich nach anfänglichen Schwierigkeiten sehr gut entwickelt und erreicht auf 701 derzeit Höhen von mehr als 5 m, bei zufriedenstellenden Schaftformen. Die *Schwarznuß* (*Juglans nigra*) verzeichnete große Ausfälle und geringes Wachstum. Die übrigen ausländischen Laubbaumarten (*Sophora japonica*, *Acer truncatus* und *Ailanthus altissima*) sind innerhalb der ersten Jahre, mitverursacht durch Mäusefraß, vollständig ausgefallen.

5. Zusammenfassende Wertung der Ergebnisse

5.1 Beurteilung der Immissionsbelastung

Die Nadelanalysen bestätigen durch Grenzwertüberschreitung bei den Schwefelgehalten und eindeutig überhöhten Werten von Blei und Cadmium zu Versuchsbeginn eine Immissionseinwirkung auf allen drei Flächen. Im Laufe der Versuchsdauer

verringerte sich die Einwirkung, sodaß auf der werkfernsten Fläche derzeit keine Einwirkung mehr festgestellt werden kann. Die Bodenanalysen, die teilweise extrem hohe Werte an Blei, Kupfer und Zink, aber auch sehr hohe Schwefelgehalte ergaben, bestätigen diesen Befund.

Die zu Versuchsbeginn noch starke Belastung durch Fluorabgase der Superphosphatproduktion hat sich bis 1980 stetig verringert, seither sollen nach Werksangaben keine fluorhaltigen Abgase mehr entstanden sein.

Die Emissionsverringering seit 1987 - insbesondere nach Funktionieren der Rauchgasentschwefelungsanlage und teilweiser Produktionsstillegung - findet sowohl in der Abnahme der Schwefeldioxidkonzentration in der Luft und als auch in der Verringerung der Schadstoffgehalte in den Nadelproben ihre Bestätigung (Abb. 22). Durch die klare Synchronität der Verläufe der Emissionen und den beiden Immissionsparametern wird der entscheidende Einfluß des Werkes auf die Situation im Raum eindrucksvoll bestätigt. Die gesetzlichen Grenzwerte für Schwefel werden auch 1996 noch überschritten. Die Verringerung der Immissionseinwirkung ist noch keinesfalls so einschneidend, daß Pflanzenschäden auszuschließen wären.

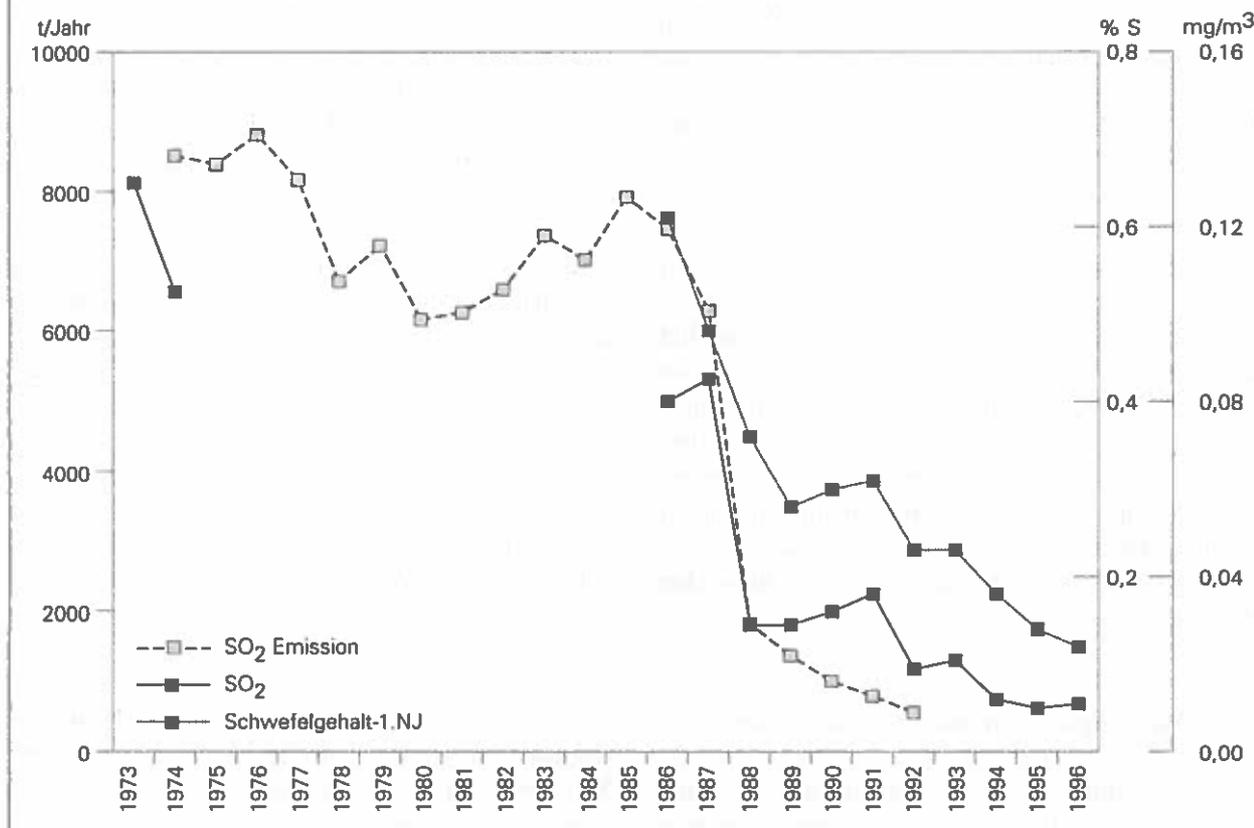
5.2 Gesamtbewertung des Versuchs

Die bei der Versuchsanlage gestellte Frage nach besonders geeigneten Nachkommen verschiedener Mutterbäume zur Verwendung in immissionsbeeinflussten Gebieten konnte nicht zufriedenstellend beantwortet werden. Die Nachkommen unterschieden sich zwar im Wachstum signifikant, jedoch war die Streuung zu groß, um bestimmte Kollektive besonders empfehlen zu können. Auch die Testung von resistenten Pfropfpflanzen erbrachte kein für die Praxis verwertbares Resultat. Die Propfungen waren derart auf Schneedruck anfällig, daß sie nicht mit den übrigen Pflanzen mithalten konnten.

Unter Berücksichtigung des in den letzten 25 Jahren eingetretenen Wandels der Betrachtungsweise, scheint dies nicht entscheidend zu sein: Wenngleich im Forstgesetz 1975 auf die Möglichkeit der Bestandesumwandlung zur Verminderung der Gefährdung durch Immissionen explizit hingewiesen wird, erscheint diese Vorgehensweise zumindest unter vergleichbaren Bedingungen äußerst fragwürdig. Viel zielführender ist es, Lösungsmöglichkeiten für immissionsbedingte Waldschäden im

Abb.22:

Vergleich der Schwefelemissionen von 1974 bis 1992 mit den verfügbaren Jahresmittelwerten der Luftmessungen an der Station Hohenthurn und den Schwefelgehalten im 1. Nadeljahrgang auf Fläche 701 von 1985 bis 1995.



Sinne einer Verbesserung der allgemeinen Umweltsituation ausschließlich in emissionsseitig zu ergreifenden Maßnahmen zu suchen. Die Suche nach besonders resistenten Klonen, Herkünften oder Baumarten hat dadurch die Bedeutung verloren, die sie zu Projektbeginn hatte. Im Sinne dieses Wandels sollten daher auch die nachfolgenden Ausführungen gesehen werden.

Der Versuch erbrachte jedenfalls den eindeutigen Nachweis, daß auch auf der am stärksten belasteten Fläche 701 im Bereich der 1961/62 durch das Absterben der dort stockenden Fichtenbestände entstandene Blöße die Wiederbegründung von Wald seit 1980 möglich gewesen ist. Ob dies auch in den Jahren höchster Belastung durch Schwefeldioxid- und Fluorabgase unmittelbar nach 1961 möglich gewesen wäre, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Eine Aufforstung mit einheimischen Laubhölzern, wie sie von NEUMANN und POLLANSCHÜTZ (1982) vorgeschlagen wurde, wäre jedoch erfolgversprechend gewesen.

Daß auch durch eine Wiederbegründung mit Laubholzbeständen die Ertragseinbußen im Vergleich zu den ursprünglich fichtenreichen

Bestockungen kaum reduziert worden wären, bleibt unbestritten.

5.3 Waldbauliche Wertung der Pflopfungen

Die Mortalität der Pflopfungen ist unabhängig von der Lage der Flächen stets höher als die der gleichzeitig gesetzten Kernwüchse, auch ist das Höhenwachstum der Pflopfungen deutlich geringer. Je stärker die Fläche belastet ist, umso eher können die Pflopfungen mit den Kernwüchsen mithalten. Im Durchschnitt der drei Flächen erreichen die Pflopfungen jedoch nur 50 % der Höhe der Kernwüchse und scheiden daher aus Konkurrenzgründen früher oder später aus.

Rund die Hälfte aller Pflopfungen weist Krüppelwuchs ohne eindeutigen Leittrieb auf. Eine Ursache dafür können (Naß-)Schneefälle sein, wodurch in der Anwuchsphase wenig stabile Pflanzen gebrochen werden und offenbar nur zum geringen Teil fähig sind den einmal verlorenen Leittrieb zu ersetzen. Auf ähnliche Schwierigkeiten bei der Umstellung von zweig- auf ein baumförmiges Wachstum hat bereits

HOLZER et al. (1982) hingewiesen. Inwieweit dabei durch den Entnahmeort des Pfropfreises das Wuchsverhalten bestimmt wird, kann nicht gesagt werden. SCHÜTT und KOCH (1978) wiesen darauf hin, daß die Höhe der Entnahme am Baum bzw. vom Ast (Seitenäste erster, zweiter oder höherer Ordnung) einen wesentlichen Einfluß darauf nimmt, ob und wie lange plagiotropes Wuchsverhalten beibehalten wird. Es ergaben sich Anzeichen dafür, daß Primärpfropfungen weniger beeinträchtigt sind als bereits von Pfropfungen abstammende Pflanzen. Die im Jahr 1986 gesetzten, also später erzeugten Pfropfungen sind auffällig weniger beeinträchtigt. Der optische Aspekt der Pfropfungen war auf den stärker belasteten Flächen 701 und 702 im Durchschnitt besser als der vergleichbarer Kernwüchse, jedoch lassen die weit entscheidenderen Ergebnisse der Mortalität und des Höhenwachstums in diesem Versuch keine Hoffnung auf eine Nutzung von Pfropfpflanzen für Aufforstungen in der forstlichen Praxis entstehen.

5.4 Wertung der Zuwachsbeeinträchtigung

Das Wachstum auf Fläche 703 ist mit Bonitäten jenseits der 17. Absolutbonität als extrem groß zu bezeichnen. Mit 29 Jahren werden dort bereits mehr als 17 m erreicht, für das Alter 30 ist für die 17. Bonität für Fichte-Bayern eine Oberhöhe von nur 15,7 m angegeben. Von einer Zuwachsbeeinträchtigung auf der entferntesten Fläche kann somit keinesfalls gesprochen werden, obwohl eine Immissionswirkung durch Nadelanalysen nachgewiesen wurde. Ein noch größeres Wachstum ohne Immissionseinwirkung wäre zwar prinzipiell möglich, jedoch quantitativ äußerst schwer vorstellbar.

Auf 702 entspricht das Wachstum sowohl hinsichtlich der Oberhöhe und der Gesamtwuchsleistung derzeit etwa einer 13. Bonität. Vergleichsmöglichkeiten zu früher fehlen leider, da die vorhandenen Bonitätsangaben für die Bestände vor 1961 offensichtlich unzuverlässig sind. Die Auswertung einzelner Stammanalysen im Rahmen des CARINTHIA-Projektes (NEUMANN und POLLANSCHÜTZ, 1982) aus lagemäßig vergleichbaren Beständen erbrachten niedrigere Bonitäten. Eine Wachstumsbeeinträchtigung zu Projektbeginn erscheint dennoch auf Grund des verzögerten Jugendwachstums und der als hoch einzuschätzenden Mortalität wahrscheinlich. Diese Beeinträchtigung muß sich auch in der nun erreichten Ober-

höhe bzw. in der GWL niederschlagen. Daraus folgt, daß der aktuelle Zuwachs höher sein muß als einer 13. Bonität entsprechend. Somit kann zumindest für die Zukunft eine Beeinträchtigung ausgeschlossen werden. Auf 701 sind die Verhältnisse anders zu bewerten. Nachwirkungen der früheren Belastungen und derzeit noch einwirkende Belastungen sind hier anzunehmen. Die aktuelle Bestockung setzt sich aus den 1976 gesetzten Schwarzkiefern und den nachfolgend gesetzten Baumarten zusammen. Die ursprünglich gesetzten Fichten sind fast vollständig ausgefallen, schon daraus resultierte ein Zuwachsausfall von 100 % für 5 bzw. 10 Jahre. Von der Ertragsseite ist außerdem zu berücksichtigen, daß die ohne Belastung möglich gewesene Zielbestockung nicht erreichbar war, wenngleich sie unter derzeitigen Verhältnissen möglich erscheint. Auf Grund der ungleichförmigen Struktur der Fläche ist es derzeit nicht möglich, das Wachstum gesamtheitlich zu bewerten. Das Höhenwachstum der Schwarzkiefer entspricht einer geringen Bonität. Die derzeit erreichte Höhe der Fichte (Pflanzung 1972/73 und 1976) würde etwa einer 4. Bonität entsprechen. Die Schätzung der Bonität auf Basis des Höhenwachses der letzten 5 Jahre (STERBA, JANDL und ZEHENTNER, 1990) ergibt eine 9. Absolutbonität gemäß Fichte-Bayern. Demzufolge ist auch auf Fläche 701 zumindest beim Höhenwachstum eine bedeutende Verbesserung in letzter Zeit zu verzeichnen.

6. Folgerungen

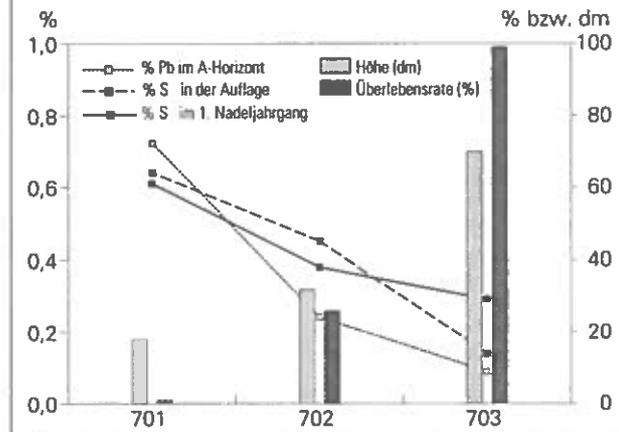
Im Rahmen des Forschungsprojektes „Waldwachstumskundlicher Rauchhärtestest“ wurde im Immissionschadengebiet von Arnoldstein in Form einer Fallstudie auf drei Flächen in unterschiedlicher Entfernung zum Werk das Wachstum von Aufforstungen mit verschiedenen in- und ausländischen Baumarten untersucht. Begleitend dazu wurde versucht, die Immissionssituation möglichst umfassend zu dokumentieren. Dazu wurden Luftmeßergebnisse herangezogen und Nadel- und Bodenanalysen durchgeführt. Die seit 25 Jahren durchgeführten Erhebungen lieferten wesentliche Erkenntnisse über das Verhalten von Aufforstungen unter unterschiedlicher Belastungssituation.

Entscheidend beeinflußt wurde die Versuchsführung durch den Umstand, daß sich im Beobach-

tungszeitraum die Emissionssituation wesentlich veränderte. Von der anfänglich sehr starken synergistischen Belastung durch SO_2 und Fluor entfiel nach Einstellung der Superphosphatproduktion der Schadstoff Fluor. Im Laufe des Jahres 1987 ging die Rauchgasentschwefelungsanlage in Betrieb und auch die Schwefelbelastung reduzierte sich deutlich. In den letzten Jahren bewirkte die Produktionseinstellung in der Zinkhütte und die Umstellung der Bleihütte auf Bleirecycling eine weitere wesentliche Belastungsreduktion. Es zeigt sich, daß die anhand der Luftmeßergebnisse nachweisbare Reduktion sich auch in den Nadelgehalten widerspiegelt. Anhand der Bodenanalysen konnte eine eindeutige Schwermetallanreicherung festgestellt werden, wobei die Werte den räumlichen Gradienten gut wiedergeben (Abb.23). Die erwartete zeitliche Veränderung konnte durch die Schwermetallgehalte in den Bodenproben nicht eindeutig bestätigt werden. Die Bodengehalte reagieren durch die vergleichsweise hohe Immobilität der Schwermetalle nur langsam. Schneller reagieren die Schwefelgehalte in der Auflage und auch das C/S-Verhältnis auf die Reduktion der Schwefelbelastung.

Bei den Wachstumsparametern ist einerseits ein klarer räumlicher Gradient zu erkennen, sowohl das Wachstum als auch die Überlebensraten unterscheiden sich zwischen den einzelnen Flächen eindrucksvoll (Abb. 23). Die zeitliche Veränderung ist andererseits weniger deutlich. Wohl auch durch die Tatsache abgeschwächt, daß sich das Wachstum aus der Kumulation der Zuwachseistung der Vergangenheit ergibt. Der stockende Vorrat ist also Produkt der Vergangenheit und jede ehemalige Beeinträchtigung findet ihren bleibenden Niederschlag. Die Wachstumsparameter belegen eine Beeinträchtigung nur auf den beiden werksnahen Flächen 701 und 702, obwohl die Luftmessungen in Hohenthurn sowie die Ergebnisse der Nadelanalysen und der Bodenanalysen einen über die Fläche 703 hinausgehenden Immissionseinfluß nachweisen. Die Zuwachseistung erreicht auf 702 die derzeit erwartete Größenordnung, nur auf 701 kann noch von einer Beeinträchtigung gesprochen werden. Schwieriger ist eine Bewertung der Mortalität, da dafür keine Vergleichsstandards vorhanden sind. Der Aufforstungserfolg ist - bedingt durch standörtliche Besonderheiten - starker Variation unterworfen und eine exakte vergleichende Bewertung erscheint daher nicht möglich. Die von GÜNZL (1979) publizierten Anwuchsprozente variieren beispielsweise auf einem Standort von weniger als 50 % bis zu 100%. Eine Beurteilung inwieweit die festgestellte Mortalität

Abb.23:
Vergleich der Blei- und Schwefelgehalte (1989) im Boden und der Schwefelgehalte im 1. Nadeljahrgang (1986) mit der bis 1986 erreichten Mittelhöhen und der Überlebensraten auf den drei Flächen.



daher als normal bzw. als überhöht anzusehen ist, kann somit nicht einwandfrei getroffen werden.

Ähnliche Schwierigkeiten ergeben sich auch bei der absoluten Einreihung der Benadelungsdichteerhebungen; zusätzlich dadurch erschwert, daß die hier gewonnenen Ergebnisse auf Grund methodischer Unterschiede nicht mit anderen Untersuchungen, z.B. der Waldzustandsinventur oder dem Waldschaden-Beobachtungssystem vergleichbar sind. Die Erfassung des Höhenwachstums und der Volumenleistung ist nicht von subjektiven Einflüssen gestört, daher sollte den Ergebnissen diesen Ergebnissen das Hauptaugenmerk gewidmet werden.

Die von NEUMANN und POLLANSCHÜTZ (1982) ermittelten Zuwachsminderleistungen für den Zeitraum 1971-1978 betragen für zwei in der Nähe der Fläche 703 gelegenen Probestellen 20-25 %. In der zitierten Untersuchung wurde der Bereich als Zone 2 bezeichnet, für die im Mittel Zuwachsverluste zwischen 22,5 % und 45 % angegeben wurden. Die durch Stammanalysen und Bohrkernanalysen an Altbeständen abgeleiteten Zuwachsbeeinträchtigungen haben offenbar nicht in gleicher Weise für Aufforstungen oder jüngere Bestände Gültigkeit. Im werksnäheren Bereich zwischen Fläche 702 und 701 konnten damals keine Untersuchungen durchgeführt werden, da keine für Jahrringanalysen geeignete Bestände mehr vorhanden waren. Die für diesen Bereich (Zone 3) angenommenen 40-80 % Volumenzuwachsminderleistungen beruhten daher auf Erfahrungswerten, diesen Rahmenwerten kann nicht widersprochen werden.

Es scheint, daß die Schwefelgehalte der Nadeln jüngerer Fichten durchaus den Werten älterer gleich-

kommen und auf Belastungsveränderungen (in diesem Fall auf Reduktionen) sensibler und schneller reagieren (vgl. 4.1.1 und 4.1.2, bzw. Abb. 5, 6 und 22). Eine Einbindung von Nadelanalysen junger Fichten in großräumige Erhebungen erscheint dadurch befürwortet zu werden. Der Umstand, daß trotz teilweise deutlicher Überschreitung der Schwefelgrenzwerte auf Fläche 703 keine negative Zuwachsbeeinträchtigung stattfindet, steht insofern nicht im Gegensatz zu den bestehenden gesetzlichen Grenzwerten, da diese auch unter ungünstigen Wuchsbedingungen, die im untersuchten Gebiet nicht gegeben sind, Gültigkeit haben müssen.

Die Versuchsergebnisse hatten zwar nie direkte Auswirkung auf die Gestaltung der speziellen Emissionssituation, jedoch konnten allgemein Fakten über die nachteiligen Auswirkungen von Immissionen gesammelt werden und damit Argumente für die Reduktion der Schadstoffe geliefert werden.

Literatur

- AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG: *Meßberichte über die SO₂-Belastung im Raum Arnoldstein*.
- BLUM, W.E.H., et al. (1986): *Waldbodenuntersuchung: Geländeaufnahme, Probenahme, Analyse*. Österr. Bodenkundliche Gesellschaft 59 pp.
- DÄSSLER, H.G., (1969): *Der Fluorgehalt von Pflanzen in immissionsbeeinflussten und immissionsfreien Gebieten*. Flora, Abt. A., 159,471-476.
- DONAUBAUER, E., (1995): *anlässlich des Symposiums „Waldschäden - Stand der Forschung und Ausblick“ am 3. Mai 1995 in München*. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- DONAUBAUER, E., MANSCHINGER, H., POLLANSCHÜTZ, J., STEFAN, K. und ZAWORKA, J., (1965): *Österreichische Forsttagung 1965, Exkursionsführer „Forstschäden durch Industrieabgase“*.
- EKLUND, M., (1995): *Cadmium and Lead Deposition around a Swedish Battery Plant as recorded in Oak Tree Rings*. Journal Environ. Qual, 24,126-131.
- ENGERT, G., (1986): *Zuwachs- und Wertleistung von Fichtenbeständen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Holzkurier 41,31,14-15.
- GARBER, K., (1967): *Über den Fluorgehalt der Pflanzen*. Qual. Plant et Materiae Veget. XV,29-36.
- GLATZEL, G., (1985): *Schwermetallbelastung von Wäldern in der Umgebung eines Hüttenwerkes in Brixlegg/Tirol. II. Wachstum und Mineralstoffernährung von Fichtenpflanzen (Picea abies) auf schwermetallbelastetem Waldbodenhumus*. Cbl. ges. Forstwesen 102,41-51.
- GRESZTA J., BRANIEWSKI S., NOSEK A. und SUCHANEK R., (1981): *Grenzwerte von aus verschiedenen Emissionsquellen stammenden Stäuben für die Entwicklung ausgewählter Arten von Waldbäumen*. Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 181,199-209.
- GÖNZL, L., (1979): *Internationale Fichtenprovenienzversuche der IUFRO 1938 und 1964/68 sowie Versuche mit österreichischen Herkünften*. Allgemeine Forstzeitung 90,182-190.
- GUSSONE, H.A., (1964): *Faustzahlen für Düngung im Walde*. BLV-Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München-Basel-Wien, 98 pp.
- HALBWACHS, G., (1982): *Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,350 pp.*
- HALBWACHS, G. (Hrsg.), (1994): *Erhebung des Waldzustandes im Raum Arnoldstein als Basis für die Beurteilung der Veränderungen nach Reduzierung der SO₂-Immissionen*. Endbericht zu Forschungsprojekt F732/91 des BMLF.
- HAUK, H. und RESCH W., (1982): *Beschreibung der Immissions-situation im Raum Arnoldstein*. In: Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,51-65.
- HERMAN, F., (1994): *Schwermetallgehalte von Fichtennadeln als Kriterium zur Beschreibung der Umweltsituation*. Dissertation der Universität für Bodenkultur.
- HÖHNE, H. und NEBE, W., (1964): *Der Einfluß des Baumalters auf das Gewicht sowie den Mineral- und Stickstoffgehalt einjähriger Fichtennadeln*. Archiv f. Forstwesen 13,153-167.
- HOLZER, K., W. TRANQUILLINI und P. ZWERGER (1982): *Über das Wachstum von Fichtenklongruppen in verschiedenen Seehöhen*. FBVA-Informationsdienst Nr. 213.
- HURRLE, (1981): *Schwermetalle in Nadelbäumen auf alten Bergbauhalden im Südschwarzwald*. Allgem. Forst- und Jagdzeitung 152,12.
- JOHANN, K., (1964): *Volumen und Volumenzuwachs in Jungbeständen der Fichte*. Forstw. Cbl. 83,65-78.
- KASPEROWSKI, E., (1993): *Schwermetalle in Böden im Raum Arnoldstein*. UBA-Wien, Monographie Nr. 33, 155pp.
- KILIAN, W., (1982): *Waldstandorte und Böden sowie deren Schwermetallbelastung im Immissionsgebiet Arnoldstein*. In: Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,325-350.
- MAIER, Chr., (1988): *Untersuchungen zur kleinräumigen Variabilität von Bodenparametern in Waldböden*. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. Heft 36,67-94.
- MUTSCH, F., (1992a): *Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil I: Lithogene Hauptnährstoffe*. Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 168/I: 59-88.
- MUTSCH, F., (1992b): *Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Teil II: Schwermetalle*. Mitt. der Forstlichen Bundesversuchsanstalt 168/II: 145-192.
- NEUMANN, M., (1991): *Entwicklung von Fichtenaufforstungen unter starkem Immissionseinfluß*. Cbl. ges. Forstwesen 108,331-365.

- NEUMANN, M. und POLLANSCHÜTZ, J., (1982): *Untersuchungen über Auswirkungen gasförmiger Immissionen auf Waldbestände im Raum Gailitz-Arnoldstein*. In: Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,265-288.
- POLLANSCHÜTZ, J., (1965): *Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs*. FBVA-Informationdienst 153.
- POLLANSCHÜTZ, J., (1983): *Immissionsresistente Kärntner Fichte?* Allgem. Forstzeitschrift 38,954-956.
- SCHÜTT, P. und KOCH W., (1978): *Allgemeine Botanik für Forstwirte*. Pareys Studentexte, Nr. 17,265 pp.
- STEFAN, K., (1982): *Darstellung der Immissions- und Ernährungssituation der Wälder im Raum Gailitz-Arnoldstein mit Hilfe chemischer Analysen*. In: Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,289-324.
- STEFAN, K., (1983): *Einfluß des Baumalters auf den Schwefelgehalt in den Nadeln von Fichte (Picea abies (L.) Karst.)*. Aquilo Ser. Botanica 19,140-146.
- STEFAN, K., (1989): *Zur Nährstoffversorgung des österreichischen Waldes - Nährelementgehalte in Nadelproben des österreichischen Bioindikatornetzes (1983-1987) und von Dauerversuchsflächen (1968-1987)*. In: First Workshop on ecological monitoring in forests. Usti n.L., p. 51-90.
- STERBA, H., JANDL, R. und ZEHENTNER H., (1990): *Zur Bonitierung junger Fichtenbestände*. Allgem. Forst- und Jagdzeitung 161,53-60.
- TRIMBACHER, C., (1996): *Zur Beeinflussung von Fichtennadeln im Raum Arnoldstein*. UBA-BE-062, Umweltbundesamt Wien.
- TRIMBACHER, C., O. ECKMÜLLNER und P. WEISS (1995): *Die Wachstumsqualität von Fichtennadeln Österreichischer Hintergrundstandorte*. Monographie Bd. 57, Umweltbundesamt Wien.
- VERGEINER I. und DREISEITL E., (1982): *Die Ausbreitungsverhältnisse von Schadstoffen im unteren Gailtal*. In: Das immissionsökologische Projekt Arnoldstein, CARINTHIA II, Sonderheft Nr. 39,29-50.
- WEBER M. und HUBER W., (1988): *Waldbau und Waldschäden - Ergebnisse von mehrjährigen Untersuchungen in geschädigten Fichten-Jungbeständen*. Forstw.Cbl. 197,26-38.
- Verfasser: Dr. Markus Neumann
Forstliche Bundesversuchsanstalt
Institut für Waldwachstum und Betriebswirtschaft
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien

Anhang

Auf Fläche 701 gesetzte und bis 1996 vorhandene Pflanzen

Baumart	1972	1973	1976	1981	1982	1983	1986	Summe gesamt	1996 N	vorhanden %
Fichte	741	89						830	8	1.0
Fichte-Pfropfung			28			6	162	196	149	76.0
Fichte-Kernwuchs			308					308	113	36.7
Pinus nigra			147					147	92	62.6
Pinus ponderosa				16		8		24	18	75.0
Sequoiadendron giganteum				42		27		69	16	23.2
Picea omorica				12	17			39	14	35.9
Robinia pseudoacacia				42	12			66	8	12.1
Sophora japonica				79	10			89	0	0.0
Picea pungens				85	12			97	60	61.9
Ailanthus altissima					9			9	0	0.0
Acer truncatus					20			20	0	0.0
Pinus tabulaeformis						10		10	3	30.0
Larix decidua						9		9	4	44.4
Taxus baccata						7		7	7	100.0
Thuja occidentalis						8		8	8	100.0
Thuja plicata						17		17	0	0.0
Acer pseudoplatanus						14		14	10	71.4
Tilia cordata						10		10	9	90.0
Tilia platyphylla						13		13	6	42.2
Abies cephalonica						10		10	1	10.0
Quercus rubra						22		22	20	90.9
Juglans nigra						10		10	1	10.0

Auf Fläche 702 gesetzte und bis zur Stammzahlreduktion 1993 vorhandene Pflanzen

Baumart	1972	1973	1976	1981	1982	1983	1986	Summe gesamt	1996 N	vorhanden %
Fichte	750	189						839	428	51.0
Fichte-Pfropfung			157			28	168	353	257	72.8
Fichte-Kernwuchs			43					43	33	76.7
Pinus nigra			41					41	12	29.3
Pinus ponderosa				4		2		6	3	50.0
Sequoiadendron giganteum				6		13		19	2	10.5
Picea omorica				3	40			43	31	72.1
Robinia pseudoacacia				5	38			43	29	67.4
Sophora japonica				5	40			45	0	0.0
Picea pungens				11		7		18	15	83.3
Ailanthus altissima					40			40	0	0.0
Acer truncatus					79			79	0	0.0
Pinus tabulaeformis					16			16	7	43.8
Larix decidua					11			11	5	45.5
Taxus baccata					12			12	12	100.0
Thuja occidentalis						12		12	12	100.0
Thuja plicata						20		20	20	100.0
Acer pseudoplatanus						6		6	6	100.0
Tilia cordata						7		7	5	71.4
Tilia platyphylla						9		9	9	100.0
Quercus rubra						15		15	13	87.7
Juglans nigra						8		8	7	87.5

Auf Fläche 703 gesetzte und bis zur Stammzahlreduktion 1984 vorhandene Pflanzen

Baumart	1972	1973	1976	1981	1982	1983	1986	Summe gesamt	1996 N	vorhanden %
Fichte	748	148						896	686	76.6
Fichte-Pfropfung			16					16	16	100.0
Fichte-Kernwuchs			31					31	15	48.4

FBVA-Berichte
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

			Preis in ÖS
1953	1	Forstliche Arbeitslehre und Menschenführung. Referate von der GEFFA-Tagung 1952 in Ort bei Gmunden (Oberösterreich). 137 Seiten	vergriffen
1954	2	FRAUENDORFER, R. Forstliche Hilfstafeln. 167 Seiten	vergriffen
1955	3	LOHWAG, K. Erkenne und bekämpfe den Hausschwamm und seine Begleiter! 61 Seiten	vergriffen
1955	4	GRÖLL, H.; TRAUNINGER, W. Neuzeitliche Forstsaatguterzeugung in Pflanzplantagen. I. Teil, Plusbaumauswahl und Pflanzung. 73 Seiten	20.—
1956	5	HAFNER, F.; HEDENIGG, W. Planiergerät im forstlichen Straßen- und Wegebau. 75 Seiten	20.—
1957	6	FRAUENDORFER, R. Planung und Durchführung von Stichprobenahmen. 65 Seiten	vergriffen
1958	7	FRAUENDORFER, R. Betriebswirtschaftliche Untersuchungen im steirischen Bauernwald. (Gemeinde Haslau 1955). 157 Seiten	50.—
1985	8	POLLANSCHÜTZ, J. Waldzustandsinventur 1984. Ziele - Inventurverfahren - Ergebnisse. 29 Seiten	vergriffen
1985	9	GLATTES, F.; SMIDT, S.; DRESCHER, A.; MAJER, C.; MUTSCH, F. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Einrichtung und Ergebnisse 1984. 81 Seiten	vergriffen
1985	10	MERWALD, I. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1974/75, 1975/76 und 1976/77. 76 Seiten	80.—
1986	11	STAGL, W.; DRESCHER, A. Wild - Vegetation - Forstschäden. Vorschläge für ein Beurteilungsschema. 19 Seiten	30.—
1986	12	NATHER, J. Proceedings of the International Symposium on Seed Problems under Stressfull Conditions, Vienna and Gmunden, Austria June 3.-8. 1985. 287 Seiten	vergriffen
1986	13	SMIDT, S. Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs. Ergebnisse 1984 und 1985. 32 Seiten	vergriffen
1986	14	EXNER, R. Die Bedeutung des Lichtfaktors bei Naturverjüngung. Untersuchungen im montanen Fichtenwald. 48 Seiten	vergriffen
1986	15	MERWALD, I. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1977/78, 1978/79 und 1979/80. 81 Seiten	90.—
1986	16	HAUK, E.; HÖLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	90.—

1987	17	MERWALD, I. Lawinenergebnisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1980/81 und 1981/82. 74 Seiten	80.—
1987	18	EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt/Salzburg). 102 Seiten	100.—
1987	19	HAUPOLTER, R. Baumsterben in Mitteleuropa. Eine Literaturübersicht. Teil 1: Fichtensterben. KREHAN, H.; HAUPOLTER, R. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Kiefernbestände - Bucklige Welt. 73 Seiten	vergriffen
1987	20	GLATTES, F.; SMIDT, S. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985. 65 Seiten	vergriffen
1987	21	RUETZ, W.; NATHER, J. Proceedings of the IUFRO Working Party on Breeding Strategy for Douglas-Fir as an Introduced Species. Working Party: S2.02-05. Vienna, Austria June 1985. 300 Seiten	300.—
1987	22	JOHANN, K. Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker. 66 Seiten	60.—
1987	23	POLLANSCHÜTZ, J.; NEUMANN, M. Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse. 98 Seiten	100.—
1987	24	KLAUSHOFER, F.; LITSCHAUER, R.; WIESINGER, R. Waldzustandsinventur Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern. 94 Seiten	100.—
1988	25	JOHANN, K. Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen. 88 Seiten	90.—
1988	26	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1986. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 114 Seiten	120.—
1988	27	SMIDT, S. Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur. 72 Seiten	80.—
1988	28	Forum Genetik - Wald - Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Kongresshaus Innsbruck. 192 Seiten	200.—
1988	29	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase. 52 Seiten	50.—
1988	30	MARCU, GH.; TOMICZEK, C. Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht. 23 Seiten	30.—
1988	31	KILIAN, W. Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong. 50 Seiten	50.—
1988	32	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987. 234 Seiten	250.—
1988	33	ENK, H. 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. 124 Seiten	130.—

1988	34	KREHAN, H. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Teil II: Fichtenbestände im Ausserfern (Tirol) und im grenznahen Gebiet des Mühl- und Waldviertels. 60 Seiten	60.—
1988	35	SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87. 138 Seiten	145.—
1989	36	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (8). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 128 Seiten	130.—
1989	37	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 100 Seiten	105.—
1989	38	MERWALD, I. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84. 92 Seiten	100.—
1989 Sonderheft		SCHNEIDER, W. Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. 118 Seiten	200.—
1989	39	KREHAN, H. Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. 58 Seiten	60.—
1989	40	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldbereich Österreichs. 134 Seiten	140.—
1990	41	KILLIAN, H. Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn. 162 Seiten	165.—
1990	42	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987. 98 Seiten	100.—
1990	43	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (9). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 80 Seiten	80.—
1990	44	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 33 Seiten	35.—
1990	44A	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988 (Anhang). Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 230 Seiten	280.—
1990 Sonderheft		KILIAN, W.; MAJER, C. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. 58 Seiten	70.—
1990	45	NEUMANN, MARKUS; SCHADAUER, K. Waldzustandsinventur. Methodische Überlegungen und Detailauswertungen. 88 Seiten	90.—
1990	46	Zusammenkunft der Deutschsprachigen Arbeitswissenschaftlichen und Forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten. Bericht über die 18.Zusammenkunft vom 18.-20.April 1990. 286 Seiten	340.—
1991	47	SMIDT, S. Beurteilung von Ozonmeßdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. 87 Seiten	90.—
1991	48	ENGLISCH, M.; KILIAN, W.; MUTSCH, F. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Erste Ergebnisse. 75 Seiten	80.—
1991	49	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. 128 Seiten	130.—

1991	50	SMIDT, S. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. 90 Seiten	90.—
1991	51	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien, I. 33 neue Bockkäfer aus der palaearktischen und orientalischen Region (Coleoptera, Cerambycidae). 75 Seiten	200.—
1991	52	FÜRST, A. Der forstliche Teil der Umgebungsüberwachung des kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr. Ergebnisse von 1981 bis 1990. 42 Seiten	45.—
1991	53	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1977-1979. 80 Seiten	80.—
1991	54	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1980-1982. 78 Seiten	80.—
1991	55	WIESINGER, R.; RYS, J. Waldzustandsinventur: Untersuchung der Zuwachsverhältnisse an Wald- und Bestandesrändern. 60 Seiten	60.—
1991	56	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 60 Seiten	95.—
1991	57	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1989/90. 28 Seiten	30.—
1991	58	STAGL, W.; HACKER, R. Weiden als Prosshölzer zur Äsungsverbesserung. 56 Seiten	60.—
1991	59	HOLZER, K.; OHENE-COFFIE, F.; SCHULTZE, U. Vegetative Vermehrung von Fichte für Hochlagenaufforstungen. Physiologische und phänologische Probleme der Anpassung. 73 Seiten	75.—
1991	60	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien II. 63 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand, (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 71 Seiten	140.—
1992	61	STAGL, W. Auswertung der "Trakte" zum Staatsvertrag "Vereinbarung zwischen Bund und dem Land Kärnten über gemeinsame Maßnahmen zur Sicherung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wald und Wild". 62 Seiten	105.—
1992	62	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1983-1985. 72 Seiten	75.—
1992	63	FÜRST, A. Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. 37 Seiten	40.—
1992 Sonderheft 1		DRAGOVIC, N. Terminologie für die Wildbachverbauung. Fachwörterbuch deutsch - serbokroatisch. Terminologija Uredjenja Bujicnih Tokova. Recnik Strucnih Termina Srpskohrvatsko - Nemacki. 43 Seiten	50.—
1992	64	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1986-1988. 91 Seiten	95.—
1992	65	NATHER, J. (HRSG.) Proceedings of the meeting of IUFRO - WP S2.02-21 on "Actual problems of the legislation of forest reproductive material and the need for harmonization of rules at an international level". Gmunden / Vienna - Austria, June 10. - 14. 1991. 180 Seiten	200.—
1992	66	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1989. 60 Seiten	60.—

1992	67	Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal. Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofil Zillertal". 152 Seiten	180.—
1992	68	LUZIAN, R. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91. 188 Seiten	200.—
1992	69	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien III. 57 neue Bockkäfer aus Asien. Vorwiegend aus China, Thailand und Vietnam (Coleoptera, Cerambycidae). 63 Seiten	120.—
1992	70	Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Erste Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofile Achenkirch". 103 Seiten	100.—
1992	71	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Beiträge zum WBS-Seminar vom 23. April 1992. 111 Seiten	115.—
1992	72	VOSHMIGIR, D. (BEARB.). Das Schrifttum der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Teil IV: 1974 bis 1990. 115 Seiten	80.—
1993	73	MÜLLER, F. Auswahl und waldbauliche Behandlung von Gen-Erhaltungswäldern. 24 Seiten	25.—
1993	74	Lawinenbericht 1991/92. Dokumentation und Fachbeiträge. 110 Seiten	80.—
1993	75	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien IV. 60 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand (Coleoptera: Cerambycidae). 63 Seiten	100.—
1994	76	SCHADAUER, K. Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. 160 Seiten	200.—
1994	77	KAISER, A. Projekt "Höhenprofil Zillertal" Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. 95 Seiten	80.—
1994	78	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Höhenprofil Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. 134 Seiten	120.—
1994	79	FÜRST, W.; JOHANN, K. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. 53 Seiten	55.—
1994	80	ANDRECS, P. Schadensereignisse in Wildbacheinzugsgebieten Österreichs 1990 und 1991. 47 Seiten	50.—
1994	81	GEBUREK, T.; MÜLLER, F.; SCHULTZE, U. Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. 113 Seiten	100.—
1994	82	KILIAN, W.; MÜLLER, F.; STARLINGER, F. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturgliederung nach waldböologischen Gesichtspunkten. 60 Seiten	70.—
1995	83	JOHANN, K. Ergebnis der Großdüngungsversuche St. Martin und Flachau Ertragskundlicher Abschlußbericht. 102 Seiten	100.—
1995	84	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 65 neuen Bockkäfern aus Europa und Asien, vorwiegend aus Thailand und China (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 63 Seiten	60.—
1995	85	KRISTÖFEL, F.; POLLANSCHÜTZ, J. Entwicklung von Fichtenpflanzen nach Triebrückschnitten. 17 Seiten	20.—
1995	86	CECH, T.; TOMICZEK, C. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achenental. 46 Seiten	50.—
1995	87	HERMAN, F., SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. 288 Seiten	450.—

1995	88	CECH, T.; PERNY, B.; DONAUBAUER, E. Wipfelsterben an Jungfichten in Österreich und beteiligte Mikropilze. 32 Seiten	50.—
1995	89	MARKART, G.; KOHL, B. Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. 38 Seiten	60.—
1995	90	LANG, E. Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen 70 Seiten	100.—
1995	91	LUZIAN, R.; RAMMER, L.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenbericht 1992/93 - Dokumentation und Fachbeiträge 52 Seiten	80.—
1995	92	SCHIELER, K.; BÜCHSENMEISTER, R.; SCHADAUER, K. Österreichische Forstinventur - Ergebnisse 1986/90 262 Seiten	250.—
1996	93	NEUMANN, M. (Hrsg.) Österreichisches Waldbeobachtungssystem Beiträge zum 4. WBS-Seminar in Wien am 23. November 1995 177 Seiten	260.—
1996	94	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen 291 Seiten	350.—
1997	95	MÜLLER, F. Waldbau an der unteren Waldgrenze 129 Seiten	190.—
1997	96	LANG, E.; STARY, U.; KOHL, B.; MARKART, G.; PROSKE, H.; TRINKAUS, P.; ANDRECS, P.; GOTTSCHLING, H. Beiträge zur Wildbachforschung 51 Seiten	80.—
1997	97	RASCHKA, H.-D. Forstliche Biomasseproduktion im Kurzumtrieb 29 Seiten	50.—
1997	98	KELLER, G. Mykosoziologische Studie über die Mykorrhizapilze der Zirbe - Artenspektrum und Sukzession in der hochsubalpinen Stufe der Tiroler Zentralalpen 74 Seiten	110.—
1997	99	SMIDT, St. Lexikon für waldschädigende Luftverunreinigung mit Index Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch 209 Seiten	318.—
1997	100	KRONFUSS, H. Das Klima einer Hochlagenaufforstung in der subalpinen Höhenstufe - Haggen im Sellraintal bei St. Sigmund, Tirol (Periode 1975 - 1994) in Arbeit	...—
1998	101	NEUMANN, M. Waldwachstumskundlicher Rauchhärteest „Arnodstein“ - Auswertung einer 25jährigen Fallstudie 42 Seiten	60.—

