

Aus dem Institut für Geographie und Geoökologie der Akademie der Wissenschaften der DDR
Bereich Ökologisch-ökonomische Systeme
(Leiter des Bereichs: Dr. sc. H. Kroske)
und dem Institut für Forstwissenschaften Eberswalde,
Organisations- und Rechenzentrum Potsdam
(Leiter des Bereichs: Dr. H. Barciok)

Korrelationsanalytische Betrachtungen zur Immissionsbeeinflussung von Waldgebieten

Von **Horst Paucke, Ulrich Kausmann und Bernd Schmidt**
Mit 1 Abbildung und 5 Tabellen
(Eingegangen am 11. Mai 1979)

1. Problem

Gegenwärtig gewinnt die Erforschung der ökologischen Wirkungen industrieller Immissionen immer mehr an Bedeutung. Dafür gibt es im wesentlichen drei Gründe. Erstens nehmen die Immissionen weltweit zu, ohne daß ein Ende abzusehen ist, so daß auch künftig mit weiteren Belastungen des Naturhaushaltes gerechnet werden muß. Zweitens treten in ökologischen Systemen bereits heute immer stärkere Störungen und Schädigungen auf, über deren Ausmaß, Stärke, Struktur und Folgen noch zu wenig bekannt ist. Damit in Zusammenhang stehen drittens ungenügende Kenntnisse über die Belastbarkeit und Stabilität von Ökosystemen für Immissionen aller Art.

Mit der Untersuchung korrelativer Beziehungen zwischen Immissionsintensität und waldwirtschaftlichen Folgen soll ein Beitrag zur Lösung dieser umfassenden Problematik geleistet werden. Entsprechend dem Zweck der Korrelationsanalyse geht es zunächst ganz allgemein darum,

- die Intensität (Grad, Stärke, Straffheit, Enge, Dichte) des Zusammenhangs zwischen zwei oder mehreren Erscheinungen zu bestimmen,
- vermutete, jedoch noch nicht bewiesene oder noch nicht bekannte Zusammenhänge aufzudecken,
- zusätzliche Informationen über existierende, allgemein bekannte Zusammenhänge zu ermitteln,
- Einflussfaktoren und den Grad ihrer Auswirkung auf bestimmte Erscheinungen und Prozesse zu bestimmen,
- die Gesamtwirkung durch Veränderung des Einflusses einzelner oder mehrerer Faktoren zu steuern,
- von den besonderen Verhältnissen der gerade vorliegenden Stichproben durch vergleichende Analysen zu zusammenfassenden, verallgemeinernden Aussagen zu gelangen (Fischer, Göttner und Krieg 1975; Weber 1972; Margraf 1977).

Die statistische Bearbeitung des vorhandenen Zahlenmaterials kann allerdings nur den Nachweis erbringen, ob echte oder zufällige (stochastische) Unterschiede oder Zusammenhänge vorliegen, sie kann aber nicht deren Ursachen klären. Vielmehr ist die Erfassung von Ursache und Wirkung eine grundlegende Voraussetzung für die

richtige und umfassende Darstellung der Zusammenhänge, die analysiert werden sollen. Erst wenn Klarheit darüber vorhanden ist, können die stochastischen Erscheinungen und Prozesse wahrheitsgetreu beurteilt werden.

Als Untersuchungsobjekt dient die Dübener Heide mit einer Gesamtfläche von rund 70 000 ha, wovon etwa 30 000 ha im Immissionsbereich des Industriegebietes Bitterfeld-Wolfen liegen. Aufgrund der Tatsache, daß die Baumbestände in Industrienähe im allgemeinen stärker geschädigt sind als in industrieferneren Gebieten, die Schädigungen der Waldbestände demzufolge mit zunehmender Entfernung vom Emittenten immer geringer werden und schließlich ganz aufhören, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, daß zwischen der Immissionsintensität und dem Schädigungsgrad der Waldbäume kausale Beziehungen bestehen. Als Hauptimmissionskomponenten kommen ausschließlich Schwefeldioxid (SO_2) und Kalkstaub in Betracht (Paucke, Möller und Lux 1976). Ihren Einfluß auf Holzvorrat und Massenschlußgrad der dort vorkommenden Hauptbaumarten in Abhängigkeit vom Bestandesalter zu ermitteln, ist Ziel der vorliegenden Untersuchung.

2. Methodik

Zur mathematisch-statistischen Berechnung der Korrelationskoeffizienten für die abhängigen Variablen x (Baumalter) und y (Derbholzvorrat) bzw. x (Baumalter) und y (Massenschlußgrad) wurden zunächst detaillierte Häufigkeitstabellen in Form von EDV-Ausdrucken des StFB Dübener Heide aus dem Datenspeicher Waldfonds des ORZ Forstwirtschaft angefertigt, und zwar in folgender Art:

A: Unterscheidungsmerkmale

1. Schadzone (1 und 2 und 3)

2. Baumart (Kiefer, Fichte, sonstige Nadelhölzer, Buche, Eiche, sonstige Laubhölzer)

3.1. x : Baumalter (Intervallbreite 20 Jahre; 0–20, 21–40 . . . 141–160, > 161)

y : Derbholzvorrat/Fläche (Intervallbreite 50 Vorratsfestmeter [Vfm]/ha
0–50; 51–100 . . . 351–400, > 401)

3.2. x : Baumalter (wie unter 3.1.)

y : Massenschlußgrad (Intervallbreite 0.1;
0–0.1, 0.11–0.2 . . . 0.91–1.0, > 1.01).

Dementsprechend wurde für jede Schadzone und jede Baumart bzw. Baumartengruppe je eine Häufigkeitstabelle mit den Merkmalen Alter/Derbholzvorrat pro Hektar und Alter/Massenschlußgrad ausgedruckt.

Die Variablen Derbholzvorrat (Holzvorrat über 7 cm Durchmesser/ha) und Massenschlußgrad (Quotient aus vorhandenem und möglichem Derbholzvorrat/ha) wurden für die Untersuchungen ausgewählt, weil sie charakteristische Größen für die Beurteilung der Bestandentwicklung sind, Auskunft über Wachstums-, Zuwachs- und Ertragsverlauf in Abhängigkeit vom Bestandesalter geben (Abb. 1), damit baumartenspezifische und bestandestypische Beziehungen zum Bestandesalter zeigen, als Maß und Indikator für die Vitalität der Baumbestände gelten können und somit nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Tatbestände anzeigen. Die Variable Baumalter wurde in Intervallbreiten von 20 Jahren gegliedert, weil diese Einteilung in der Forsteinrichtung üblich ist, um wirtschaftliche Maßnahmen für einzelne Altersklassen ableiten zu können. Darüber hinaus erscheinen diese Intervalle auch dafür geeignet, die biologischen Entwicklungsstadien (Kulmination des laufenden Zuwachses, volle Mannbarkeit und Fertilität, Abklingen der Fertilität, Beginn der Senilität, Alterstod) (Blankmeister 1956) zu kennzeichnen. Alle wirtschaftlich bedeutsamen Baumarten, die auch im Baumartenspektrum der DDR eine nennenswerte Rolle spielen wie Kiefer

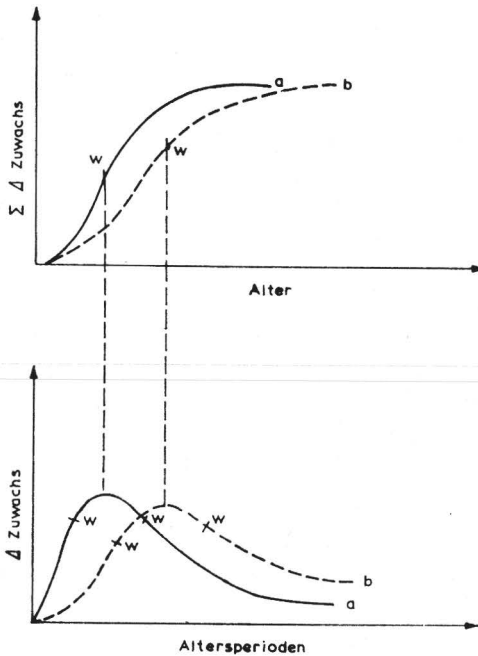


Abb. 1. Typische Wachstums- und Zuwachskurve. a) bei früher Kulmination; b) bei später Kulmination; w = Wendepunkt

(*Pinus silvestris* L.), Fichte (*Picea abies* L.), Eiche (*Quercus petraea* MATT. und *Quercus robur* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), wurden einzeln ausgewiesen, alle anderen Baumarten in Gruppen zusammengefaßt. Die Gliederung der Unterscheidungsmerkmale in Schadzone 1 ($0,08 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$ -Mittel), Schadzone 2 ($0,06 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$ -Mittel) und Schadzone 3 ($0,04 \text{ mg/m}^3 \text{ SO}_2$ -Mittel) ermöglicht es festzustellen, ob echte oder stochastische Unterschiede zu den in Ertragstafeln enthaltenen Normalvorräten (Holzvorrat ohne Immissionseinfluß) auftreten und wie groß diese sind.

B: Zur statistischen Auswertung wurde das vorliegende Datenmaterial wie folgt aufbereitet:

1. Häufigkeitstabellen

1.1. Flächensummen nach vorgegebener Untergliederung der Variablen:

$$F_{ij} = \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L t_{ij}$$

mit den Klassennummern $i = 1, 2, \dots, K$ für die Untergliederung nach Derbolzvorrat bzw. Massenschlußgrad und $j = 1, 2, \dots, L$ für die Untergliederung nach Alter gemäß Punkt A.

1.2. Gewichtete Mittelwerte:

$$G_{ij} = \frac{1}{F_{ij}} \left(\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L t_{ij} \cdot v_{ij} \right)$$

mit v_{KL} als zu f_{KL} gehörigem Vorrat bzw. Massenschlußgrad.

1.3. Flächenprozente

$$P_{ij} = \frac{F_{ij}}{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L F_{ij}} \cdot 100.$$

2. Statistische Maßzahlen

2.1. Mittelwert Alter

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n$$

N = Anzahl der in der Tabelle erscheinenden Beobachtungen, x_n = Alter gemäß Punkt A.

2.2. Mittelwert Vorrat bzw. Massenschlußgrad

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n.$$

2.3. Varianz

$$s_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2,$$

$$s_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (y_n - \bar{y})^2.$$

2.4. Kovarianz

$$s_{xy} = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y}).$$

2.5. Korrelation

$$R = \frac{s_{xy}}{s_x \cdot s_y}.$$

Durch die Kovarianzanalyse (Verbindung von Varianz- und Korrelationsanalyse) werden zusätzliche Informationen durch Ausschaltung störender Einflüsse einer zweiten Variablen gewonnen; sie ermöglicht dadurch eine exaktere Einschätzung der Behandlungsmittelwerte des interessierenden Merkmals (Heinisch, Rosenthal und Leibnitz 1965).

Die Auswertung der Daten des StFB Dübener Heide erfolgte auf der EDVA ES1040 mittels selbst erstellter Programme in der verfahrensorientierten Programmiersprache PL/1 und basierte auf dem unveränderten, also nichtreduzierten Datenbestand, der etwa 21 000 Datensätze umfaßt.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der EDV-mäßigen Datenauswertung sind in den Tabn. 1 und 2 zusammenfassend dargestellt. Sie lassen folgende Feststellungen zu:

Tabelle 1. Korrelationskoeffizienten für Alter und Holzvorrat verschiedener Waldbestände nach Schadzonen

Schadzone	Baumart	Kiefer	Fichte	Sonstige Nadelbäume	Eiche	Buche	Sonstige Laubbäume
1	Alter	39,63	31,48	14,90	116,18	99,92	70,32
	Holzvorrat	52,26	77,04	15,74	61,81	162,32	52,70
	Korrelationskoeffizient	0,35	0,82	0,68	0,12	0,12	0,07
2	Alter	40,84	46,24	15,99	92,98	85,08	51,25
	Holzvorrat	67,96	108,21	21,17	91,22	153,23	70,52
	Korrelationskoeffizient	0,45	0,69	0,80	0,21	0,86	0,12
3	Alter	40,40	38,81	19,08	75,63	80,58	48,88
	Holzvorrat	72,77	103,92	35,76	106,83	152,64	86,97
	Korrelationskoeffizient	0,47	0,85	0,78	0,22	0,63	0,11

Tabelle 2. Korrelationskoeffizienten für Alter und Massenschlußgrad verschiedener Waldbestände nach Schadzonen

Schadzone	Baumart	Kiefer	Fichte	Sonstige Nadelbäume	Eiche	Buche	Sonstige Laubbäume
1	Alter	39,63	31,48	14,90	116,18	99,92	70,32
	Massenschlußgrad	0,81	0,71	0,85	0,73	0,85	0,79
	Korrelationskoeffizient	-0,22	-0,15	-0,07	0,02	-0,42	0,00
2	Alter	40,84	46,24	15,99	92,98	85,08	51,25
	Massenschlußgrad	0,87	0,74	0,85	0,78	0,75	0,82
	Korrelationskoeffizient	-0,30	-0,70	0,07	-0,08	-0,40	-0,09
3	Alter	40,40	38,81	19,08	75,63	80,58	48,88
	Massenschlußgrad	0,89	0,78	0,87	0,80	0,76	0,85
	Korrelationskoeffizient	-0,28	-0,46	-0,31	-0,20	-0,19	-0,12

- Alter und Holzvorrat sind bei allen Baumarten und in allen Schadzonen miteinander positiv korreliert, d. h. die Werte der beiden Veränderlichen nehmen gleichzeitig in gleicher Richtung zu.
- Die dazugehörigen Korrelationskoeffizienten weisen Werte auf, die zwischen 0,07 und 0,86 liegen. Schwache Korrelationen (Werte unter 0,3) treten bei Eiche (in allen Schadzonen), bei Buche (Schadzone 1) und bei allen sonstigen Laubbäumen (in allen Schadzonen) auf. Mäßige Korrelationen (Werte zwischen 0,3 bis 0,7) kommen bei Kiefer (in allen Schadzonen), bei Fichte (Schadzone 2), bei sonstigen Nadelbäumen (Schadzone 1) und bei Buche (Schadzone 3) vor. Starke Korrelationen (Werte über 0,7) sind bei Fichte (Schadzone 1 und 3), sonstigen Nadelbäumen (Schadzone 2 und 3) und bei Buche (Schadzone 2) zu finden. Der Abhängigkeitsgrad der zwei Zufalls-

veränderlichen (Alter und Holzvorrat) schwankt je nach Baumart und Schadzone zwischen 0 und + 1. Bei einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % unterscheiden sich alle Korrelationswerte, mit Ausnahme von 0.12 bei Buche in der Schadzone 1, signifikant von Null. Damit bestehen zwar gesicherte Abhängigkeiten zwischen den zufälligen Variablen, jedoch bedeutet diese Tatsache lediglich, daß die Werte des einen Merkmals durch das andere Merkmal in mehr oder minder starkem Maße mitbestimmt werden (Cavalli-Sforza 1965). Insgesamt bieten die Korrelationskoeffizienten ein sehr heterogenes Bild, aus dem dennoch abgelesen werden kann, daß ihre Werte bei Nadelwald im Durchschnitt höher liegen als bei Laubwald. Klare Abstufungen der Korrelationswerte zwischen den Schadstufen zeigen sich nur bei den Baumarten Kiefer und Eiche, wobei in diesen Fällen der Unterschied zwischen Schadzone 1 und Schadzone 2 deutlicher ausfällt als der zwischen den Schadzonen 2 und 3.

3. Alter und Massenschlußgrad sind (bis auf drei Ausnahmen) negativ korreliert, d. h. mit zunehmendem Alter geht eine Abnahme des Massenschlußgrades einher. Die beiden Merkmale variieren also gegenläufig.
4. Die dazugehörenden Korrelationskoeffizienten weisen Werte auf, die im positiven Bereich zwischen 0 und 0.7 liegen und im negativen Bereich zwischen -0.07 und -0.7 . Bei der unterstellten Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % konnte keine Signifikanz erreicht werden bei Fichte (Schadzone 1), sonstigen Nadelbäumen (Schadzone 1 und 2), Eiche (Schadzone 1 und 2) und sonstigen Laubbäumen (Schadzone 1). Insgesamt liegen auch hier die Werte der Korrelationskoeffizienten von Nadelwaldbeständen im Durchschnitt höher als die von Laubwaldbeständen, jedoch existieren zwischen den Schadzonen nicht so klare Unterschiede, wie sie eigentlich aufgrund der Einschätzungen von Lux und Stein (1977) zu erwarten gewesen wären.

4. Diskussion der Ergebnisse

Mit den Ergebnissen sollten Erkenntnisse darüber gewonnen werden, ob es allgemeingültige Aussagen über den Einfluß industrieller Immissionen auf die Waldbestände gibt und inwieweit sie sich über den Holzvorrat und Massenschlußgrad der einzelnen Schadzonen erfassen lassen. Aufgrund von Beobachtungen des Immissionsverlaufs im Freiland mußte erwartet werden, daß die Nadelbäume stärker geschädigt sind als die Laubbäume, daß sich Schädigungen der Baumbestände von der Schadzone 1 zur Schadzone 3 kontinuierlich vermindern und daß ältere Waldbestände stärkere Schädigungen aufweisen als jüngere.

Zunächst sei darauf hingewiesen, daß insbesondere in gleichaltrigen Reinbeständen, mit denen wir es zumindest bei den Kiefernbeständen (sie stellen rund 77 % der Schadfläche und rund 72 % der geschädigten Holzvorratsmasse) überwiegend zu tun haben, immer wiederkehrende, typische Stammzahl-, Baumhöhen- und Vorratsfrequenzen auftreten, die innerhalb eines Wuchsgebietes mit dem Bestandesalter gut korrelieren (Weck 1955; Richter 1958). Der Normalvorrat nimmt innerhalb einer Umtriebszeit (Zeit zwischen Begründung und Abtrieb eines Bestandes) bei allen Baumarten und in allen Ertragsklassen zu, wenn auch in unterschiedlichem Maße (s. Zuwachskurve), und läuft auf ein Optimum hinaus (s. Wachstumskurve), das je nach inneren (genetischen, baumartenspezifischen) und äußeren (standörtlichen, klimatischen, bewirtschaftungstechnischen) Bedingungen sehr unterschiedlich sein kann. Demzufolge geben Maße, wie etwa Korrelationskoeffizienten, bis zu einem gewissen Grade zweifellos Aufschluß über die wirkliche Situation und Einblick in die Vorratshaltung und Ertragsklassenentwicklung. Welcher Aussagewert den Korrelationskoeffizienten in dieser Hinsicht zuerkannt werden könnte, wurde für die Baumarten Kiefer, Fichte, Eiche und Buche genauer untersucht (Tab. 3). Dabei ging es vor allem um die Klärung folgender Fragen:

- Spiegelt der Korrelationskoeffizient genau genug die Immissionseinflüsse wider?
- Warum sind die Korrelationskoeffizienten der Laubhölzer kleiner als die der Nadelhölzer; weist das entgegen bisherigen gesicherten Erkenntnissen etwa auf stärkere Schädigungen der Lauhölzer hin?
- Warum hat gerade die Fichte als SO₂-empfindlichste Baumart (Däfler (1976) die höchsten Korrelationskoeffizienten und damit relativ günstige Vorratsverhältnisse im Vergleich zum Normalvorrat?
- Warum ist der Korrelationskoeffizient der Fichte in Schadzone 2 kleiner als in Schadzone 1, deutet das auf geringere Schäden in der Schadzone 1 hin?
- Inwieweit kann bestätigt werden, daß jüngere Bestände bei gleichen Immissionsbelastungen geringere Schäden aufweisen als ältere; handelt es sich um ein durchgängiges Prinzip?

Vergleiche zwischen Soll- und Ist-Vorrat (Tab. 3) zeigen, daß der Soll-Vorrat (bis auf eine Ausnahme) bei weitem nicht erreicht wird, selbst wenn man die dritte Ertragsklasse des altersbedingten Soll-Vorrats mit dem Ist-Vorrat vergleicht. Da bei der Festlegung des Soll-Vorrats von den Ertragstafelwerten für mäßige Durchforstung (Ertel 1963) ausgegangen wurde und damit bereits Bewirtschaftungsmaßnahmen Berücksichtigung fanden, können die starken Abweichungen vom Sollvorrat nur noch auf anormale Bewirtschaftungssituationen zurückgeführt werden, wie sie unter SO₂-Immissionen zwangsläufig eintreten. Das wird durch die Korrelationskoeffizienten eindeutig erfaßt. Sie belegen auch, daß die Situation bei den Laubbeständen ungünstiger aussieht als bei den Nadelwaldbeständen. Das geht aber weniger auf SO₂-Einflüsse zurück als vielmehr auf langfristig stärkere Eingriffe in die Laubwaldbestände mit dem Ziel, diese in leistungsstärkere Nadelwälder umzuwandeln. Bei den Laubwäldern wurden wiederum aufgrund des höheren Alters die Eichenbestände stärker genutzt als die Buchenbestände, was sich in den Korrelationskoeffizienten widerspiegelt.

Bei der Fichte, die einen Anteil an der Gesamtschadfläche von 0,64 % und am geschädigten Holzvorrat von 0,94 % einnimmt, spielen sicherlich altersbedingte Faktoren eine größere Rolle für die günstigere Vorratsituation gegenüber anderen Baumarten. Die Wüchsigkeit von Fichten im Alter 30 ist offensichtlich so groß, daß stärkere Immissionseinflüsse zeitweise bis zu einem gewissen Grade besser abgefangen und damit überdeckt werden können als zehn Jahre später. Hinzu kommt, daß ein stärkerer Holzeinschlag in jüngeren Beständen unterbleibt, solange ältere Bestände in derselben Schadzone vorhanden sind. Ziel ist, die Verluste an Holzertrag und Geld durch vorzeitigen Abtrieb so gering wie möglich zu halten. Daß nach dieser Regel in der Rohholzbereitstellung verfahren wird, ist bei der Fichte in der Schadzone 2 zu ersehen, die im Alter von 46 Jahren bereits stärkere Eingriffe in das Bestandesgefüge aufweist, was sich dann auch im Wert des Korrelationskoeffizienten niederschlägt.

In diesem Sinne muß schließlich auch die Frage nach der Altersabhängigkeit der Immissionsschäden beantwortet werden. Die größere Wuchspotenz in der Anfangsphase der Bestandesentwicklung bis zur Kulmination des laufenden Zuwachses leitet sich bereits aus dem Backmanschen Wachstumsgesetz ab, das nicht nur für Einzelbäume gilt. In dieser Phase ist auch der laufende jährliche Zuwachs an Derbholzmasse insbesondere bei den Nadelbaumarten am größten (Tab. 4), wobei etwa 16 % des Endwertes an Vorratsmasse erzeugt werden (Tab. 5). Die darin zum Ausdruck kommende Vitalität ist Ursache dafür, daß junge Bäume und Bestände auf ungünstigere Außenbedingungen flexibler reagieren können und damit besser in der Lage sind, auftretenden Störungen einen größeren ökophysiologischen Widerstand entgegenzusetzen. Das mögen auch die Gründe dafür sein, weshalb jüngere Bestände selbst der Schadzone 1

Tabelle 3. Durchschnittlicher Anteil (‰) des Ist-Vorrats am Soll-Vorrat nach Baumarten, Schadzonen und Bonitäten

Baumart Schadzone	Kiefer			Fichte			Eiche			Buche		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ϕ-Ist-Vorrat (Vfm/ha)	52	68	73	77	108	104	62	91	107	162	153	153
ϕ-Soll-Vorrat (Vfm/ha)												
1. Bonität	227	227	227	172	365	304	408	359	290	516	456	433
2. Bonität	175	175	175	86	255	194	337	293	229	433	376	354
3. Bonität	126	126	126	27	155	110	273	234	180	345	293	272
ϕ-Anteil am Soll-Vorrat (‰)												
1. Bonität	23	30	32	45	30	34	15	25	37	31	34	35
2. Bonität	30	39	42	90	42	54	18	31	47	37	41	43
3. Bonität	41	54	58	285	70	95	23	39	59	47	52	56
Korrelationskoeffizient	0,35	0,45	0,47	0,82	0,69	0,85	0,12	0,21	0,22	0,12	0,86	0,63

Erklärung: Die Werte für den durchschnittlichen Soll-Vorrat wurden der Ertragstafel (Ertelt 1963) entsprechend dem jeweiligen Durchschnittsalter entnommen.

Tabelle 4. Laufender jährlicher Zuwachs (fm) an Derbholzmasse bei Kiefer, Fichte, Eiche und Buche für mäßige Durchforstung

Baumart Bonität Alter (Jahre)	Kiefer			Fichte			Eiche			Buche		
	1 fm	2 fm	3 fm	1 fm	2 fm	3 fm	1 fm	2 fm	3 fm	1 fm	2 fm	3 fm
20	11,0	9,6	8,0	7,8	2,4	1,0	4,4	4,2	3,2	8,4	8,0	—
40	11,6	9,6	8,0	17,0	14,4	11,4	10,0	7,2	4,4	10,6	8,7	7,0
60	9,4	7,6	6,6	14,8	13,6	11,2	9,4	7,4	6,0	12,1	10,2	8,2
80	7,6	6,8	5,2	13,0	10,8	9,6	8,4	7,0	5,2	11,1	9,7	7,8
100	6,2	5,4	4,0	10,8	9,2	8,2	7,4	6,2	5,0	10,4	9,2	7,0
120	5,4	4,0	3,0	9,6	8,0	7,2	7,0	5,8	4,4	10,2	9,0	6,7
140	3,2	2,2	1,8	—	—	—	6,4	5,0	4,2	10,0	8,6	6,2

Tabelle 5. Wachstumsphasen und Ertragswerte nach Weck (1955)

Lebensabschnitt	Ertragsendwert (%)
1. Kulmination des laufenden Zuwachses	15,9
2. Volle Mannbarkeit und Fertilität	50,0
3. Abklingen der Fertilität	84,1
4. Beginn der Senilität	92,1
5. Alterstod	95,8

weniger geschädigt sind als ältere und damit vom Holzeinschlag weitgehend verschont bleiben. Hinzu kommen wirtschaftliche Überlegungen, die darauf abzielen, den Standort möglichst optimal für hohe Ertragsleistungen zu nutzen und den Abtrieb der Bestände relativ lange hinauszuschieben, um das Ertragspotential der Bestände den Bedingungen entsprechend voll auszuschöpfen. Natürliche und wirtschaftliche Komponenten wirken hierbei so zusammen, daß sich das Bild der jüngeren Bestände im Vergleich zu älteren vorteilhaft abhebt.

Wie es sich auch bei diesen waldökologischen Ermittlungen erweist, dürfen die Korrelationskoeffizienten nie als starre Zahlenwerte, sondern lediglich als Anhaltspunkte für die Beurteilung des vorliegenden Zahlenmaterials betrachtet werden (Heinisch 1958). Nach wie vor ist das Schwerste die Deutung, die nur bei Kenntnis der realen Situation richtig vorgenommen werden kann. Die Korrelationsanalyse macht die Vielzahl der Ereignisse und Erscheinungen erst durchschaubar und gestattet, die qualitativen Beobachtungen und Aussagen über die Zusammenhänge auch von SO₂-Immissionen und ihren waldökologischen Wirkungen quantitativ zu belegen.

Die vorliegenden Korrelationsanalysen verdeutlichen, daß aus der Straffheit des Zusammenhangs zwischen Alter einerseits und Holzvorrat sowie Massenschlußgrad andererseits auf die Immissionsbelastungen geschlossen werden kann, wenn man die sonstigen Einflüsse, die sich aus den Bewirtschaftungszielen ergeben, eliminiert. Unter dieser Voraussetzung bringen sie auch den Trend zum Ausdruck, daß die wirtschaftlichen Eingriffe dort am größten sind, wo die Bestände die stärksten Schädigungen aufweisen. Das betrifft zum ersten die Schadzone 1 und zum anderen die älteren Nadelwaldbestände, in denen die Schäden bereits mit 40 Jahren verstärkt einsetzen. Die mathematisch-statistische Auswertung veranschaulicht ferner, daß die immissionsbedingten Schädigungen zu einer beträchtlichen Verminderung des Holzvorrates/ha führen, die faktisch einem Abrutschen in die Ertragsklassen vier und fünf entspricht, wenn der Ist-Vorrat an Ertragstafelwerten gemessen wird. Damit wird schließlich auch zahlenmäßig sichtbar, daß die Holzertragsleistungen wesentlich unter dem Holzertragsvermögen der Standorte liegen und daß unter Immissionsbedingungen noch nach geeigneten Wegen gesucht werden muß, um die Holzerträge der Dübener Heide stärker mit dem standörtlichen Ertragspotential in Einklang zu bringen.

5. Zusammenfassung

Auf der Grundlage des vorhandenen Datenmaterials über das Immissionsgebiet Dübener Heide wurden Korrelationsanalysen durchgeführt mit dem Ziel, Erkenntnisse über die Auswirkung von SO₂-Immissionen auf den Holzmassenvorrat und den Massenschlußgrad in Abhängigkeit von Alter und Immissionsintensität zu gewinnen. Unter Berücksichtigung einschlägiger Bewirtschaftungsmaßnahmen, die sich aus dem Alter der Bestände ergeben, konnte festgestellt werden, daß bei 40jährigen Kiefernbeständen mäßige Korrelationen vorliegen. Sie signalisieren den Einfluß von SO₂-Immissionen, der durch einen Abfall des Holzmassenvorrates zum Ausdruck kommt. Dabei zeigte sich, daß die immissionsbedingten Eingriffe in

den Bestandesvorrat in der Schadzone 1 am größten sind und sich gegenüber den Schadzonen 2 und 3 deutlich abheben. Weiterhin konnte sichtbar gemacht werden, daß sich die Immissionen in Nadelwaldbeständen bis zu einem Alter von 35 Jahren nicht so stark auswirken wie in älteren Beständen, was in erster Linie auf wachstumsenergetische Faktoren zurückgeführt werden könnte. Um das Holzertragsvermögen der Standorte voll auszunutzen, werden sich zukünftig bestimmte Änderungen gegenüber bisherigen Bewirtschaftungsmaßnahmen (Umwandlung der Nadelwald- in Laubwaldbestände, Verkürzung der Umtriebszeit, Unterbaumaßnahmen) nicht vermeiden lassen.

Schrifttum

- Blanckmeister, J.: Die räumliche und zeitliche Ordnung im Walde des mitteleuropäischen Raumes. Neumann Verlag, Radebeul 1956.
- Cavalli-Sforza, L.: Grundbegriffe der Biometrie. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1965.
- Däpfler, H.-G.: Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1976.
- Erteld, W.: Ertragstafelauszüge. Neumann Verlag, Radebeul 1963.
- Fischer, P., R. Göttnert und R. Krieg: Was ist – was kann Statistik. Urania-Verlag, Leipzig, Jena, Berlin 1975.
- Heinisch, O.: Die Bedeutung der Biometrie für die Landwirtschaftswissenschaften im allgemeinen und für die Pflanzenzüchtung im besonderen. Sitzungsberichte, AdL der DDR **14** (1958) 1–45.
- Heinisch, O., Ch. Rosenthal und E. Leibnitz: Biometrie, Lehrheft zum Hochschulstudium der Landwirtschaftswissenschaften der Humboldt Universität. Berlin 1965.
- Lux, H., und G. Stein: Die forstlichen Immissionsgebiete im Lee des Ballungsraumes Halle und Leipzig. Hercynia N. F. **14** (1977) 413–421.
- Margraf, O.: Zur quantitativen Bestimmung der Intensität stochastischer Zusammenhänge in der Geographie. Geogr. Berichte **4** (1977) 296–308.
- Paucke, H., D. Möller und E. Lux: Studie zur Untersuchung der Beziehungen zwischen Emission und Gefährdungsgrad der Biosphäre. Teil 2: Analyse und Prognose der SO₂-Emissionssituation von 1950 bis 2000 im Raum Bitterfeld und deren Auswirkung auf das Waldgebiet Dübener Heide, Forschungsber. AdW der DDR, unveröff. Man., Berlin 1976.
- Richter, A.: Über Bedeutung und Anwendung von Stichprobeerhebungen in der Forstwirtschaft. Sitzungsberichte, AdL der DDR **9** (1958) 1–39.
- Weber, E.: Grundriß der biologischen Statistik. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1972.
- Weck, J.: Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde. Neumann Verlag, Radebeul und Berlin 1955.

Dr. sc. Horst Paucke
 Institut für Geographie und Geoökologie
 der Akademie der Wissenschaften der DDR
 Bereich Ökologisch-ökonomische Systeme
 DDR - 1199 Berlin
 Rudower Chaussee 5

Dr. Ulrich Kausmann
 und Dipl.-Math. Bernd Schmidt
 Institut für Forstwissenschaften Eberswalde
 Organisations- und Rechenzentrum Potsdam
 DDR - 1502 Potsdam - Babelsberg
 Virchowstraße 39-41