

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

ISSN 0002-5852

Sonderdruck

INHALTSVERZEICHNIS

AUFSÄTZE

P. Benecke	Wald und Grundwasser (Forest and groundwater)	21
P. H. Dong, A. van Laar und H. Kramer	Ein Modellansatz für die Waldschadensforschung (A model for research of forest decline)	28
C. E. Grünklee, K. G. Kern und W. Moll	Schwermetallodynamik in Müllkompostversuchen auf Forststand- orten des Pfälzerwaldes (Heavy metal dynamics in trials with composted municipal waste in the Palatinate Forest)	32
J. B. Larsen	Waldbauliche Probleme und Genökologie der Weißtanne (<i>Abies alba</i> MILL.) (Silvicultural problems and gene ecology of European Silver fir (<i>Abies alba</i> MILL.))	39
H. Pretzsch	Zur Zuwachs-Reaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz (On the increment reactions of the forest stands in the surround- ing from the Schwandorf brown coal power plant in Upper Palatia/Bavaria)	43
BUCHBESPRECHUNGEN		54
NOTIZ		56
BERICHTIGUNG		56

160. JAHRGANG 1989 HEFT 2/3 FEBR./MÄRZ

J.D. SAUERLÄNDER'S VERLAG FRANKFURT AM MAIN

ALLGEMEINE FORST UND JAGDZEITUNG

Unter Mitwirkung der
Mitglieder der Lehrkörper der Forstlichen Fakultäten
von Freiburg i. Br. und Göttingen

herausgegeben von

Dr. H. Steinlin
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Freiburg i. Br.

Dr. H. Kramer
o. Professor
der Forstwissenschaft an der
Universität Göttingen

ISSN 0002-5852

Erscheinungsweise: Jährlich 12 Hefte, bei Bedarf Doppelhefte (zweimonatlich).

Bezugspreis: Jährlich DM 196,— zuzüglich Zustellgebühr; Studenten und in Ausbildung befindliche Forstreferendare DM 156,80 (empf. Richtpreis). Preis der Einzelhefte je nach Umfang verschieden.

Bezug: Durch den Buchhandel oder direkt vom Verlag. Das Abonnement gilt jeweils für einen Jahrgang. Es läuft weiter, wenn nicht unmittelbar nach Lieferung des Schlußheftes eines Jahrgangs eine Abbestellung erfolgt.

Manuskripte (es werden nur Erstarbeiten veröffentlicht) sind nach vorheriger Anfrage an die Herausgeber einzusenden. Für unverlangt eingegangene Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Rücksendung erfolgt nur, wenn Rückporto beiliegt.

Manuskripte mit Tabellen oder Abbildungen werden nur angenommen, wenn die Tabellen-Überschriften und die Abbildungs-Unterschriften neben deutscher auch in englischer Sprache abgefaßt sind.

Der Autor hat in der Regel auch die Zusammenfassung in englischer Sprache mitzuliefern. Die Übersetzung ins Französische kann dagegen durch den Verlag erfolgen.

Interessierte Autoren bitten wir, die Hinweise zu beachten, die beim Verlag oder den Herausgebern zu erhalten sind.

Die in dieser Zeitschrift veröffentlichten Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Übersetzung, Nachdruck – auch von Abbildungen –, Vervielfältigung auf photomechanischem oder ähnlichem Wege oder im Magnettonverfahren, Vortrag, Funk- und Fernsehsendung sowie Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen – auch auszugsweise – bleiben vorbehalten. Werden von einzelnen Beiträgen oder Teilen von ihnen einzelne Vervielfältigungsstücke im Rahmen des § 54 UrhG hergestellt und dienen diese gewerblichen Zwecken, ist dafür eine Vergütung gem. den gleichlautenden Gesamtverträgen zwischen der Verwertungsgesellschaft Wissenschaft GmbH, 6000 Frankfurt/Main, Großer Hirschgraben 17–21, und dem Bundesverband der Deutschen Industrie e. V., dem Gesamtverband der Versicherungswirtschaft e. V., dem Bundesverband deutscher Banken e. V., dem Deutschen Sparkassen- und Giroverband und dem Verband der Privaten Bausparkassen e. V., in die VG Wissenschaft zu entrichten.

Die Vervielfältigungen sind mit einem Vermerk über die Quelle und den Vervielfältiger zu versehen. Erfolgt die Entrichtung der Gebühren durch Wertmarken der VG Wissenschaft, so ist für jedes vervielfältigte Blatt eine Marke im Wert von DM 0,40 zu verwenden.

Anzeigenannahme: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, 6000 Frankfurt am Main.

Anzeigenpreis: Die 43 mm breite mm-Zeile DM 0,87. Für Geschäftsanzeigen gilt die Preisliste Nr. 8. Anfragen an Verlag erbeten.

Verlag: J. D. Sauerländer's Verlag, Finkenhofstraße 21, 6000 Frankfurt am Main, Fernruf (069) 555217. Bankkonten: Commerzbank, Frankfurt a. M. 5408075; Stadtparkasse Frankfurt a. M. (Girokonto 96958); Postgirokonto: Frankfurt a. M. Nr. 896-607.

This journal is covered by Biosciences Information Service of Biological Abstracts, by Chemical Abstracts, by Current Contents Series Agriculture, Biology and Environmental Sciences (CC/AB) and by the Science Citation Index® (SCI®) of Institute for Scientific Information.

Die Anschriften der Mitarbeiter von Heft 2/3 des 160. Jahrgangs sind:

Prof. Dr. P. BENECKE, Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen, Büsingenweg 2, D-3400 Göttingen

Dr. P. H. DONG, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsingenweg 5, D-3400 Göttingen

Dipl.-Agraringenieur C. E. GRÜNEKLEE, Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Justus-Liebig-Universität Gießen, Wiesenstraße 3–5, D-6300 Gießen

Prof. Dr. O. KANDLER, Botanisches Institut der Universität München, Menzinger Straße 67, D-8000 München 19

Prof. Dr. K. G. KERN, Forstamt Edenkoben, Weinstraße 29, D-6732 Edenkoben

Prof. Dr. H. KRAMER, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde der Universität Göttingen, Büsingenweg 5, D-3400 Göttingen

Prof. Dr. A. VAN LAAR, Forstwissenschaftliche Fakultät der Universität Stellenbosch, Stellenbosch, Südafrika

Dr. J. B. LARSEN, Institut für Waldbau der Universität Göttingen, Büsingenweg 1, D-3400 Göttingen

Prof. Dr. W. MOLL, Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Universität Gießen, Wiesenstraße 3–5, D-6300 Gießen

Dipl.-Forstwirt J. PRETZSCH, Kartäuserstraße 35, D-7800 Freiburg

Prof. Dr. R. ZUNDEL, Institut für Forstpolitik, Holzmarktlehre, Forstgeschichte und Naturschutz der Universität Göttingen, Büsingenweg 5, D-3400 Göttingen

Die Buchbesprechungen erfolgten von:

Dipl.-Forstwirt R. LÄSSIG, Institut für Waldwachstum der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-7800 Freiburg

Prof. Dr. J. SCHÖNHERR, Forstzoologisches Institut der Universität Freiburg, Bertoldstraße 17, D-7800 Freiburg

Prof. Dr. H. STEINLIN, Eichhalde 68, D-7800 Freiburg

Übersetzung der Résumés,

soweit sie nicht von den Autoren zur Verfügung gestellt werden:

J. MAHEUT, 25 Av. du Gal Leclerc, F-54600 Villers-les-Nancy

Zur Zuwachs-Reaktionskinetik der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf in der Oberpfalz

(Mit 16 Abbildungen)

Von H. PRETZSCH

(Angenommen Juni 1988)

SCHLAGWÖRTER

Immissionsbelastung; Braunkohlekraftwerk; Zuwachsminderung; Kiefer; Oberpfalz

1. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Das Braunkohlekraftwerk Schwandorf liegt im Zentrum des nordostbayerischen Kiefernverbreitungsgebietes in der Oberpfalz. Es zählt zu den wichtigsten Punkt-Emissionsquellen in dieser Region. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens am Lehrstuhl für Waldwachstumskunde wurde die Frage gestellt: Gibt es Zusammenhänge zwischen der Schadstoffbelastung durch das Kraftwerk in Schwandorf und dem Gesundheitszustand und Wuchsverhalten der umliegenden Kiefernwälder? Betrachtet werden hier die Kiefernwälder in der Region zwischen Parsberg und Neunburg v. Wald bzw. Weiden und Regensburg (vgl. Abb. 1).

Die Kiefernwälder im Untersuchungsgebiet sind ein Musterbeispiel für die Auswirkungen anthropogener Einflußnahme auf den Wald. Die Kiefer stockt hier auf Böden, die vielfach schon von Natur aus empfindlich und nährstoffarm sind und infolge jahrhundertelanger Einflußnahme durch den Menschen (Kahlschlagwirtschaft, Streunutzung, Waldweide) degradiert wurden. Mit Übergang zu einer pfleglicheren Waldbehandlung seit Mitte unseres Jahrhunderts wurden die Hauptursachen der standörtlichen Verarmung beseitigt und die Voraussetzungen für eine Verbesserung der Ertragsleistung geschaffen (vgl. SCHMIDT, 1971).

Gleichzeitig haben infolge der Industrialisierung die vegetations-schädlichen Luftverunreinigungen in diesem Gebiet stark zugenommen und stellen eine neue Bedrohung der Waldbestände dar.

Unsere Fragestellung: Gibt es Zusammenhänge zwischen der Schadstoffbelastung durch das Braunkohlekraftwerk in Schwandorf und der Vitalität der umliegenden Kiefernwälder birgt eine ganze Palette wichtiger Aspekte der Waldschadensproblematik. Im folgenden möchte ich auf einige Punkte davon näher eingehen, die zugleich den roten Faden durch meine Ausführungen bilden:

1. Wie sieht das Wuchsverhalten gesunder Bestände in unserem Untersuchungsgebiet aus?
2. Welche Zuwachsdynamik zeichnet sich in geschädigten und schwerkranken Beständen ab?
3. Für erkrankte Bestände werden schadbedingte Zuwachsverluste errechnet.
4. Es wird der Frage nachgegangen, ob sich im Untersuchungsgebiet Zonen mit einer unterschiedlichen Zuwachs-Reaktionskinetik bzw. unterschiedlichem Krankheitsverlauf voneinander abgrenzen lassen.
5. Es wird ein Überblick über die Belastungslage im Untersuchungsgebiet gegeben.
6. Auf diesen Grundlageninformationen aufbauend, werden die Zusammenhänge zwischen der Belastungsintensität durch das Kraftwerk und der Dynamik des Krankheitsprozesses im Untersuchungsgebiet analysiert.

Das Untersuchungsareal umfaßt Randgebiete des Landkreises Regensburg sowie weite Teile der Landkreise Schwandorf und Amberg, in denen die Emissionen durch Schwefeldioxid, Stickoxide und Staub aus industriellen Feuerstätten weit über dem Regionsdurchschnitt liegen. Das Braunkohlekraftwerk in Schwandorf hatte insbesondere in den sechziger und siebziger Jahren einen beträchtlichen Anteil an der Gesamtflächenbelastung (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 1980; Bayernwerk AG, 1985). Die Belastung durch andere Industriebetriebe im Raum Schwandorf, Amberg, Sulzbach-Rosenberg und Burglengenfeld ist demgegenüber regional begrenzt.

Das Forschungsvorhaben wurde im Frühjahr 1985 eingeleitet und hauptsächlich aus Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, ferner aus Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanziert. Der Oberforstdirektion Regensburg und den Forstämtern sowie den Kommunal- und Privatwaldbesitzern im Untersuchungsgebiet gebührt mein Dank für die Unterstützung der Arbeiten. Für die Bereitstellung wertvoller In-

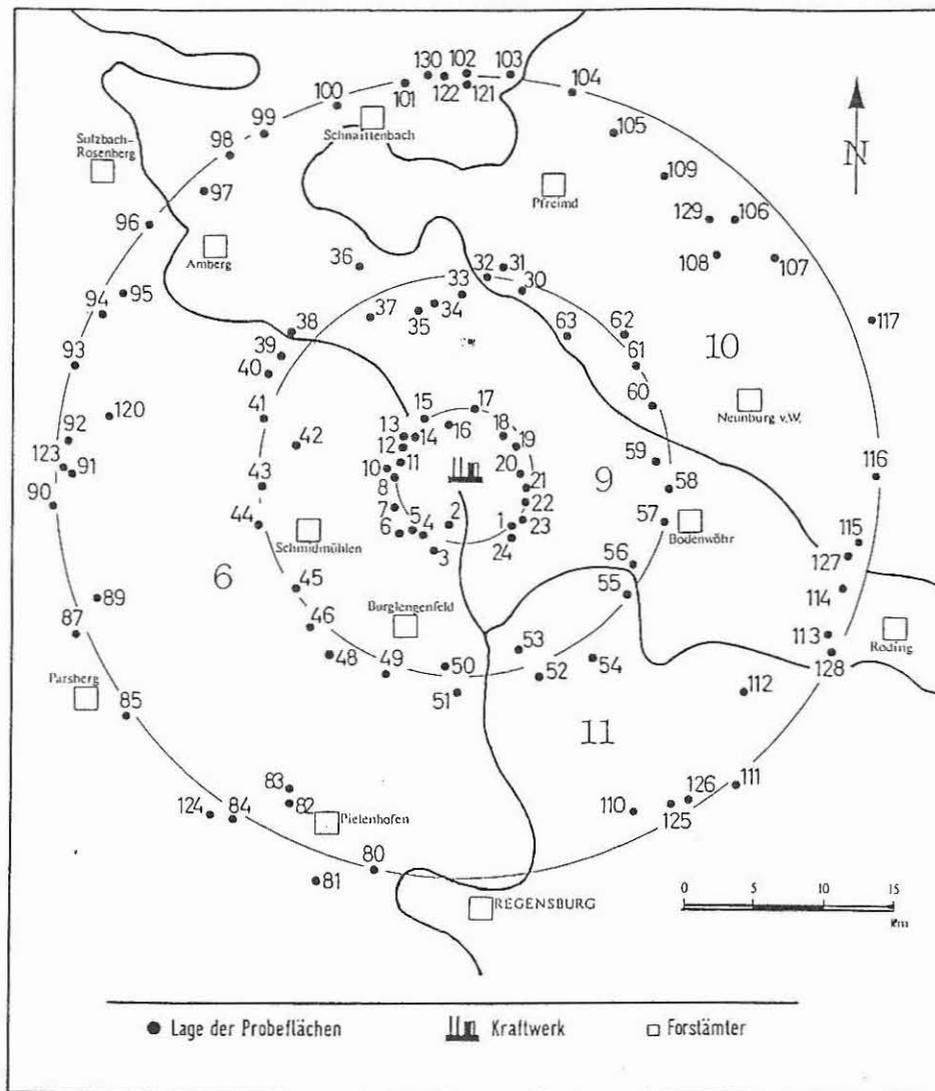


Abb. 1

Anordnung der Probeflächen im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwanndorf. Insgesamt 103 Probeflächen liegen auf 3 konzentrischen Kreisen um die Emissionsquelle herum. Auf dem inneren Kreis (5 km Radius) befinden sich 23 Probeflächen, auf dem mittleren (15 km) und äußeren Kreis (30 km) liegen 33 bzw. 47 Probeflächen.

Hervorgehoben sind die Grenzen zwischen den Wuchsgebieten 6, 9, 10 und 11

The 103 sample plots on three circles in the emission area. Inner circle (5 km radius) with 23 sample plots, middle circle (15 km) with 33 sample plots and outer circle (30 km) with 47 sample plots

formationen über die Belastungslage im Untersuchungsraum sei der Bayernwerk AG und dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz gedankt.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Holzing, SERAFIN für die wirkungsvolle Mitarbeit bei der Einrichtung des Probeflächen-netzes.

2. KONZEPTION DER UNTERSUCHUNG

Zur Untersuchung unserer Fragestellung waren wir auf folgende Datengrundlage angewiesen:

Zum einen auf eine präzise Erfassung des Zustandes der Waldbestände und eine retrospektive Ermittlung des Zuwachsganges über Stamm- und Bohrspananalysen.

Zum anderen auf eine detaillierte Beschreibung der Belastungslage im Untersuchungsraum.

Um die gebiets- und zeitraumtypische Entwicklung des Waldwachstums in der Umgebung des Kraftwerkes zu erfassen, wurde

folgendes Stichprobensystem entwickelt (vgl. FRANZ, PRETZSCH und RÖHLE, 1987).

Auf 3 konzentrischen Kreisen mit Radien von 5 km, 15 km und 30 km um das Kraftwerk herum wurden insgesamt 103 Probeflächen mit je 20 Bäumen angelegt (vgl. Abb. 1). Mit der Anlage der Probeflächen bis zu Entfernungen von 30 km vom Kraftwerk wird ein Raum abgedeckt, in dem sowohl mit Nah- als auch mit Fernwirkungen der werksbedingten Immissionen zu rechnen ist. Die Probeflächen wurden auf den Kreisen nach einem Verteilungsplan angeordnet, der eine objektive Stichprobenziehung und repräsentative Flächenauswahl gewährleistet. Ausgewählt wurden Kiefernreinbestände mit einem Mindestalter von 50 Jahren.

Wertvolle Hinweise zur Einrichtung des Probeflächen-netzes konnten den Arbeiten von EDER (1978), LUX (1965), LUX und MORSTEIN (1982) und WESTMAN (1974 und 1982) entnommen werden.

Auf den Probeflächen erfolgte eine ertragskundliche Vollaufnahme und Vitalitätsansprache an allen Bäumen. Zur Rückverfolgung

des Zuwachsganges in den letzten 40 Jahren wurden pro Baum 2 Bohrspäne entnommen.

In Kieferschadbeständen in den Forstämtern Amberg und Burglengelfeld wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Forstpflanzenzüchtung und Immissionsforschung, dem Institut für Holzforschung und dem Lehrstuhl für Landschaftstechnik eine interdisziplinäre Waldschadensuntersuchung durchgeführt, über deren Ergebnisse gesondert berichtet wurde (vgl. PRETZSCH, 1987b).

3. REGIONALTYPISCHES ZUWACHSVERHALTEN DER KIEFER IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

3.1. Wuchsdynamik in ungeschädigten Beständen

Aus Abbildung 2 ist zu entnehmen, in welchem Spektrum sich die Höhenwachstumsverläufe von ungeschädigten Bäumen aus den Forstämtern Burglengelfeld und Schnaittenbach bewegen. Zum Vergleich wurden die Oberhöhenverläufe nach FRANZ (1983a) für die mäßige Durchforstung dargestellt.

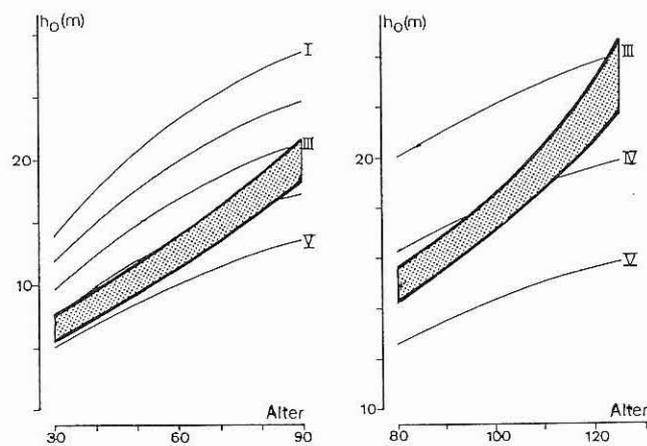


Abb. 2

Oberhöhenentwicklung von Kiefern der Weiserflächen bei Burglengelfeld – links – (Bestandesalter 90 Jahre, Bonität III.3) und im Forstamt Schnaittenbach – rechts – (Bestandesalter 126 Jahre, Bonität III.4) im Vergleich zu den Oberhöhenverläufen nach FRANZ (1983a) für die mäßige Durchforstung

Development of the top-height on experimental plots near Burglengelfeld (left) and Schnaittenbach (right) in comparison to the curves from FRANZ (1983a) for moderate thinning

Die Abbildung verdeutlicht eine Wuchsdynamik, wie sie für das Untersuchungsgebiet charakteristisch ist: Die Höhenwachstumsverläufe folgen bis in die fünfziger Jahre dem Höhenfächer unserer Wachstumsmodelle. In der Folgezeit zeichnete sich in der Kronen- und Höhenentwicklung der analysierten Probestämme eine deutliche Bonitätsverbesserung ab.

Ein ähnlicher zeitraumtypischer Zuwachstrend spiegelt sich in den ha-bezogenen jährlichen Grundflächenzuwächsen wider, die aus Bohrsplananalysen hergeleitet wurden. Abbildung 3 zeigt die Grundflächenzuwachsverläufe von einigen Probestämmen aus dem Untersuchungsgebiet im Vergleich zu den Tafelwerten nach WIEDEMANN (1948) m. Df. für die I. und V. Bonität.

In der überwiegenden Zahl der ungeschädigten Bestände zeichnet sich seit 20 bis 30 Jahren – zeitgleich mit der Forcierung des Höhenwachstums – ein außergewöhnlicher Zuwachsanstieg in der Grundflächen- und Volumenleistung ab.

Ein ähnliches zeitraumtypisches Wuchsverhalten ist auch auf Versuchsfeldern in süddeutschen Fichten- und Buchenbeständen festzustellen und schon wiederholt in der ertragskundlichen Diskussion unter dem Schlagwort „Zuwachshoch der fünfziger und sechziger

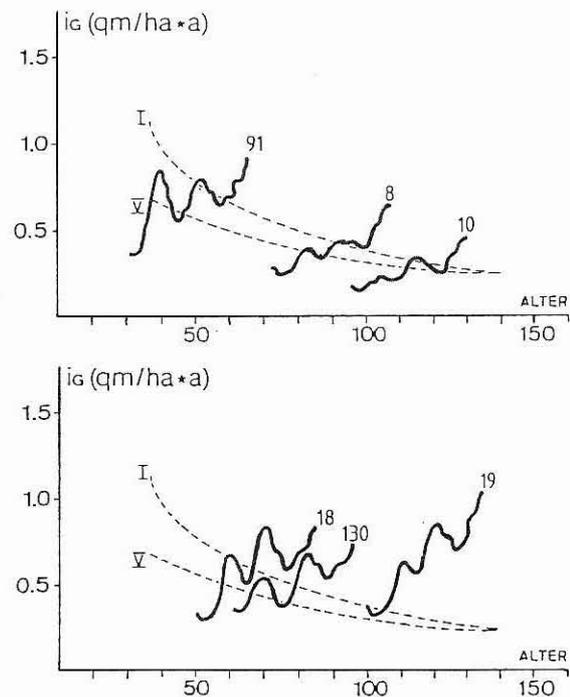


Abb. 3

Entwicklungsgang der jährlichen Bestandes-Grundflächenzuwächse (geglättete Kurven) für Probestämme aus den Wuchsgebieten Oberpfälzer Jura (oben) und Oberpfälzer Becken (unten); im Vergleich dazu sind die entsprechenden Tafelwerte nach WIEDEMANN (1948) m. Df. für die I. und V. Bonität eingezeichnet
Development of the annual increment of the stand basal area for sample plots out of the growth area Oberpfälzer Jura (upper) and Oberpfälzer Becken (lower) in comparison to the table of WIEDEMANN (1948) for moderate thinning

Jahre“ erwähnt worden (vgl. FRANZ, 1983b; PRETZSCH, 1985 und 1987a).

3.2. Wuchsverhalten geschädigter Bestände

Welches Wuchsverhalten zeigen nun solche Bäume und Bestände, die heute stark geschädigt sind, also am anderen Ende der Vitalitätskala stehen?

Die erwähnte Forcierung des Zustandes spiegelt sich – weitgehend unabhängig vom Schädigungsgrad – in den Höhenwachstumsgängen der meisten Untersuchungsbaume wider. Seit ca. 10 Jahren zeichnet sich aber bei den geschädigten Bäumen, im Gegensatz zu den vitalen Vergleichsbäumen, ein Einbruch in der Höhenentwicklung ab.

Ein ähnlicher Entwicklungstrend kommt in den Volumenzuwachsgängen erkrankter Probestämme zum Ausdruck: Auf Abbildung 4 ist der Kurvenverlauf des jährlichen Volumenzuwachses über dem Alter für 2 etwa 120jährige Bäume aus dem Forstamt Amberg dargestellt. Unabhängig vom heutigen Schädigungsgrad zeichnet sich seit den sechziger Jahren an beiden Probestämmen ein ungewöhnlich starker Anstieg der jährlichen Volumenleistung ab. Dieser Anstieg dauert bei gesunden Bäumen bis heute an. In dem Schaftwachstum des geschädigten Probestammes spiegelt sich in den letzten 10 bis 15 Jahren eine Abnahme des Leistungsvermögens wider.

Es ist eine ganz charakteristische Erscheinung, daß der abrupte Zuwachsrückgang der schwerkranken Bäume an eine Zuwachshochphase anschließt, in welcher sich die Bäume auf einem äußerst hohen – zuvor nicht erreichten – Zuwachsniveau bewegten (vgl. PRETZSCH, 1987b).

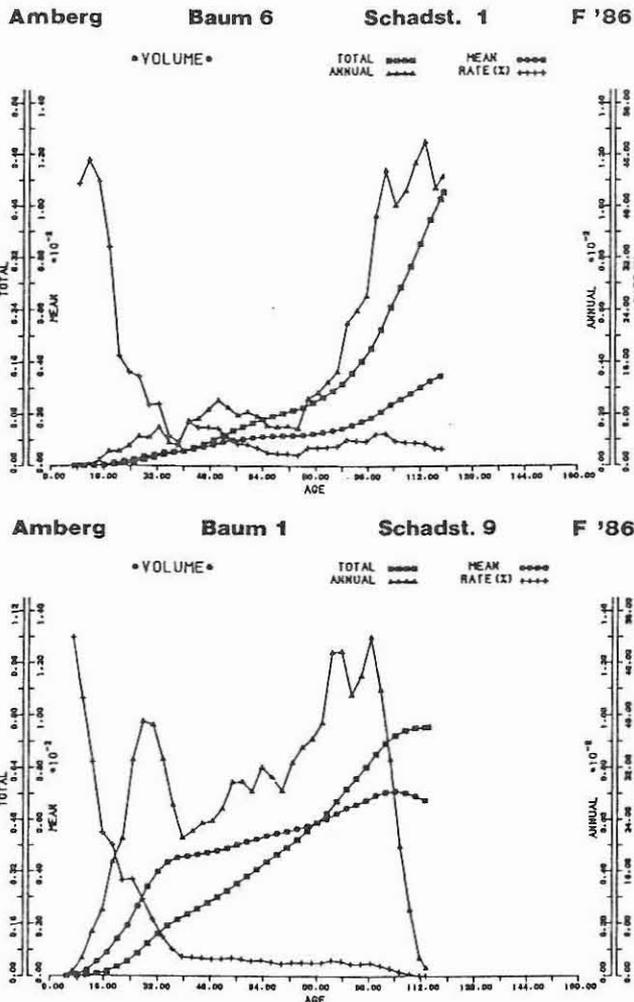


Abb. 4

Volumenentwicklung der Probestämme 6 (kaum geschädigt) – oben – und 1 (stark geschädigt) – unten – von Probestfläche 43 im Forstamt Amberg.
 Total: Gesamtwuchsleistung – Mean: durchschnittlicher Zuwachs
 Annual: lfd. jährlicher Zuwachs – Rate: Zuwachsprozent
 Volume development for an almost undamaged tree (upper) and a strongly damaged tree (lower) from the sample plot 43 near Amberg

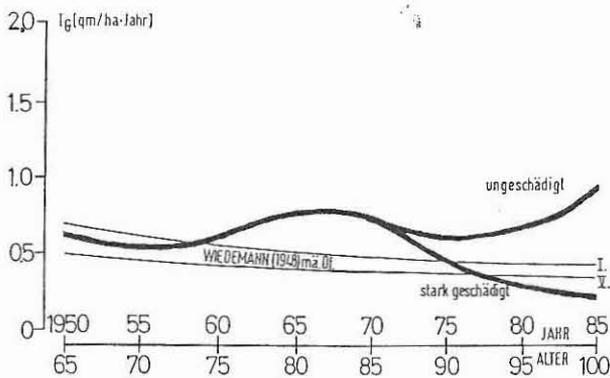


Abb. 5

Grundflächen-Zuwachsverläufe ungeschädigter und stark geschädigter Bestände im Alter 100 im Vergleich zu den Tafelangaben von WIEDEMANN (1948) m. Df. in schematischer Darstellung
 Basal area increment from undamaged and strongly damaged stands, aged 100, compared to the yield table from WIEDEMANN (1948) for moderate thinning

Auf Abbildung 5 sind die mittleren Bestandesgrundflächen-Zuwachsverläufe einiger ungeschädigter und stark geschädigter Probestflächen im Alter 100 schematisch dargestellt; zum Vergleich wurden die Ertragstafel-Angaben nach WIEDEMANN (1948) m. Df. für die I. und V. Bonität eingezeichnet. Die Zuwachsleistung heute geschädigter Bestände liegt in vielen Fällen vor Eintritt der Schädigung (in den fünfziger und sechziger Jahren) um 50 % bis 100 % über den Angaben der Ertragstafel und bewegt sich auch nach Einsetzen der Schäden zunächst auf einem Niveau, das über den Tafelwerten liegt. Würde die krankheitsbedingte Leistungsminderung auf Basis der Ertragstafel beurteilt, so würde das zu einer völligen Verkenntung (Unterschätzung) des Schadgrades führen: Deutlich geschädigte Kiefernbestände mit Zuwachseinbußen von 20 % bis 30 % liegen in der Zuwachsleistung häufig noch über den Angaben der Ertragstafel; erst bei fortgeschrittener Erkrankung wird das Zuwachsniveau der Ertragstafel deutlich unterschritten.

4. SCHADBEDINGTE ZUWACHSMINDERUNG AUF DEN PROBEFLÄCHEN

4.1. Berechnung schadbedingter Zuwachseinbußen

Bei der Feinanalyse der Zuwachsgänge in Schadbeständen betrachten wir jetzt nicht mehr die absoluten Zuwachsgrößen sondern die prozentualen Abweichungen der Zuwachskurven von der Referenzkurve für den „normalen“ Zuwachsverlauf.

Auf das Problem der Referenzherleitung – das ja schon wiederholt diskutiert wurde – kann hier nicht näher eingegangen werden. Es soll lediglich erwähnt werden, daß für jeden Bestand eine bestandesindividuelle Referenzkurve für den „normalen“ Zuwachsverlauf aus dem Zuwachsgang der vitalen, ungeschädigten Bäume des Bestandes hergeleitet wurde. Dieses Verfahren der „bestandesinternen Referenzbildung“, auch als „bestandesinterner Schadklassenvergleich“ bezeichnet, hat sich u. a. in Untersuchungen von PRETZSCH (1987b), RÖHLE (1987), SCHÖPFER und HRADETSKY (1986) und SCHÖPFER (1987) zur Errechnung schadbedingter Zuwachsverluste bewährt. Das Verfahren bietet den Vorteil, daß das aufgezeigte zeitraumtypische Zuwachsverhalten (Zuwachshoch der fünfziger und sechziger Jahre) in der Referenzkurve Berücksichtigung findet.

Auf Abbildung 6 sind die mittleren Grundflächenzuwachsverläufe von Bestandesgliedern unterschiedlicher Schädigungsgrade in Relation zu dem Zuwachsgang aufgetragen, der unter ungestörten Verhältnissen zu erwarten wäre (0-%-Referenzlinie). Für die Baumkollektive mit unterschiedlichen Nadelverlusten sind die mittleren Zuwachseinbußen (in %) in Relation zur Referenzlinie aufgetragen. Das ursprünglich 11stufige Klassierungsschema nach 10-%-Stufen gleicher Nadelverluste wurde zu 3 Stufen zusammengefaßt, wodurch sich die Klassenbesetzung erhöht und sich die Kurvenverläufe stabilisieren. Den mittleren Zuwachsverlustkurven ist jeweils die Klassenbesetzung – d. h. die Anzahl der zugeordneten Bäume – angefügt.

4.2. Die charakteristische Zuwachsentwicklung in Schadbeständen

Erste schadbedingte Zuwachsreaktionen und stärkere Zuwachseinbußen setzen, wie bereits erwähnt, in den meisten untersuchten Kieferschadbeständen in den Jahren 1970 bis 1975 ein. Seit Beginn der siebziger Jahre weichen die Zuwachsverläufe von Bestandesgliedern unterschiedlicher Schädigungsgrade in vielen Fällen zunehmend voneinander ab und unterschreiten – in Abhängigkeit vom Schädigungsgrad – mehr oder weniger deutlich das Niveau der Referenzentwicklung (um 20 % bis 40 %) (vgl. Abb. 6, oben).

Demgegenüber sind in vitaleren Beständen und bei nur leichter Schädigung solche Zuwachsminderungen nicht festzustellen. Die Grundflächenzuwächse bewegen sich hier im gesamten Wachstumszeitraum etwa auf dem Niveau der Referenzentwicklung; Nadelverluste über 20 % bilden die Ausnahme (vgl. Abb. 6, unten).

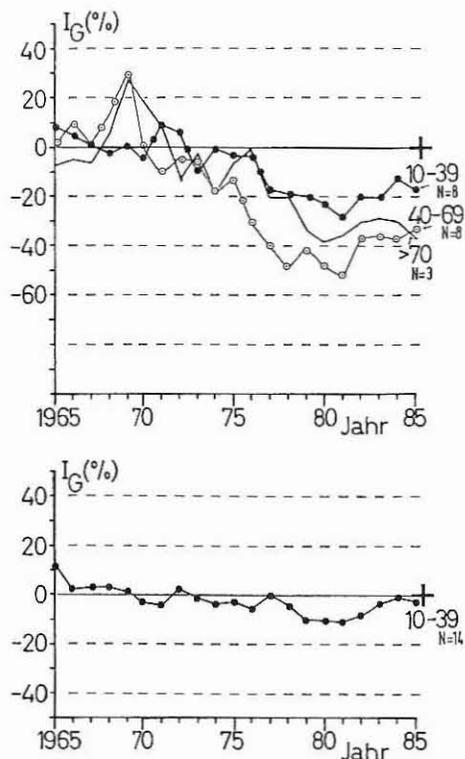


Abb. 6

Kurvenverlauf der Grundflächenzuwächse von Bäumen unterschiedlicher Schädigungsgrade (Nadelverluste 10 % bis 39 %, 40 % bis 69 % und über 70 %) in Relation zur Referenzentwicklung für ungestörtes Wachstum (Nullinie); dargestellt sind die prozentualen Abweichungen der Grundflächenzuwächse vom dem Referenzniveau für die stark geschädigte Probefläche 43 (oben) und die weitgehend ungeschädigte Probefläche 53 (unten)

Curve course of the basal area increment from trees of different damage degrees in relation to reference development for undisturbed growth (0 %-line); represented are the percentages deviation of the basal area increment from the reference level for the intensely damaged sample area 43 (upper) and the largely undamaged sample area 53 (lower)

Auf der Basis des oben beschriebenen Referenzsystems wurde flächenspezifisch für alle 103 Untersuchungsbestände eine Analyse ihrer Zuwachsentwicklung durchgeführt. Ausgehend von den Grundflächen-Zuwachsverlustkurven der Baumkollektive mit unterschiedlichen Nadelverlusten wurden Bestandes-Zuwachsverlustkurven errechnet – d. h. Grundflächen-Zuwachsverlustkurven für den Bestand insgesamt. Die Zuwachsverlustkurven für den Gesamtbestand bilden nun die entscheidende Grundlage für die weiteren Überlegungen.

4.3. Typisierung der Zuwachstrend-Verläufe durch Clusterbildung

Die Abweichungen der Grundflächen-Zuwachsverlustkurven der Bestände von der Referenzentwicklung für ungestörtes Bestandeswachstum spiegeln den zeitlichen Krankheitsverlauf und das Ausmaß der Schädigung wider. Die Minderung der jährlichen Bestandesgrundflächenleistung in den letzten 20 Jahren kann sehr unterschiedliche Kurven-Verlaufsformen haben (vgl. Abb. 7).

Die jährlichen Zuwachsverluste in den letzten zwei Jahrzehnten können als Vektor von Meßvariablen aufgefaßt werden und bilden die Eingangsdaten für folgende Auswertung: Mit Hilfe des Modells der Clusteranalyse wurde geprüft, ob sich bei den Schadverläufen der 103 Untersuchungsstandorte Flächengruppen ähnlicher Schadentwicklung und Krankheitsdynamik voneinander trennen lassen.

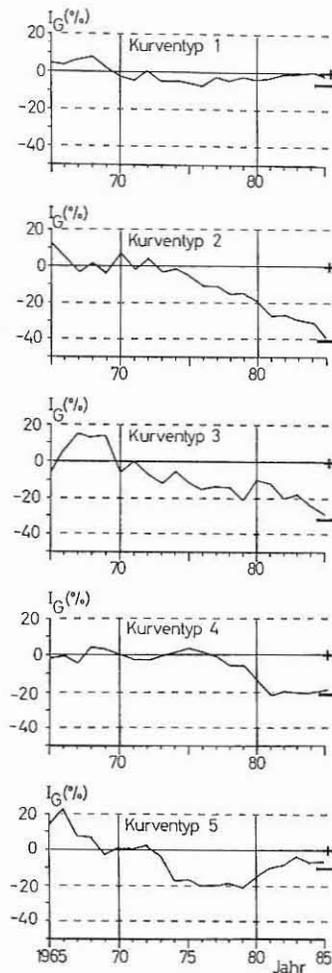


Abb. 7

Grundmuster unterschiedlicher Kurventypen für die Entwicklung der Zuwachsverluste an Grundfläche, dargestellt am Beispiel ausgewählter Probeflächen.

Kurventyp 1 (Fläche 34): keine nennenswerten Zuwachsverluste, ungestörtes Wachstum in den letzten 20 Jahren.

Kurventyp 2 (Fläche 108): stetige Zunahme der Zuwachsverluste seit den siebziger Jahren.

Kurventyp 3 (Fläche 82): 2phasiger Zuwachsrückgang, Zuwachseinbrüche in den Jahren 1970 bis 1975 und 1980 bis 1985.

Kurventyp 4 (Fläche 16): bis 1980 ungestörter Zuwachsgang, ab 1980 Zuwachsrückgang.

Kurventyp 5 (Fläche 13): Zuwachsrückgang seit 1970, ab 1980 Erholungseffekt.

Curve types for the development of the loss of basal area increment, represented by selected sample areas.

Curve typ 1 (area 34): no increment loss worth mentioning, undisturbed growth in the last 20 years.

Curve typ 2 (area 108): constant increase of the increment damage since 1970.

Curve typ 3 (area 82): two-phased increment retrogression, increment setback in 1970 to 1975 and 1980 to 1985.

Curve typ 4 (area 16): until 1980 undisturbed increment development, since 1980 increment setback.

Curve typ 5 (area 13): increment retrogression since 1970, after 1980 recovery effects.

Ich kann hier nur auf die wichtigsten Ergebnisse dieser Berechnung eingehen: Die 103 Untersuchungsbestände können insgesamt 6 Kurventypen – also Typen ähnlicher Zuwachsreaktionskinetik – zugeordnet werden, die sich auch statistisch voneinander trennen lassen. Auf Abbildung 7 werden die unterschiedlichen Kurventypen jeweils am Beispiel einer gruppentypischen Probefläche vorgestellt.

- Kurventyp 1: Weitgehend ungestörtes Wachstum in den letzten 20 Jahren (Prozentualer Anteil von Beständen mit dieser Zuwachsdynamik am gesamten Probeflächennetz: 19 %).
- Kurventyp 2: Stetige Zunahme der Zuwachsverluste seit den siebziger Jahren (Flächenanteil: 24 %).
- Kurventyp 3: Zweiphasiger Zuwachsrückgang mit Zuwachseinbrüchen in den Jahren 1970 bis 1975 und 1980 bis 1985 (Flächenanteil: 17 %).
- Kurventyp 4: Bis 1980 weitgehend ungestörter Zuwachsgang, ab 1980 Zuwachsrückgang (Flächenanteil: 11 %).
- Kurventyp 5: Zuwachsrückgang seit 1970, ab 1980 Erholungseffekt (Flächenanteil: 16 %).

Unter dem Sammelbegriff Kurventyp 6 wurden die Bestände, die keinem der Kurventypen 1 bis 5 zugeordnet werden konnten, zu einem gesonderten Cluster zusammengefaßt (Flächenanteil: 13 %).

Natürlich drängt sich jetzt die Frage auf, wie das regionale Verteilungsmuster der Bestände mit unterschiedlicher Zuwachsdynamik im Untersuchungsgebiet aussieht. Bevor ich darauf eingehe, hier zu-

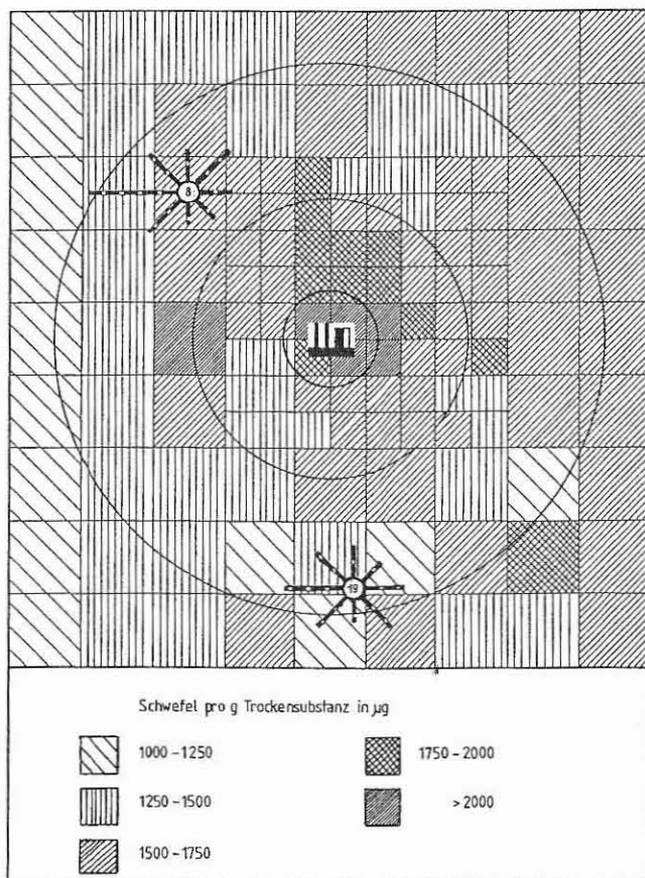


Abb. 8

Mittlere Schwefelgehalte in Fichtennadeln im Untersuchungsraum in den Jahren 1976 bis 1980 nach Angaben des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz; die Schwefelgehalte (in µg pro g Trockensubstanz) sind in Form von Grauwert-Rastern dargestellt. Hervorgehoben sind die drei konzentrischen Bezugskreise um das Kraftwerk herum sowie die Windrosen für Amberg (im Nordwesten) und Regensburg (im Süden)

Sulfur levels in spruce needles in the research area from the years 1976 to 1980; the sulfur levels (in µg per g dried matter) are shown in the form of grey shaded squares. Prominent are the three sample circles around the power plant and the windvanes for Amberg (northwest) and Regensburg (south)

nächst ein Einschub: Einige Bemerkungen zur Belastungslage im Untersuchungsraum.

5. BELASTUNGS-LAGE IM UNTERSUCHUNGS-GEBIET

Aus Abbildung 8 kann die mittlere Schwefelbelastung in Fichtennadeln in den Jahren 1976 bis 1980 abgelesen werden. Die Karte wurde auf Basis der Daten des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz angefertigt; die unterschiedliche Schwefelbelastung ist durch Grauwert-raster abgestuft (je dunkler umso höher der Schwefelgehalt). Eingezeichnet sind außerdem die Windrosen einiger Wetterstationen im Untersuchungsraum sowie unsere 3 Stichprobenkreise.

Aus der Abbildung ist zu entnehmen, was wir auch aus Flugzeugmessungen (vgl. PAFFRATH, 1985) und Ausbreitungs-Simulationsrechnungen (vgl. Bayernwerk AG, 1985) wissen: Die Regionen in östlicher und westlicher Lage vom Kraftwerk sind aufgrund der Windstatistik in erhöhtem Maße den Abluftströmungen des Werkes ausgesetzt.

Dieser Sachverhalt wird durch folgende Betrachtung bestätigt: Auf Abbildung 9 wurden die Isolinien für die Schwefelzusatzbelastung in den Jahren 1930 bis 1981 (vgl. Abb. 10, Fall A bis E), berechnet nach den Vorschriften der TA-Luft 1983, sowie die Lage der Probeflächen auf dem inneren und mittleren Bezugskreis eingezeichnet. Die Mittelwerte für die Zusatzbelastung (in µg Schwefeldioxid pro cbm) auf den Isolinien a bis f sind nur beispielhaft für die Zeit maximaler Zusatzbelastung (1972 bis 1981, Fall E) angegeben. Ohne weiter auf die absolute Höhe der Belastung einzugehen kann der Karte entnommen werden, daß für alle berechneten Immissionsfelder das Maximum der Zusatzbelastung westlich und östlich des Emittenten liegt.

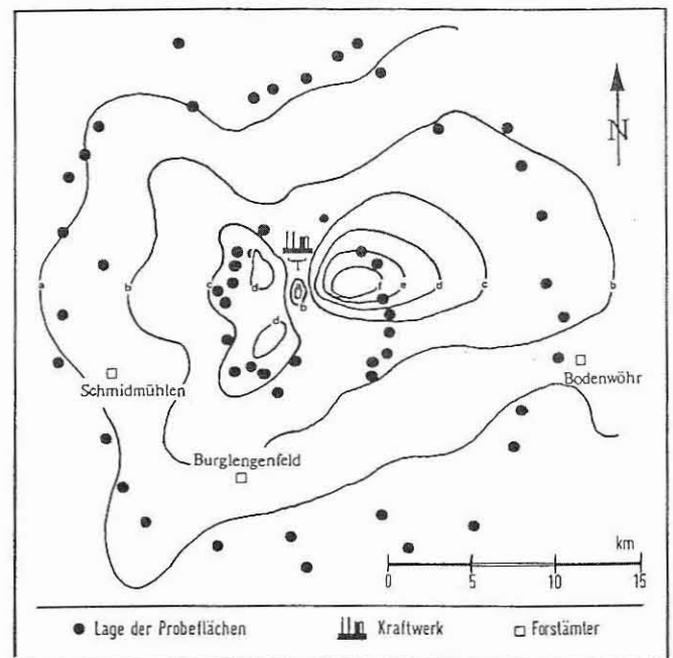


Abb. 9

Isolinien für die Zusatzbelastung durch Schwefeldioxid in der Zeit von 1930 bis 1981. In der Zeit mit maximaler Zusatzbelastung (1972 bis 1981, Fall E) galten für die Isolinien a bis f folgende Belastungswerte (Angaben in µg SO₂ pro m³ Luft):

a = 8,8, b = 15,7, c = 29,5, d = 41,4, e = 53,3, f = 65,2

Lines for the same amount of additional pollution from sulfur dioxide in the time 1930 to 1981. For the time with maximal additional pollution (1972 to 1981, case E) are shown the lines a to f subsequent to the pollution level (in µg SO₂ per m³ air):

a = 8.8, b = 15.7, c = 29.5, d = 41.4, e = 53.3, f = 65.2

Wie eingangs erwähnt, interessiert uns aber besonders die Dynamik der Belastungslage, d. h. die zeitliche und räumliche Veränderung der Belastung im betrachteten Wachstumszeitraum. Aufschluß darüber gibt Abbildung 10: Aufgetragen sind hier die Schwefeldioxid-Emissionen des Kraftwerkes Schwandorf in Tonnen pro Stunde bei Vollastbetrieb während verschiedener Ausbauphasen. Von besonderem Interesse sind für uns die letzten 30 bis 40 Jahre, die wir mit unserem Bohrspanmaterial abgedeckt haben.

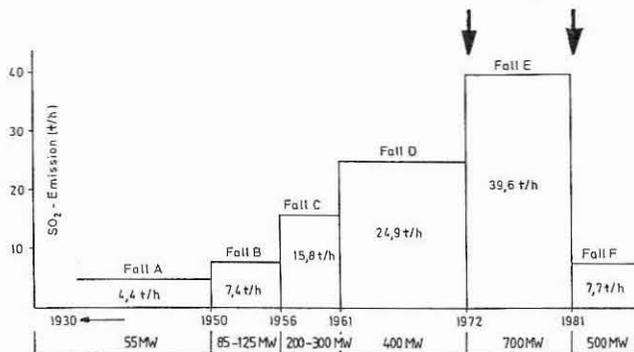


Abb. 10

Schwefeldioxid-Emissionen des Kraftwerkes Schwandorf bei Vollastbetrieb und installierte Kraftwerksleistung (in Megawatt) während verschiedener Zeitabschnitte

Sulfur dioxide emissions from the Schwandorf power plant by full power running and energy output (in megawatt) during different time intervals

- Wir können der Grafik entnehmen, daß das Emissionsvolumen des Kraftwerkes in den Jahren 1930 bis 1970, bei relativ geringer Kaminhöhe, stetig angestiegen ist, was eine Zunahme der Belastung im Nahbereich des Werkes vermuten läßt.
- Zu Beginn der siebziger Jahre erreichten die Emissionen Spitzenwerte (bis zu 40 Tonnen Schwefeldioxid pro Stunde); gleichzeitig wurde im Jahre 1972 ein neuer Kraftwerksblock mit einem höheren Kamin (235 m) errichtet. Im Zuge dieser „Hochschornsteinpolitik“ der siebziger Jahre vermehrte sich sprunghaft der Ferntransport der Emissionen in periphere Lagen des Untersuchungsraumes, die bis zu diesem Zeitraum von den werksbedingten Immissionen weitgehend unbeeinflusst waren. In der Tat wissen wir durch Flugzeugmessungen der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, daß die Abgasfahne des Kraftwerkes nach der Kaminerhöhung bei bestimmten Wetterlagen bis zu einer Entfernung von 130 km von der Quelle nachgewiesen werden kann (vgl. Abb. 11).
- Durch die Umstellung des Werkes auf schwefelarme tschechische Kohle, Stilllegung von älteren Anlagenteilen mit geringer Kaminhöhe und Bau eines zweiten Kamins mit einer Höhe von 235 m im Jahre 1981 wurde die Belastung durch das Werk seit Beginn der achtziger Jahre, besonders im Nahbereich, einschneidend gemindert. Das spiegelt sich in der Entwicklung der Schwefelbelastung von Fichtennadeln wider. Seit 1981 hat sich die mittlere Schwefelbelastung in Fichtennadeln im Untersuchungsraum nach Angaben des Bayerischen Landesamts für Umweltschutz von durchschnittlich 1700 µg auf 1400 µg signifikant verringert.

Es ist davon auszugehen, daß die Belastung durch andere Schadstoffkomponenten in der Abgasfahne des Kraftwerkes einer ähnlichen Dynamik unterliegt, wie sie hier am Beispiel der Schwefelbelastung dargestellt wurde. Festzuhalten ist, daß die Belastung des Untersuchungsraumes durch das Kraftwerk eine ganz spezifische Entwicklungsdynamik aufweist, mit charakteristischen Einschnitten, die im wesentlichen verursacht wurden durch Schornsteinerhöhungen,

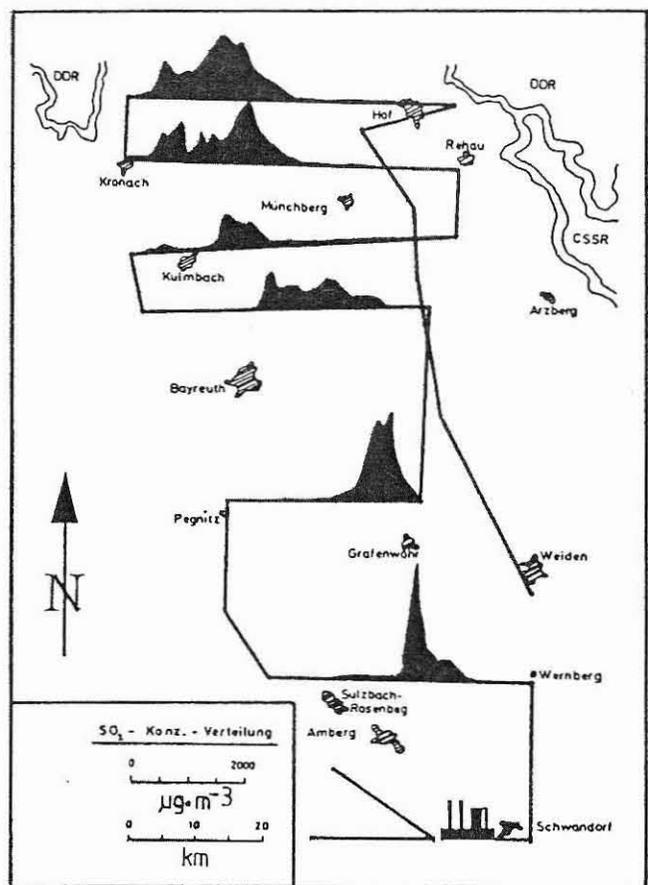


Abb. 11

Horizontalprofil der Abgasfahne vom Braunkohlekraftwerk in Schwandorf nach den Ergebnissen eines Fluges am 27. 3. 1981. Die räumliche Schwefeldioxid-Konzentrationsverteilung ist als schwarze Fläche über der Projektionslinie der Flugroute aufgetragen (nach: Flugzeugmessungen der grenzüberschreitenden Luftverschmutzung im Raum Weiden-Hof/Bayern, PAFFRATH (1985), Seite 62 bis 63)

Horizontal profile of the smog standard from Schwandorf brown coal power plant after the results from a flight on 27. 3. 1981. The sulfur dioxide concentration distribution is shown as a black zone over the projected line of the flight mission

Einbau von Filteranlagen, Veränderungen der installierten Kraftwerksleistung und Umstellung auf schwefelärmere Kohle.

6. ANALYSE DER ZUWACHS-REAKTIONSKINETIK IN UNTERSCHIEDLICHEN BELASTUNGSZONEN

6.1. Ergebnisse der Clusteranalyse

Mit dem Hintergrundwissen über die Belastungssituation und Entwicklung der Belastungslage interessieren wir uns jetzt für die regionale Verteilung der Probestellen mit den 6 unterschiedlichen Zuwachsreaktionsmustern.

Auf Abbildung 12 wurde jeweils an den Probestellenstandorten ein Symbol eingetragen, das den spezifischen Zuwachsverlauf der Fläche skizziert (vgl. Abb. 7). Der Karte ist folgendes zu entnehmen:

- Im Osten und Westen des Beobachtungsraumes – also in Hauptwindrichtung vom Kraftwerk – ist der Anteil von Beständen, deren Zuwachstrend eine Verschlechterung der Wuchsbedingungen erkennen läßt (Kurventypen 2, 3 und 4), höher (30 Flächen) als im Norden und Süden (22 Flächen).
- Bestände mit relativ ungestörtem Wuchsverhalten bzw. mit einer Verbesserung der Zuwachslage in den letzten Jahren (Kurventy-

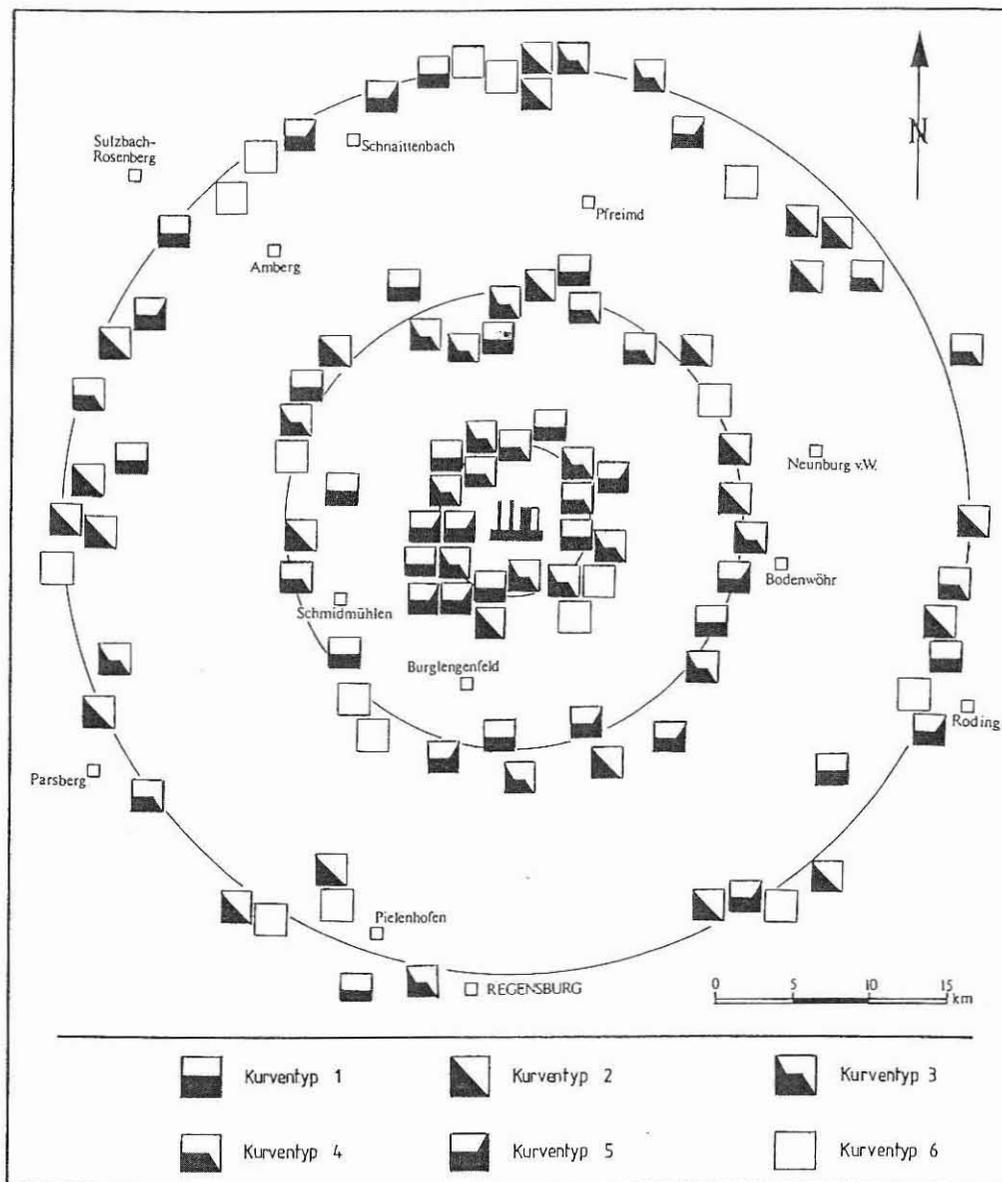


Abb. 12

Ergebnisse der Clusteranalyse in Kartendarstellung; durch unterschiedliche Symbole sind die flächenspezifischen Zuwachs-Kurventypen im Untersuchungsraum hervorgehoben

Results from the cluster analysis in a map graph; the specific increment curves of the sample areas are brought out through different symbols

- pen 1 und 5) sind auf der Nordwest-Südost-Achse durch Schwandorf häufiger als in Ausbreitungsrichtung der Abluftfahne.
- Im Zentrum des Flächennetzes herrschen heute günstigere Wachstumsverläufe vor (Kurventypen 1 und 5). Im Bereich der Kreise 1 und 2 wurden 40 % der Flächen den Kurventypen 1 und 5 zugeordnet, auf Kreis 3 beträgt der Anteil nur 25 %.
- In werksferner Lage (Kreis 3) und in Ausbreitungsrichtung der Abluftfahne dominieren noch Bestände mit rückläufigem Wachstumstrend.
- Die Probestellen, die keinem der Cluster 1 bis 5 zugeordnet wurden (Kurventyp 6), sind weitgehend unsystematisch im Probestellennetz angeordnet.

6.2. Wuchsverhalten in unterschiedlichen Belastungszonen – Varianzanalytische Auswertung

Wir interessieren uns jetzt für die Frage, wie sich die mittleren Zuwachsverlaufskurven in unterschiedlichen Lagen vom Kraftwerk unterscheiden und ob sie sich statistisch voneinander trennen lassen.

Diese Fragestellungen wurden mit dem Modell der Doppelten Varianzanalyse behandelt (Faktor 1: Lage; Faktor 2: Zeit).

Bei der Berechnung, die im folgenden vorgestellt wird, wurden beim Faktor Lage 4 Stufen, wie in Abbildung 13 dargestellt, unterschieden. Die Flächen in diesen 4 Sektoren wurde für die Auswertung in Gruppen zusammengefaßt.

Mit Hilfe der varianzanalytischen Auswertung sollten folgende Fragen überprüft werden:

- Hat die Lage der Flächen zum Werk einen Einfluß auf die Höhe der Zuwachsminderung?
- Wie haben sich die mittleren Zuwachsverluste in den verschiedenen Lagen in dem betrachteten Wachstumszeitraum verändert?
- Bestehen Wechselwirkungen zwischen der Lage des Untersuchungsbestandes und dem diagnostizierten Schadverlauf? Können lagespezifische Zuwachsentwicklungen unterschieden werden?

Auf die Ergebnisse der Globalanalyse der varianzanalytischen Auswertung kann ich hier nicht näher eingehen. Ein für uns äußerst

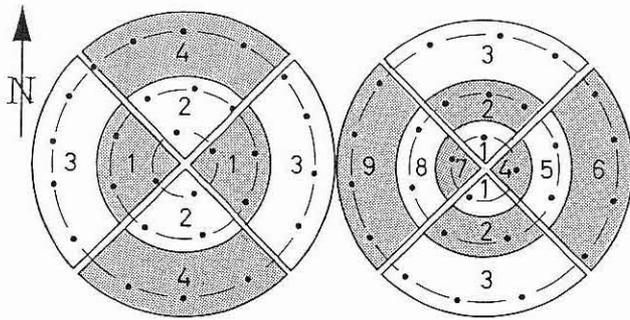


Abb. 13

Gruppenzuordnung der Probeflächen von Kreis 1, 2 und 3 für zwei varianzanalytische Berechnungsvarianten.

Modell 1 (links): Berechnungsvariante 1;
Modell 2 (rechts): Berechnungsvariante 2

Grouping of the sample areas on circle 1, 2 and 3 for two variants of calculation a variance analysis.

Model 1 (left): calculation variant 1;
Model 2 (right): calculation variant 2

wichtiges Ergebnis steckt in den Mittelwertprofilen, die auf Abbildung 14 graphisch dargestellt sind. Aufgezeichnet ist die Entwicklung der mittleren Grundflächenzuwachsverluste (in %) in den unterschiedlichen Lagen seit 1968. Aus dieser Ergebnisdarstellung lassen sich einige grundlegende Befunde ableiten:

- Seit Beginn der siebziger Jahre (zu dieser Zeit erreichte das Emissionsvolumen des Werkes Spitzenwerte) sind die relativen Grundflächenzuwächse in den 4 betrachteten Regionen rückläufig.
- In der werksnahen Lage 1, die aufgrund der Windstatistik stärker belastet ist, liegt die Zuwachsminderung im gesamten Wachstumszeitraum um 2 % bis 4 % höher als in der Lage 2, die in Lee-Lage positioniert ist; dabei handelt es sich um eine tendenzielle Abweichung, die statistisch nicht gesichert ist.
- Die Zuwachsverlustkurven in den Lagen 1 bis 4 verlaufen in dem betrachteten Wachstumszeitraum nicht parallel, sondern es lassen sich lagespezifische Unterschiede im Wuchsverhalten erkennen:
- Im werksnahen Bereich in Hauptausbreitungsrichtung (Lage 1) liegt der Zuwachsrückgang zu Beginn der siebziger Jahre (also vor der Errichtung des neuen Kraftwerkblocks mit höherem Kamin, zur Zeit höchster Belastung im Nahbereich) um 2 % bis 4 % höher als in werksferner Lage. Ab Mitte der siebziger Jahre drehen sich die Verhältnisse um: Die werksnahen Bestände weisen eine Verbesserung der Zuwachsverhältnisse auf, während sich die Wuchs-

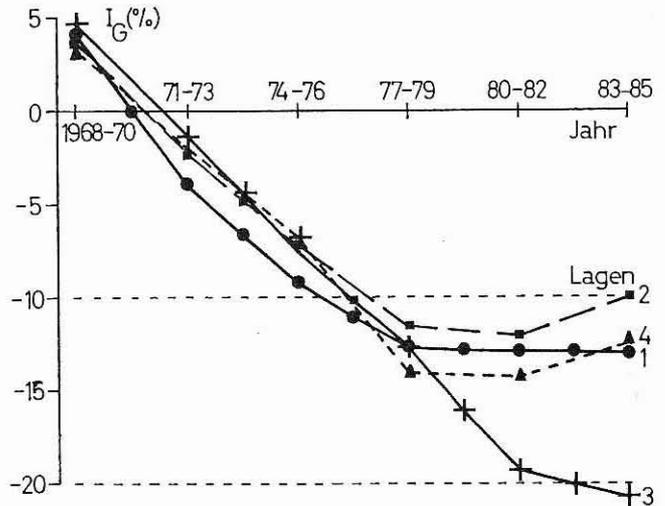


Abb. 14

Feinanalyse der Ergebnisse der Doppelten Varianzanalyse für die Berechnungsvariante 1. Mittelwertprofile für die Entwicklung der Bestandeszuwachs-Minderung in den Lagen 1, 2, 3 und 4 (vgl. Modell 1 auf Abb. 13)

Detailed analysis of the results of the variance analysis for the calculation variant 1. Mean value profiles for the development of the increment losses in the area 1, 2, 3 and 4 (according to model 1, Fig. 13)

bedingungen im werksfernen Bereich in Hauptausbreitungsrichtung (Lage 3) – nach dem Übergang zu höheren Kaminen in den Jahren 1972 und 1981 – signifikant verschlechtert haben.

- Der Krankheitsverlauf in werksnahen Beständen hat sich also seit Mitte der siebziger Jahre verlangsamt. Gleichzeitig ist eine Verschlechterung der Zuwachsleistung in werksferner Lage eingetreten.
- In den achtziger Jahren (Emissionsminderung durch Umstellung auf schwefelarme tschechische Kohle, Stilllegung von Altanlagen) verbesserte sich der Gesundheitszustand in den Lagen 2 und 4 und es verlangsamte sich der Krankheitsverlauf in den Lagen 1 und 3, was sich auf Abbildung 14 durch ein leichtes Einschwenken der Kurvenverläufe bemerkbar macht.

Die zeitliche Veränderung der regionalen Wachstumsbedingungen wird noch deutlicher, wenn wir die Ergebnisse der Berechnungsvariante 2 betrachten. Es wurden nach dem Schema auf Abbildung 13 (rechts) 9 verschiedene Lagen betrachtet. Auf Abbildung 15 wurden für die Jahre 1971 bis 1973 (links) und 1980 bis 1982 (rechts)

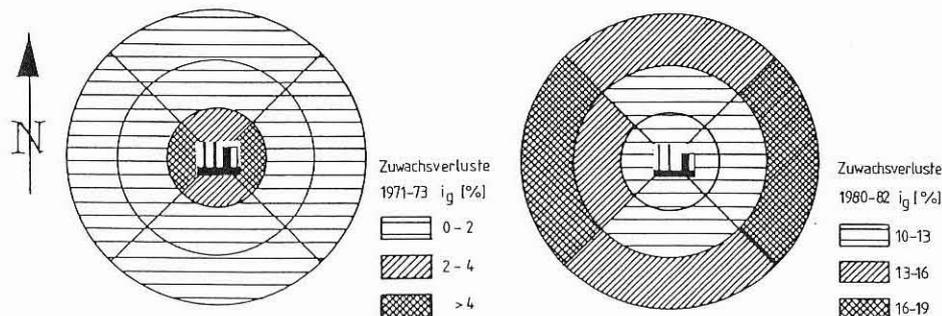


Abb. 15

Veränderung der regionaltypischen Wachstumsbedingungen im Untersuchungszeitraum; für die Jahre 1971 bis 1973 (links) und 1980 bis 1982 (rechts) sind die Regionen mit gleichen Zuwachsverlusten durch Grauertraster abgestuft (unterschiedliche Lagen nach Modell 2 auf Abb. 13)

Variation of the typical regional growth conditions in the research period; for the years 1971 to 1973 (left) and 1980 to 1982 (right) the regions with the same increment loss are represented through grey shading levels (according to model 2, Fig. 13)

(rechts) die Regionen gleicher Zuwachsverluste durch Grauwert-raster abgestuft, wodurch folgender Sachverhalt klar erkennbar wird:

- In den Jahren 1971 bis 1973 betrugen die Zuwachseinbußen 0 % bis 6 %. 10 Jahre später bewegen sich die Zuwachsverluste zwischen 10 % und 20 %.
- Zu beiden Zeiträumen ist die Zuwachsminderung in westlicher und östlicher Richtung vom Werk – also in Richtung der Abluft-fahne – deutlich höher als in Lee-Lage vom Werk.
- Zu Beginn des betrachteten Wachstumszeitraumes – zur Zeit niedriger Schornsteine und höchster Belastung im Nahbereich – zeichneten sich die höchsten Zuwachseinbußen (3 % bis 6 %) in Werksnähe ab, während die Zuwächse in den peripheren Bereichen des Untersuchungsgebietes etwa auf dem Referenzniveau lagen.
- 10 bis 15 Jahre später – nach Erhöhung der Schornsteine – haben sich die Zuwachsverhältnisse zwischen werksnahen und -fernen Beständen völlig umgekehrt. Die Bestände in peripherer Lage weisen höchste Zuwachsverluste auf (15 % bis 20 %); gleichzeitig haben die Bestände in zentraler Lage – jetzt durch Kaminerrhöhung

entlastet – heute deutlich günstigere Wachstumsbedingungen (Zuwachsrückgang um 5 % bis 10 %).

An dieser Stelle soll hervorgehoben werden, daß auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials keine weiterführenden Aussagen über die absolute Höhe der durch den Kraftwerksbetrieb bedingten Zuwachsverluste getroffen werden können (vgl. EDER, 1978; PELZ, PRESSLER und NAUMANN, 1973; WESTMAN, 1982). Es bestehen aber klare tendenzielle Zusammenhänge zwischen dem Emissionsverhalten des Kraftwerkes und der Zuwachsreaktionskinetik der umliegenden Waldbestände. Die zeitliche Veränderung und räumliche Ausprägung des Zuwachsverhaltens der untersuchten Kiefernbestände spiegelt klar die spezifische Entwicklung des Emissionsverhaltens des Kraftwerkes wider.

7. ZUWACHSTREND-PROGNOSE

Ein einfaches Maß für den Trend der Bestandeszuwächse ist der Steigungswinkel der Zuwachskurve. Die jährlichen Bestandeszuwachs-minderungen der Untersuchungsbestände wurden für die Wachstumszeiträume 1975 bis 1980 und 1980 bis 1985 auf regres-

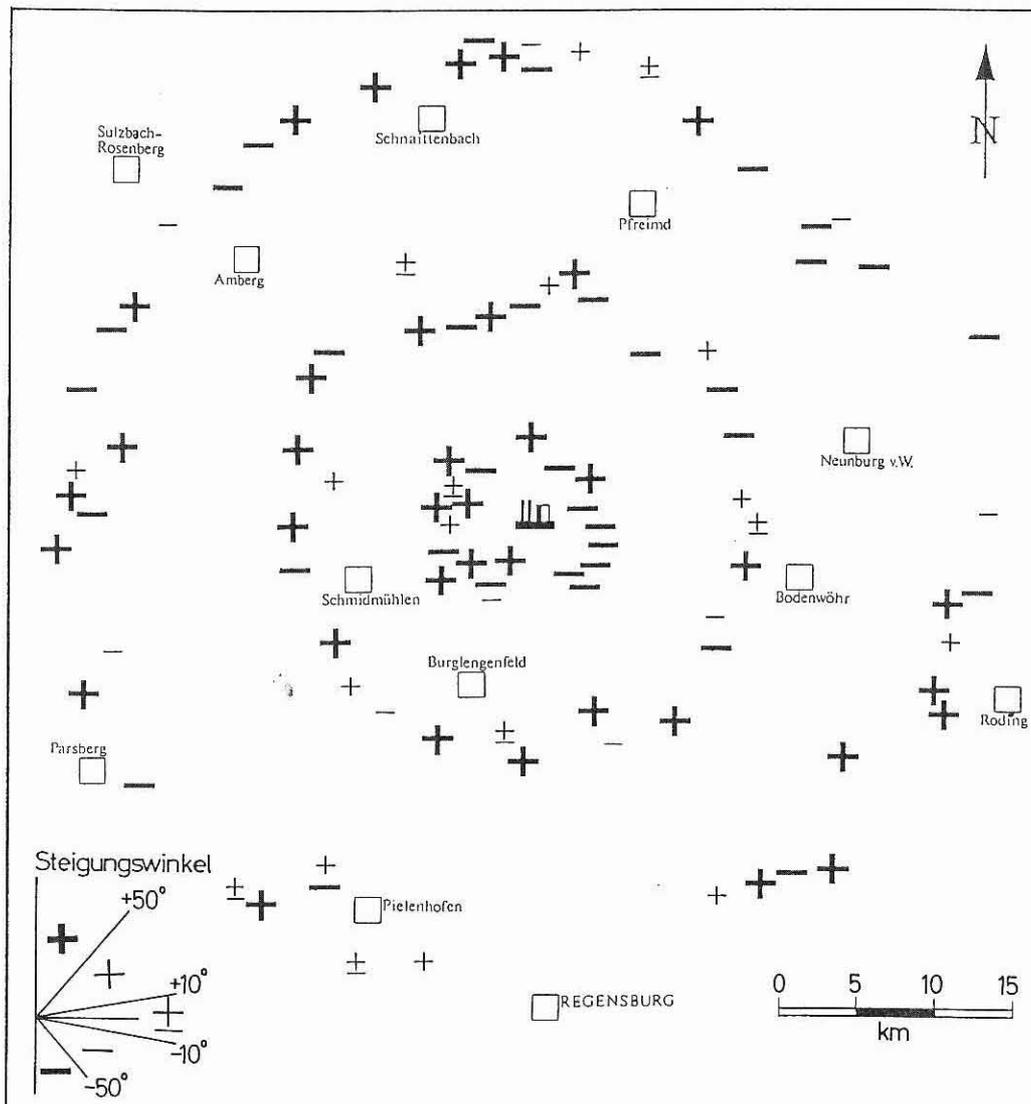


Abb. 16

Entwicklungstrend der Bestandeszuwachsverluste in den Jahren 1980 bis 1985; die Kurvenverläufe der Grundflächenzuwachsverluste sind durch eine Gerade ausgeglichen, deren Steigungswinkel grafisch dargestellt ist (Erläuterung im Text)

Trend of the increment loss on the sample plots in the years 1980 to 1985; the curve courses of the increment loss of basal area were equalized by a regression line; the incline angle is graphically represented (explanation in the text)

sionsanalytischem Wege durch Zuwachsgeraden ausgeglichen, deren Steigung Indikator für den bestandesspezifischen Wachstumstrend ist.

Auf Abbildung 16 sind die bestandestypischen Wachstumstrends für die Zuwachsperiode 1980 bis 1985 (Steigungswinkel der Ausgleichsgeraden) graphisch dargestellt. Probestflächen, deren Zuwachskurven etwa horizontal (parallel zur x-Achse) verlaufen, sind durch \pm -Zeichen eingezeichnet, Verbesserungen der Zuwachslage sind je nach Anstiegswinkel der Ausgleichsgeraden durch schwächere oder fette +-Symbole hervorgehoben und Verschlechterungen der Zuwachslage sind durch --Symbole angedeutet. Die Abbildung erlaubt Aussagen über den regionaltypischen Wachstumstrend in den letzten 10 Jahren und ist die Grundlage für eine vorsichtige Prognose der weiteren Zuwachsentwicklung.

Der Wachstumstrend in den Jahren 1980 bis 1985 – nach Reduktion der werksbedingten Emissionsbelastung – hat sich gegenüber der Zuwachslage in dem Wachstumszeitraum 1975 bis 1980 deutlich verbessert. Während in den siebziger Jahren in weiten Teilen des Untersuchungsraumes steigende Zuwachseinbußen zu verzeichnen waren, herrschen gegenwärtig nur im Osten und Nordosten des Kraftwerkes weiter großflächig zuwachsmindernde Wachstumsbedingungen (vgl. Abb. 16).

Ob die verminderte Immissionsbelastung durch das Kraftwerk eine längerfristige Verbesserung des Gesundheitszustandes und Wuchsverhaltens der Wälder in der mittleren Oberpfalz zur Folge hat, hängt von der Wirksamkeit weiterer Maßnahmen zur Verringerung der werksbedingten Emissionen ab, ferner von der Entwicklung der großregionalen Grundbelastung und Zusatzbelastung durch ortsansässige Betriebe.

8. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen eines größer angelegten Forschungsvorhabens am Münchner Lehrstuhl für Waldwachstumkunde wurde überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen der Schadstoffbelastung durch das Braunkohlekraftwerk in Schwandorf und dem Gesundheitszustand und Wuchsverhalten der umliegenden Kiefernwälder besteht. Gestützt auf ertragskundliche Untersuchungen auf 103 Probestflächen und der Analyse der Belastungslage im Untersuchungsraum läßt sich die Fragestellung der Untersuchung zusammenfassend wie folgt beantworten:

1. Gesunde Bestände im Untersuchungsgebiet spiegeln relativ günstige Wachstumsbedingungen wider.
2. In geschädigten Beständen zeichnen sich seit 10 bis 15 Jahren deutliche Zuwachsverluste ab. Zwischen den Extrema gesund und stark geschädigt kommen verschiedene Schädigungsgrade vor, die mit bestimmten Zuwachsverlaufstypen identifiziert werden können.
3. Zur Berechnung der Zuwachseinbußen in Schadbeständen wurde ein Referenzsystem angewandt, das es erlaubt, die Zuwachsminderung durch Vergleich der gesunden und geschädigten Bäume eines Bestandes herzuleiten.
4. Im Untersuchungsraum lassen sich Zonen voneinander abgrenzen, in denen bestimmte Zuwachsreaktionsmuster dominieren. Es lassen sich Teilregionen mit gebietstypischer Zuwachsdynamik und mit regionalspezifischer Schadausprägung unterscheiden.
5. Die Immissionsbelastung durch das Braunkohlekraftwerk in Schwandorf weist eine ganz spezifische räumliche Verteilung und zeitliche Entwicklung auf, die die Grundbelastung durch andere kleinere Emittenten augenscheinlich überprägt.
6. Es ist festzuhalten, daß deutliche tendenzielle Zusammenhänge zwischen dem Emissionsverhalten des Werkes und der Zuwachsreaktionskinetik der umliegenden Waldbestände bestehen. In der zeitlichen Veränderung und räumlichen Ausprägung des Zu-

wachsverhaltens der untersuchten Kiefernbestände spiegelt sich klar die spezifische Entwicklung des Emissionsverhaltens des Kraftwerkes in den letzten 20 bis 30 Jahren wider.

9. Summary

Title of the paper: *On the increment reactions of the forest stands in the surrounding from the Schwandorf brown coal power plant in Upper Palatia/Bavaria.*

The chair of forest yield science of the University of Munich has examined whether the pollution from the Schwandorf brown coal power plant and the state of health and growth conditions of the surrounding pine forest are related. Based on yield information analysis of 103 sample plots and the research of the pollution situation in the examination area, the questions of the examination have been answered in the following:

1. The healthy stock in the area mirror relatively favourable growth conditions.
2. The polluted stands show clearly, since 10 to 15 years, a hindered growth increase. Between the extremes, healthy and intensely damaged trees, come different degrees of damage that can be identified with defined annual increment developments.
3. To calculate the loss of increment in the damaged stands a reference system is applied, that derives the diminutive increment through the comparison of the healthy and damaged trees.
4. In the research area are zones bordering an other, in which defined increment reaction specimens dominate. Parts of the region with typical increment dynamics and with different specific regional damage signs can be distinguished.
5. The immission pollution from the brown coal power plant in Schwandorf has a specific area distribution and a temporal development so that the pollution from other, smaller emitants is obviously covered up.
6. There are clearly related tendencies between the emission rate of the plant and the increment reactions in the outlying forest stands. In the temporal alteration and the specific regional markings of the increment proportion from the pine stands is clearly mirrored the development of the emissions from the power plant in the last 20 to 30 years.

10. Résumé

Titre de l'article: *Cinétique des réactions de croissance des peuplements forestiers dans les environs de la centrale à lignite de Schwandorf dans le Haut-Palatinat.*

Dans le cadre d'une important programme de recherches présenté par la chaire pour l'étude de la croissance des forêts de Munich, on a cherché à montrer s'il existait une corrélation entre les apports de substances nocives en provenance de la centrale à lignite de Schwandorf et l'état sanitaire, ainsi que les conditions de croissance, des peuplements de pin sylvestre qui se trouvent aux alentours. En s'appuyant sur les recherches sur la production dans 103 placettes expérimentales et sur l'analyse des nuisances dans la zone en cause, on peut répondre comme suit au problème posé:

1. Des peuplements sains dans la zone étudiée paraissent refléter des conditions de croissance relativement satisfaisantes.
2. Dans les peuplements endommagés, apparaissent depuis dix à quinze ans des pertes d'accroissement manifestes. Entre les deux extrêmes, peuplements sains et peuplements fortement atteints, peuvent se présenter différents degrés de dommages qu'il est possible de rattacher à des types déterminés de l'évolution de la croissance.

3. Pour calculer les pertes d'accroissement dans les peuplements endommagés, on utilise un système de référence qui permet de déduire les pertes d'accroissement par des comparaisons entre les arbres sains et endommagés du peuplement.
4. Dans la zone étudiée, on peut délimiter des zones où domine tel ou tel modèle de réactions de croissance. On peut encore distinguer des sous-régions d'après des dynamiques de croissance caractéristiques et des expressions des dommages spécifiques.
5. Les émissions en provenance de la centrale à lignite de Schwandorf présentent une répartition spatiale tout à fait spécifique, il en est de même pour leur évolution diachronique qui est telle qu'interfèrent manifestement les apports de base d'autres petites émissions.
6. Il est établi qu'existent des corrélations manifestes entre les caractéristiques des émissions de la centrale et la cinétique des réactions de croissance des peuplements forestiers situés aux alentours. Les modifications au cours du temps et l'expression spatiale du type d'accroissement dans les peuplements étudiés reflètent clairement l'évolution spécifique du mode d'émission de produits nocifs par la centrale au cours des 20 à 30 dernières années. J. M.

11. Literatur

- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz: Bericht über die Untersuchungsergebnisse aus dem Bioindikatorenetz im Raum Schwandorf für den Zeitraum von 1976 bis 1978. Unveröff. Manuskriptdruck, 6 S., 1980
- Bayernwerk AG: Immissionsverhältnisse während der verschiedenen Ausbaustufen des Kraftwerks und nach Umstellung auf tschechische Hartbraunkohle. Unveröff. Manuskriptdruck, 3 S. und 11 Abb., 1985
- EDER, R.: Die Zuwachsdiaagnose von Waldbäumen als Möglichkeit zur Beurteilung der Immissionsbelastung im Raum Ingolstadt-Kelheim. Schriftenreihe Naturschutz und Landschaftspflege, Bay. Landesamt f. Umweltschutz, Heft 9. S. 55–67, 1978
- FRANZ, F.: Zur Behandlung und Wuchsleistung der Kiefer. Forstw. Cbl. **102**, 18–36, 1983a
- FRANZ, F.: Auswirkungen der Walderkrankungen auf Struktur und Wuchsleistung von Fichtenbeständen. Forstw. Cbl. **102**, 186–200, 1983b
- FRANZ, F., PRETZSCH, H. und RÖHLE, H.: Walderkrankung und Zuwachs, Fichte-, Buche- und Kiefer-Beobachtungsflächen in Bayern. Allg. Forst-Zeitschr., Nr. 12, 307–308, 1987
- LUX, H.: Ergebnisse von Zuwachsuntersuchungen (Bohrspananalysen) im Rauchschaadensgebiet Dübener Heide. Archiv f. Forstwesen, 14. Bd., 1103–1121, 1965
- LUX, H. und MORSTEIN, D.: Zur Methodik der Ermittlung immissionsbedingter Zuwachsverluste am Beispiel eines Fluoremittenten. Beiträge für die Forstwirtschaft **16** (4), 168–170, 1982
- PAFFRATH, D.: Flugzeugmessungen der grenzüberschreitenden Luftverschmutzung im Raum Weiden-Hof/Bayern. Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt, Forschungsbericht DFVLR-FB 85-25, 76 S., 1985
- PELZ, E., PRESSLER, H. und NAUMANN, B.: Beitrag zum forstlichen Zustandsvergleich und zur Prognose der Entwicklung rauchgeschädigter Bestände. Beiträge für die Forstwirtschaft **7** (1), 1–6, 1973
- PRETZSCH, H.: Wachstumsmerkmale Oberpfälzer Kiefernbestände in den letzten 30 Jahren; Vitalitätszustand – Strukturverhältnisse – Zuwachsgang. Allg. Forst-Zeitschr., Nr. 42, 1122–1126, 1985
- PRETZSCH, H.: Zur Frage des „Normalwachstums“ der Kiefer in der Oberpfalz. Der Forst- und Holzwirt **42** (11), 286–293, 1987a
- PRETZSCH, H.: Zum Krankheitsbild und Wuchsverhalten geschädigter Kiefernbestände in Nordostbayern. In: Aspekte Waldwachstumskundlicher Forschung, Sonderschrift des Lehrstuhls für Waldwachstumskunde der Universität München. S. 115–136, 1987b
- RÖHLE, H.: Entwicklung von Vitalität, Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen. Forstliche Forschungsberichte München, Bd. 83, 122 S., 1987
- SCHMIDT, A.: Wachstum und Ertrag der Kiefer auf wirtschaftlich wichtigen Standorteinheiten der Oberpfalz. Forstliche Forschungsberichte München, Bd. 1, 178 S., 1971
- SCHÖPFER, W. und HRADETZKY, J.: Zuwachsrückgang in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen – Auswertungsmethoden und Ergebnisse. Forstw. Cbl. **105**, 446–470, 1986
- SCHÖPFER, W.: Zur Problematik eines großräumigen Zuwachsrückgangs in erkrankten Fichten- und Tannenbeständen Südwestdeutschlands. Bericht über die Jahrestagung 1987 der Sektion Ertragskunde des DVFFA in Heiligkreuztal. S. 10/1–10/22, 1987
- WESTMAN, L.: Air Pollution Indications and Growth of Spruce and Pine Near a Sulfite Plant. Umea University. Ambio, Vol. 3, No. 5, S. 189–193, 1974
- WESTMAN, L.: Barrträdstillväxt i kontrollprogram för punktkällor som släpper ut svavel, fluor och metall. Rapport 1603, Inst. för ekologisk botanik, Umea universitet. 58 S., 1982
- WIEDEMANN, E.: Die Kiefer 1948. Verlag Schaper, Hannover. 337 S., 1948

