

Literature Cited

- BURKART, A.: A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). J. Arnold Arboret. 57 (3), 219–249; (4), 450–525 (1976). — NARANJO, C. A. and ENUS-ZEIGER, S.: Cromatografía de fenoles y morfología en especies e híbridos de *Prosopis* de La Pampa. Actas XIX Jornadas Argent. Botánica 32 (1983). — NARANJO, G. A., POGGIO, L. and ENUS-ZEIGER, S.: Phenol chromatography, morphology and cytogenetics in three species and natural hybrids of *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). Plant Syst. Evol. 144, 257–276 (1984). — SAIDMAN, B. D.: Estudio de la variación alozímica en el género *Prosopis*. Ph.D. thesis. Fac. Cs. Ex. y Nat. Buenos Aires, Argentina (1985). — SAIDMAN, B. O.: Isoenzymatic studies of alcohol dehydrogenase and glutamate oxalacetate transaminase in four South American species of *Prosopis* and their natural hybrids. Silvae Genetica 35, 3–10 (1986). — SAIDMAN, B. O. and VILARDI, J. C.: Analysis of the genetic similarities among seven species of *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae). In Press (1987). — SIMPSON, B. B.: Breeding systems of dominant perennial plants of two disjunct warm desert ecosystems. Oecologia (Berl.) 27, 203–226 (1977). — SIMPSON, B. B. and SOLBRIG, O. T.: Introduction. In: SIMPSON, B. B. (Ed.). *Mesquite/Its biology in two desert ecosystems*. US/IBP. Synthesis. Ser. 4 Dowden, Hutchinson and Ross Inc. Pennsylvania, 1–15 (1977). — VILARDI, J. C., SAIDMAN, B. O. and PALACIOS, R. A.: Muestreo según variabilidad. In: *Prosopis en Argentina — Documento Preliminar. I Taller International sobre Recurso Genético y Conservación de Germoplasma en Prosopis*. Univ. Nac. Córdoba — Univ. Nac. Buenos Aires. FAO, 119–124 (1988).

Die Variabilität der Immissionsresistenz von Fichtenherkünften – ein Beitrag zum IUFRO-Fichtenprovenienzversuch 1964/1968

Von W. KNABE*), W. URFER**) und H. VENNE***)

(Eingegangen am 26. September 1988)

Zusammenfassung

Im Jahre 1968 wurden 100 Fichtenherkünfte aus dem europäischen Verbreitungsgebiet der Art *Picea abies* (L.) KARST. auf drei unterschiedlich immissionsbelasteten Flächen angebaut, um die Variabilität der Immissionsresistenz dieser Baumart zu ermitteln und relativ widerstandsfähige Provenienzen für den praktischen Anbau in immissionsbelasteten Gebieten zu selektieren. Jede Fläche enthielt 20 vollständige Blocks mit Einzelbaumparzellen der 100 Herkünfte. Der Versuch zeichnet sich aus durch wiederholte Höhenaufnahmen und Bonitierungen der Benadelung sowie durch die wiederholte Erfassung der Immissionsbelastung mit Hilfe von Nadelanalysen.

Der Bericht enthält Angaben zur biologischen Variabilität der Fichte unter unterschiedlichen Immissionsbelastungen. Dargestellt wird die Entwicklung der Ausfälle, das Höhenwachstum und erstmals die mehrjährige Entwicklung der Benadelung.

Die Pflanzen auf den stärker belasteten Flächen in Hagen hatten fast einen Nadeljahrgang weniger und zeigten auch ein signifikant schlechteres Höhenwachstum als auf der weniger belasteten Fläche Rumbleck. Trotzdem wird auf allen Flächen eine große Variation der untersuchten Parameter gefunden, allerdings auf unterschiedlichem Niveau.

Eine Prognose der weiteren Entwicklung anhand einer Nadelbonitierung im ersten Jahr nach der Pflanzung war nicht möglich, dagegen war die Anzahl der Nadeljahrgänge 5 Jahre nach der Pflanzung deutlich korreliert mit dem weiteren Wachstum und dem späteren Zustand der Benadelung.

Aus den Untersuchungen werden Kenngrößen zur Beurteilung der Anbaueignung am Versuchsort, der relativen Immissionsresistenz und der Anbaueignung in immissionsbelasteten Gebieten abgeleitet. Die Variabilität dieser Kriterien wird untersucht. Zusätzlich wird ein Modell für die

Auswertung geordneter kategorialer Daten vorgestellt.

Für das weitere Vorgehen kommt ein Saatgutimport aus SW-Polen, aus dem viele überlegene Herkünfte stammen, oder die vegetative Vermehrung des Versuchsmaterials in Betracht. Der zweite Weg wurde bereits durch den Anbau in alten und neuen Zentren der Waldschäden beschritten. Als Allheilmittel gegen die Waldschäden kommen diese Selektionen aber nicht in Betracht. Sie können nur das Ausmaß weiterer Schäden in besonders belasteten Gebieten verringern.

Summary

The variability of Norway spruce provenances in regard to their tolerance to air pollution — a contribution to the IUFRO-provenance-trial 1964 to 1968

In 1968 100 European provenances of Norway spruce (*Picea abies* (L.) KARST) were planted at three sites with different pollution load in order to investigate the variability of its tolerance to air pollution and to select relatively tolerant provenances for planting in polluted regions of Germany. Every trial contained 20 complete blocks with single tree plots of the 100 provenances. Special features of this experiment are repeated measurements of height growth combined with the survey of needle retention and needle analysis to find out the level of air pollution.

The report contains results of the biological variability of Norway spruce under different pollution levels. The development of dieback, height growth and needle retention is analysed.

The two sites at Hagen with increased levels of many pollutants which originated from mixed industrial and traffic emissions showed significantly lower height growth and poorer needle retention than the third site, Rumbleck, with less pollution. However, a great variation of height growth and needle retention were observed on all sites, only at different levels.

An early indication of future behaviour by assessing the condition of the foliage in the year after planting appeared as difficult, whereas the number of needle sets 5 years after planting was positive correlated with the later development of height growth and foliage.

Three criteria for pollution tolerance are described, site suitability, relative resistance and relative suitability for polluted areas. The variation of these criteria is shown. In addition, a mixed-model for analysing ordered cate-

*) Bundeshaus, D-5300 Bonn.

**) 1976 bis 1987 Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung NW, D-4350 Recklinghausen; 1966 bis 1976 Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz NW, D-4300 Essen.

***) Universität Dortmund, Fachbereich Statistik, D-4600 Dortmund

****) Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, D-2070 Großhansdorf

gorical data is described.

The investigated provenances showed marked differences in these parameters. Further proceedings could consist of either the import of seed from South West-Poland where numerous good provenances came from, or the vegetative propagation of selected individuals or provenance samples from the polluted test sites. The later way has already been tried. This procedure is by no means regarded as a cure for the present forest dieback, however, the amount of damage in polluted areas could be reduced.

Key words: Norway spruce, provenance trial, variability, air pollution, relative resistance, foliage development.

1. Einleitung

Auf dem XIV. IUFRO-Kongress in München 1967 war die Forderung aufgestellt worden, bei künftigen internationalen Provenienzversuchen je eine Versuchsfäche in den wichtigsten immissionsgeschädigten Anbaugebieten der betreffenden Baumarten anzulegen.

Für den internationalen Fichtenprovenienzversuch etwa wären dies das Erzgebirge und das Ruhrgebiet, für Kiefernprovenienzversuche die Lausitz, der Bitterfelder Raum und das nördliche Ruhrgebiet gewesen (KNABE, 1967 und 1986).

Durch dieses Vorgehen sollte der erwünschte Überblick über das Resistenzverhalten einer ganzen Baumart gewonnen werden.

Diese Forderung ergänzt das von KRUTZSCH (1974) formulierte Ziel des Fichtenprovenienzversuches, die Variation innerhalb der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.) zu untersuchen. KRUTZSCH: „Existieren Regionen eines besonderen Typs von Fichte und wie groß ist die Variation zwischen und innerhalb dieser Regionen?“ Für praktische Zwecke sei es wichtig, die besten Regionen oder Provenienzen für die Saatgutbeschaffung zu finden. Das endgültige Ziel sei, eine große Anzahl von Genotypen mit möglichst großen Unterschieden an einer Vielzahl von Orten zu testen, um unter ihnen für künftige Züchtungen auswählen zu können.

Die in München aufgestellte Forderung wurde in Nordrhein-Westfalen von KNABE bereits im Folgejahr verwirklicht. Der Versuch unterscheidet sich von den übrigen IUFRO-Versuchen durch eine dichtere Abfolge von Messungen und durch die wiederholte Aufnahme der Benadelung als Hinweis auf die Vitalität der Bäume und mögliche Immissionswirkungen.

Eine weitere Besonderheit dieses Versuches sind die wiederholten Nadelanalysen, um den Grad der Immissionsbelastung über die Jahre hinweg zu verfolgen.

Angesichts der gegenwärtigen Waldschäden gewinnen die Ergebnisse dieses Versuches, die bisher nur auszugsweise von KNABE (1985) und KNABE und URFER (1985) veröffentlicht wurden, für die Forstpflanzenzüchtung und die Forstwirtschaft insgesamt an Bedeutung.

2. Versuchsziele und Definitionen

2.1. Versuchsziel

Das Versuchsziel hat sich aus den forstlichen Verhältnissen im Ruhrgebiet ergeben. Bereits in den 60er Jahren, also lange Zeit vor dem Auftreten großflächiger Waldschäden, waren ältere immergrüne Koniferen im Kern des Ruhrgebietes nahezu verschwunden und auch in den Randgebieten zurückgedrängt worden (WENTZEL, 1962; KNABE, 1970 und 1972). Ein Förderprogramm des Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Nord-

rhein-Westfalen zur Walderhaltung in immissionsbelasteten Gebieten, das im wesentlichen den Ersatz der Nadelhölzer durch resistenter Laubbäume und die Schwarzkiefer vorsah (MELF NRW, 1966, 1967, 1969 und ROST, 1972), konnte zwar vorübergehend den Bestand des Waldes, nicht aber die Qualität seiner Wohlfahrtswirkungen erhalten. Das Absterben und die Verdrängung ganzjährig benadelter Koniferen bedeutete eine Verminderung der Erholungsqualität und Filterkapazität der Bestände.

Auf die ökologische Schutzfunktion zur Reinhaltung der Luft kann jedoch nicht verzichtet werden. Nach HASEL (1971) kann ein gesunder Fichtenbestand 30 bis 35 t Staub je Jahr und ha ausfiltern und es gibt zahlreiche Belege für die überdurchschnittlich hohe Filterleistung von Fichtenbeständen auch gegenüber schwefelhaltigen Luftverunreinigungen (MAYER, 1974; GÜNTHER und KNABE, 1976; KNABE, 1977; und ULRICH, MAYER und KHANNA, 1979).

Aufgrund dieser Sachlage wurden deshalb 1968 zwei Versuchsziele formuliert, von denen eines dem Fortschritt der Theorie, das zweite praktischen Bedürfnissen der Forstwirtschaft in Nordrhein-Westfalen dienen sollte. Diese Ziele lauten:

1. Untersuchung der Variationsbreite der Immissionsresistenz der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) KARST.);
2. Selektion von relativ widerstandsfähigen Provenienzen oder Klonen für den praktischen Anbau im immissionsbelasteten Gebieten.

An einen Anbau dieser Selektionen im gesamten Verbreitungsgebiet der Fichte war nicht gedacht.

2.2. Definitionen

Mit biologischer Variabilität wird die quantitative Mannigfaltigkeit aller biologischen Werte und Maße bezeichnet.

Diese Variabilität erstreckt sich sowohl auf qualitative Merkmale, wie etwa Schaftform, Nadelfarbe oder Galläusebefall als auch auf quantitative Merkmale wie Höhe, jährlicher Zuwachs, Nadellänge oder Durchmesser und Umfang eines Baumes. Bei jedem Einzelmerkmal kann man Unterschiede zwischen Individuen aus verschiedenen Regionen, an verschiedenen Anbauorten oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten finden. So können etwa Rangfolgen des Höhenwachstums oder der Benadelung sich sowohl im Laufe der Zeit verändern als auch zwischen Anbauorten variieren.

Immissionsresistenz ist die Fähigkeit, Immissionswirkungen soweit zu kompensieren, daß keine irreversible Schädigung der Pflanze eintritt. Die Immissionsresistenz endet in der Regel an einem bestimmten Schwellenwert. In der neueren Literatur wird Immissionsresistenz häufig in Anlehnung an das amerikanische „tolerant“ durch Immissionstoleranz ersetzt.

Im vom lateinischen „resistere“ abgeleiteten Ausdruck „Resistenz“ liegt das Gewicht auf dem „Widerstehen“ einer bestimmten Belastung.

Das ebenfalls aus dem Lateinischen von „tolerare“ abgeleitete Wort „Toleranz“ bezeichnet ganz ähnlich die Duldung oder das Aushalten einer bestimmten Belastung. So können beide Ausdrücke als Synonyme gebraucht werden. Im folgenden wird der Ausdruck „Resistenzzüchtung“ verwendet. In dieser Arbeit soll über die Variabilität von Höhenzuwachs und Benadelung an unterschiedlich immissionsbelasteten Standorten und der daraus abgeleiteten Immissionsresistenz gesprochen werden.

3. Material und Methoden

3.1. Pflanzenmaterial

Das Pflanzenmaterial des Versuches wurde von Prof. WOLFGANG LANGNER vom Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung in Schmalenbeck der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Reinbek (jetzt Hamburg) für den Versuch zur Verfügung gestellt.

Es handelt sich um eine Auswahl von 100 der ursprünglich 1300 Provenienzen aus dem Gesamtverbreitungsgebiet der Fichte, in dem allerdings Rumänien fehlt. Hierzu gehören sowohl Herkünfte, für die nicht genügend Pflanzen für den Gesamtversuch von 1100 Herkünften zur Verfügung standen als auch Restbestände aus diesem Gesamtversuch. Dadurch wird die unmittelbare Vergleichbarkeit mit den anderen Versuchsflächen erschwert, andererseits sind aber einige besonders wüchsige, im Gesamtversuch nicht erhaltene Herkünfte vertreten. Abbildung 1 gibt einen Überblick über die verwendeten Herkünfte.

3.2. Versuchsanlage und Datenmaterial

Die bereitgestellten 80 Sämlinge jeder Herkunft wurden auf 4 Versuchsflächen aufgeteilt, von denen drei in Nordrhein-Westfalen liegen, die vierte in Amorbach, Odenwald. Auf jede Fläche entfielen also 20 Pflanzen je Herkunft. Die Anlage erfolgte als vollständiger Blockversuch mit Einzelbaumparzellen, Pflanzverband 2 m mal 2 m ohne Zwischenpflanzungen und ohne Düngung.

Fläche 1 (Rumbeck) war als Kontrolle gedacht, Fläche 2 (Hagen, Abt. 70a) wies mittelhohe Immissionen auf und Fläche 3 (Hagen, Abt. 44b) lag unmittelbar oberhalb einer Eisenhütte, so daß erhöhte SO₂- und HF-Werte zu erwarten waren. Die Immissionsdaten sind bei KNABE und URFER (1985) tabellarisch beschrieben und graphisch dargestellt.

Für alle drei Standorte waren Nordhänge ausgewählt worden, um für die Fichten am Rande ihrer künstlichen Verbreitung relativ günstige Standortbedingungen bereitzustellen. Auch die Standortverhältnisse der drei Versuchsflächen sind bei KNABE und URFER (1985) beschrieben.

Eine vierte Fläche, Amorbach im Odenwald, war zu Versuchsbeginn noch geringer belastet als Fläche 1 in Rumbeck, doch kann sie wegen der völlig abweichenden

Standortverhältnisse nicht unmittelbar mit den übrigen verglichen werden und wird hier nicht besprochen.

Unmittelbar neben den Sämlingsversuchen wurden insgesamt 25 selektierte Fichtenklone in 10- bis 12facher Wiederholung angebaut.

Die Ausbringung der Pflanzen erfolgte mit 4jährig verschulten Sämlingen im Frühjahr 1968. Die erste Aufnahme der Grundhöhe, die der Endhöhe 1967 in etwa entspricht, erfolgte einen Monat nach der Pflanzung bei gleichzeitigem Notieren von Ausfällen. Bis 1977 wurden weitere sechs Gesamthöhen, fünf Trieb längen und zehn Bonituren erhoben. Die weiteren Höhenaufnahmen erfolgten 1970, 1972, 1973, 1975, 1976 und 1977. Die Trieb längen wurden nur in den ersten fünf Jahren ermittelt. Von den Bonituren werden hier nur die Bonitierung des Gesamtzustandes der Benadelung im Jahr 1969 sowie der mit mindestens 75% vorhandenen Nadeljahrgänge im Herbst 1972 und der mit mindestens 85% vorhandenen Nadeljahrgänge im Sommer 1975 und 1977 besprochen. Untersuchungen bzgl. der Eignung weiterer qualitativer Erhebungen als Frühindikatoren finden sich bei VENNE (1985).

3.3. Bewertung von Pflanzenausfällen

Der Anbau der Sämlingsfichten erfolgte im vollständigen Blockversuch mit Einzelbaumparzellen. Infolge der bei Freilandversuchen unvermeidlichen Ausfälle wurde daraus ein Versuch mit unvollständigen Blöcken.

Die im Einzelfall unbekannte Ursache für einen Ausfall stellt ein Problem bei der Auswertung von Feldversuchen dar. Grundsätzlich bieten sich folgende Vorgehensweisen an (z. B. bei der Berechnung von Herkunftsmittelen):

1. Die Ausfälle bleiben unberücksichtigt.
Diese Vorgehensweise eignet sich für Selektionen aufgrund von Wuchsleistungen, da nur überlebende Pflanzen gewertet werden. Für die Auswertung des Gesamtversuchs bedeutet das Weglassen der bis zum Ausfall erhobenen Daten jedoch einen Informationsverlust.
2. Ausgefallene Pflanzen mit Null bewerten.
Für die Bildung von Selektionskriterien ist dieses Vorgehen problematisch, da andere als immissionsbedingte Schädigungen zu einem Absterben führen können. Das Ereignis eines Ausfalls wird also zu hoch gewichtet.
3. Einsetzen von Schätzwerten.
Z. B. Sortenmittel \times Blockmittel/Versuchsmittel (nicht erwartungstreue); besser sind erwartungstreue Schätzwerte nach YATES (1933), PEARCE und JEFFERS (1971). Solche Verfahren eignen sich insbesondere für die (rechnerische) Kompensation von Ausfällen kurz nach der Anpflanzung. Sie erleichtern die Berechnung der Sortenmittel, führen aber zu den gleichen Ergebnissen wie die Auswertung unvollständiger Blockversuche (siehe 1.).

4. Einsetzen der zuletzt erreichten Höhe.
Dadurch können die Informationen von später abgestorbenen Pflanzen genutzt werden. Die Überbewertung von Ausfällen ist hier nicht so groß wie im Fall 2. Da das Gewicht der Ausfälle jedoch stark vom Ausfallzeitpunkt abhängt, erscheint folgendes Verfahren angebrachter:
5. Schätzen der Endhöhe durch bedingte Schätzungen von Jahreszuwachsen aufgrund der vorliegenden Wachstumskurve (nicht erwartungstreue).

Bei der Entscheidung für eines dieser Verfahren muß das Untersuchungsziel Berücksichtigung finden. Die Selektion von wuchsstarken Herkünften sollte nur aufgrund der überlebenden Pflanzen erfolgen (Fälle 1 und 3). Bei

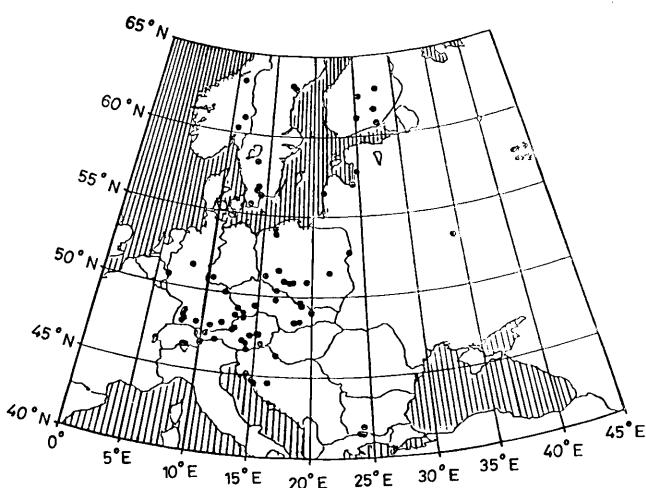


Abb. 1. — Herkünfte von *Picea abies* (L.) KARST. für Freilandversuche zur Prüfung der Immissionsresistenz in NW (nach VENNE, 1985).

Provenances of *Picea abies* (L.) KARST. in open air trials for testing pollution tolerance in NW (according to VENNE, 1985).

einer Untersuchung über Immissionswirkungen kann auf die Einbeziehung von Ausfällen und ggf. teilweise erhöhter Daten nicht verzichtet werden (Fälle 2, 4 und 5).

3.4. Selektionskriterien aufgrund von Leistungsvergleichen

Im vorliegenden Versuch sind von allen Bäumen Zuwachswerte und Bonitierungen der Benadelung erhoben worden. Die Verwendung beider Merkmale zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Fichtenprovenienz an einem Versuchsstandort (L_{ij}) verringert das Risiko einer Fehlinterpretation. Es wird vorgeschlagen, das geometrische Mittel aus mittlerem Zuwachs und mittlerer Benadelung zu verwenden, also:

$$L_{ij} = \sqrt{Z_{ij} \cdot B_{ij}} \quad (1)$$

mit i = Immissionsstandort,

j = Versuchsnummer der Herkunft,

Z_{ij} = mittlerer Zuwachs der Herkunft j am Immissionsstandort i ,

B_{ij} = mittlere Anzahl der Nadeljahrgänge der Herkunft j am Immissionsstandort i .

Zur Berechnung der Mittelwerte werden nur Bäume herangezogen, die bis zum Ende des Versuches überlebt haben.

Relative Immissionsresistenz

Die relative Immissionsresistenz (R_{ij}) ist ein Maß für die Leistung einer Herkunft j am Immissionsstandort i im Vergleich zu ihrer Leistung auf der Kontrollfläche k .

$$R_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_{kj}} = \sqrt{\frac{Z_{ij} \cdot B_{ij}}{Z_{kj} \cdot B_{kj}}} \quad (2)$$

Dieser Quotient kann Werte zwischen Null und Eins annehmen, sofern nicht andere Faktoren zu einer Leistungssteigerung auf der immissionsbelasteten Fläche führen.

Anbaueignung für einen Versuchsstandort

Neben der Berechnung der relativen Immissionsresistenz, als Vergleich der Leistungen einer Herkunft an einem Immissionsstandort und einer Kontrollfläche, wird als zusätzliches Selektionskriterium die Leistung der Herkunft (L_{ij}) im Vergleich zum geometrischen Mittel der Gesamtpopulation aller angebauten Fichtenherkünfte (L_i) vorgeschlagen. Die Anbaueignung für einen Versuchsstandort mit Immissionsbelastung wird definiert als:

$$V_{ij} = \frac{L_{ij}}{L_i} = \sqrt{\frac{Z_{ij} \cdot B_{ij}}{Z_i \cdot B_i}} \quad (3)$$

Relative Anbaueignung für immissionsbelastete Gebiete

Die Selektion von Herkünften nach dem Kriterium der Anbaueignung (V_{ij}) ist streng genommen nur für den eigentlichen Versuchsort gültig. Um die Ergebnisse auf andere immissionsbelastete Standorte übertragen zu können, sollte die relative Immissionsresistenz mit herangezogen werden. Somit ergibt sich als relative Anbaueignung für immissionsbelastete Gebiete das Produkt aus (2) und (3):

$$A_{ij} = R_{ij} \cdot V_{ij} \quad (4)$$

Nach diesem Kriterium ausgewählte Herkünfte zeichnen sich also durch eine große relative Immissionsresistenz

Tabelle 1. — Ausfälle der Versuchspflanzen auf den 3 Teillächen (nach VENNE, 1985).

Number of plant losses at the 3 sites (according to VENNE, 1985).

Fl.	68	69	70	71-72	73	74-75	76-77	Summe	Anteil
1	257	44	50	67	30	15	11	474	23,7 %
2	106	15	73	41	39	31	20	325	16,3 %
3	106	14	49	52	19	26	18	284	14,3 %
Ges.	469	73	172	160	88	72	49	1083	18,1 %

Tabelle 2. — Herkünfte mit hohen Ausfallraten bis Herbst 1968.

Provenances with high proportions of dieback until autumn 1968.

Herkunfts- Nr. Bezeichnung	(Land)	Pflanzen im Frühj. 1968	Ausfälle bis Herbst 1968	Anteil in %
5 Buchberg	(A)	59	24	40.7
55 Xerorachi	(BG)	60	20	33.3
86 Villingen	(D)	60	20	33.3
14 Mpoukowaki	(BG)	60	19	31.7
72 Wöbring	(A)	60	17	28.3
82 Parsch	(A)	60	15	25.0
63 Altenhof	(A)	60	13	21.7
87 Trieben	(A)	60	13	21.7
64 Obernberg-Gries	(A)	60	12	20.0
95 Schönmünzach	(D)	60	12	20.0

Tabelle 3. — Herkünfte mit hohen Ausfallraten von 1969 bis 1977.

Provenances with high proportions of dieback from 1969 to 1977.

Herkunfts- Nr. Bezeichnung	(Land)	Pflanzen im Herbst 1968	Ausfälle bis Herbst 1977	Anteil in %
37 Sollefteaa	(S)	53	14	26.4
90 Biasca Qualdo Maggiore	(CH)	60	15	25.0
50 La Genoliere	(CH)	56	13	23.2
1 Biasca Qualdo Maggiore	(CH)	55	12	21.8
12 Altanca	(CH)	57	12	21.1
17 Zerenz	(CH)	56	11	19.6
33 Gidle	(PL)	52	10	19.2
27 Lieblau Revier	(SU)	53	10	18.9
15 Keski-Suomi	(SF)	54	10	18.5
10 Xerorachi	(BG)	50	9	18.0

aus und sind am Immissionsstandort leistungsfähiger als die Gesamtpopulation.

4. Ergebnisse

4.1. Pflanzenausfälle

Ausfälle auf den Flächen

Von den geplanten 6000 Anpflanzungen wurden 5979 realisiert. Infolge unvollständiger Sortimente fehlen jeweils 4 Bäume auf der Fläche 1 und 2 sowie 13 Bäume auf der Fläche 3.

Die Ausfälle in den Jahren 1968 bis 1977 auf den drei Versuchsflächen sind in *Tabelle 1* dargestellt. Eine Häufung der Ausfälle auf einzelnen Blocks konnte nicht festgestellt werden.

Die hohe Ausfallrate auf der Fläche 1 ist im wesentlichen auf Ausfälle im Anbaujahr zurückzuführen. Bei der weiteren Auswertung wurde deshalb unterschieden zwischen Ausfällen als vermutliche Folge des Pflanzenschocks und den späteren ab 1971, die z. T. auf Immissionswirkungen zurückzuführen sein dürften.

Ausfälle bei den Herkünften

Die Fichten verschiedener Herkünfte zeigen z. T. große Unterschiede bei den Überlebensraten. Das trifft sowohl für den Ausfall unmittelbar nach der Anpflanzung im Jahre 1968 als auch für spätere Ausfälle zu.

In *Tabelle 2* sind die Herkünfte mit einem Mindestanteil von 20% nicht angegangener oder im Jahre 1969 ausgefallener Pflanzen in absteigender Reihenfolge aufgeführt, in *Tabelle 3* Herkünfte mit hohen Ausfallraten im weiteren Versuchszeitraum.

Während sich die Erstausfälle auf Herkünfte aus den österreichischen Alpen, dem Schwarzwald und Südbulgarien konzentrieren, sind von den späteren Ausfällen die Schweizer Herkünfte stark betroffen. Fünf der sieben in den Versuch einbezogenen Schweizer Herkünfte haben Ausfallraten von annähernd 20% bis 25% zu verzeichnen.

Ausharrvermögen unter Immissionsbelastungen

Die Bewertung des Ausharrvermögens von Herkünften nach der Gesamtzahl der abgestorbenen Bäume kann zu Fehlinterpretationen führen, wenn keine Informationen über Ausfallursachen zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Versuch wurden jedoch in ein- bzw. zweijährigem Abstand Höhenzuwachs und Benadelungszustand an allen Bäumen erhoben. Solch kontinuierliche Beobachtungen ermöglichen eine Differenzierung der abgestorbenen Bäume nach möglichen Ausfallursachen.

Dabei wird davon ausgegangen, daß eine immissionsgeschädigte Fichte nicht sofort stirbt, sondern schon zu früheren Zeitpunkten, insbesondere im Jahr vor dem Absterben, Anzeichen für eine Vitalitätsbeeinträchtigung erkennbar sind. Diese können in Nadelverlusten, aber auch in einem verminderten Wachstum bestehen. Kriterien für

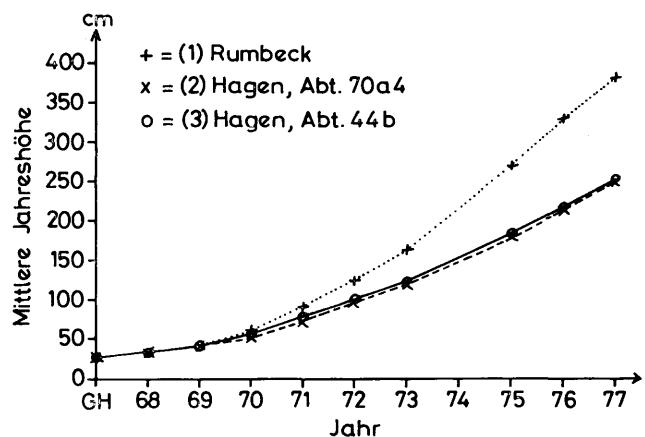


Abb. 2. — Entwicklung der Mittelhöhen auf den drei Versuchsflächen 1968 bis 1977.

Development of mean heights at three sites 1968 to 1977.

die hier vorgenommene Bewertung der Ausfälle waren:

1. die letzte Bonitierung der Benadelung und
2. der zuletzt gemessene Höhenzuwachs.

Um mögliche Anpflanzungsfehler und Auswirkungen des Verpflanzungsschocks auszuschließen, wurde die Bewertung des Ausharrvermögens der Herkünfte auf die 369 Ausfälle nach 1970 (siehe *Tabelle 1*) beschränkt. Von diesen zeigten bei der letzten Erhebung vor dem Ausfall 36 Bäume eine Beeinträchtigung der Benadelung, was sich im Fehlen von mindestens einem Nadeljahrgang zeigte.

Die restlichen 333 Ausfälle wurden hinsichtlich ihres Wachstumsverlaufs untersucht. Aus den Meßwerten wurde der erwartete Zuwachs des letzten Beobachtungszeitraumes errechnet und mit dem tatsächlich erhobenen Wert verglichen. Ein Baum wurde nach den gewählten Kriterien als vorgeschnitten bezeichnet, wenn der beobachtete Zuwachs kleiner war als der bedingte Erwartungswert minus der Standardabweichung.

Nach dem oben beschriebenen Verfahren wurden alle 369 Ausfälle nach 1970 bewertet. Die zusammengefaßten Ergebnisse für die einzelnen Flächen sind in *Tabelle 4* aufgeführt.

Während auf der weniger belasteten Fläche 1 etwa die Hälfte der Ausfälle auf unbekannte Ursachen zurückgeführt werden müssen, waren dies auf Fläche 3 nur 27%. Dort wurden 73% als vorgeschnitten bewertet. Damit haben sich die gewählten Kriterien als tauglich für die Feststellung möglicher Immissionsschädigungen erwiesen. Anders ausgedrückt: Die Zunahme der Zahl vorgeschnitten Pflanzen auf den stärker belasteten Flächen spricht für die Beteiligung der Immissionen am Absterben der Pflanzen.

Trotzdem wird keine Selektion einzelner Herkünfte allein aufgrund der Ausfälle des vorliegenden Versuchs empfohlen, da 369 Ausfälle, verteilt auf 100 Herkünfte,

Tabelle 4. — Bewertung aller Ausfälle nach 1970 (nach VENNE, 1985).

Valuation of plants died after 1970 (acc. to VENNE, 1985).

Fläche	Anpflan-zungen	Ausfälle vor 1970	Ausfälle nach 1970		
			Gesamt	m. Schäden	o. Schäden
1	1996	351	123	64 (52%)	59 (48%)
2	1996	194	131	86 (66%)	45 (34%)
3	1987	169	115	84 (73%)	31 (27%)
Gesamt	5979	714	369	234 (63%)	135 (37%)

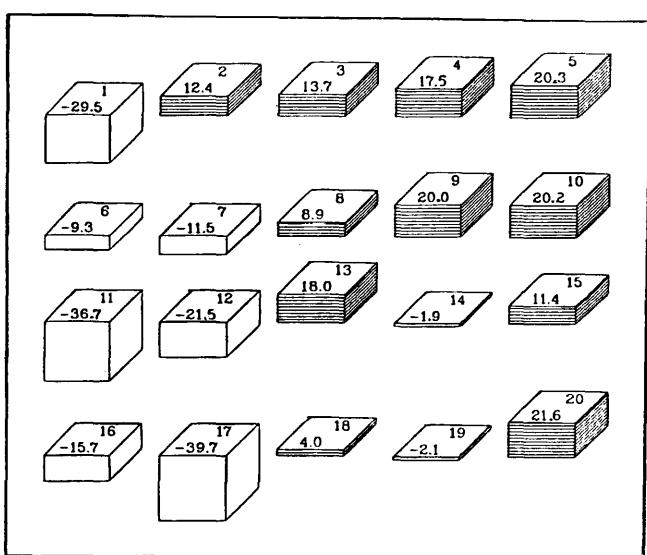


Abb. 3. — Geschätzte positive und negative Blockeffekte auf der Versuchsfläche 2 (Hagen, Abt. 70al) bzgl. der Höhe 1977 (in cm) (nach VENNE, 1985).

Estimated positive and negative block effects at site 2 (Hagen, Abt. 70al) of the height 1977 (in cm) (according to VENNE, 1985).

eine schlechtere Basis abgeben, als die Bewertung von 4896 überlebenden Pflanzen. Für weitere Versuche wird jedoch empfohlen, die auftretenden Ausfälle nicht nur zu registrieren, sondern ggf. bekannte Ursachen zusätzlich zu erheben. Damit könnte eine dem Untersuchungsziel angemessene Berücksichtigung der Ausfallursachen erleichtert werden.

4.2. Höhenwachstum

Zur Darstellung von Wuchsverläufen stehen sieben Höhen- und fünf Trieb längenmessungen zur Verfügung. Abbildung 2 zeigt die Wachstumskurven auf den drei Versuchsflächen.

Während der ersten zwei Jahre nach der Anpflanzung zeigen sich noch keine Unterschiede zwischen den Flächen. Beginnend mit dem Jahr 1970 erreichen die Fichten auf der Rumbecker Fläche jedoch deutlich größere Jahresendhöhen. Bemerkenswert ist das leicht geringere Wachstum auf der Fläche 2 gegenüber Fläche 3. Die höhere Schadstoffbelastung auf der Fläche 3 hätte das Gegenteil vermuten lassen. Daß hier noch andere Einflüsse zum Tragen kommen, zeigt Abbildung 3, in der die geschätzten Blockeffekte bezüglich des Endzuwachses 1977 in den Lageplan der Fläche 2 eingezeichnet wurden.

Die Inhomogenität der Versuchsfläche tritt deutlich hervor. Im nördlichen Teil der Versuchsanlage, also in den höhergelegenen Blöcken, sind fast ausschließlich negative Effekte feststellbar. Die scharfe Abgrenzung der negativen von den positiven Blockeffekten legt die Vermutung nahe, daß hier unterschiedliche Bodeneinflüsse zum Tragen kommen. Diese Vermutung sowie der Vergleich zur Fläche 3 kann aber erst durch differenzierte Bodenuntersuchungen verifiziert werden.

Die Verteilung der Endhöhen 1977 auf den drei Versuchsflächen sind bei KNABE und URFER (1985) dargestellt. Die Wuchsleistung der Gesamtpopulation auf der Rumbecker Fläche hebt sich deutlich von der Hagener Flächen ab. Zwischen den Hagener Flächen bestehen dagegen nur geringfügige Unterschiede. Die Variation ist in etwa gleich, was sich bei der Berechnung der Fehlervarianz eines Modells bestätigt, das auf den einzelnen Versuchsflächen Herkunfts- und Blockeffekte berücksichtigt. Sie betragen $s^2 = 3919$ für die Fläche 2 und $s^2 = 3920$ für die Fläche 3. Demgegenüber ist die Fehlervarianz auf der Rumbecker Fläche mit $s^2 = 6740$ deutlich erhöht. Dieser Unterschied ist möglicherweise dadurch bedingt, daß die genetisch möglichen Höchstleistungen auf den Hagener Flächen infolge der höheren Immissionseinwirkungen nicht erreicht werden konnten.

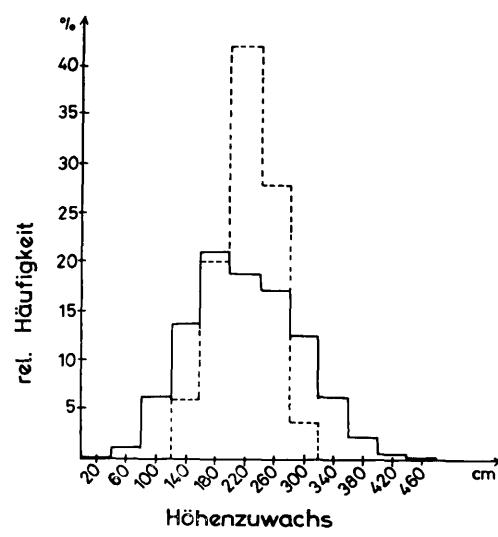


Abb. 4. — Verteilung des 10jährigen Höhenzuwachses in Hagen (Fläche 2 und 3).
Distribution of the 10-year-height growth at Hagen (sites 2 and 3).

Tabelle 5. — Verteilung der Benadelungsstufen (1972, 1975 und 1977) in Rumbeck und Hagen.

Distribution of needle sets (1972, 1975 and 1977) at Rumbeck and Hagen.

Ort	Jahr	Benadelungsstufen (= Anzahl vorhandener Nadeljahrgänge)						Summe
		1	2	3	4	5	6	
Rumbeck	1972	1	2	11	1563	—	—	1577
	1975	—	5	18	135	1372	3	1533
	1977	—	2	29	372	843	276	1522
Hagen	1972	69	166	247	3042	—	—	3524
	1975	—	277	1102	1749	283	—	3411
	1977	—	38	603	1518	1100	114	3373

Entscheidend für den Erfolg einer Selektion wuchsstar-ker Herkünfte ist der Anteil der Varianz zwischen den Herkünften an der Varianz der Gesamtpopulation. *Abbildung 4* zeigt die große individuelle Variation des Höhenzuwachses auf den belasteten Hagener Flächen, aber darüberhinaus auch, daß zwischen den Herkünften eine erhebliche Variation vorhanden ist. Bei einer Auswahl geeigneter Herkünfte ist eine höhere Wuchsleistung in immissionsbelasteten Gebieten zu erwarten.

4.3. Benadelung

Neben der regelmäßigen Aufnahme des Höhenwachstums der Pflanzen zeichnet sich der Versuch durch wiederholte Bonitierung der Benadelung aus. Besondere Bedeutung kommt dabei den drei Erhebungen von 1972, 1975 und 1977 zu. An allen Bäumen wurden in den angegebenen Jahren die Anzahl der weitgehend vollständigen Nadeljahrgänge gezählt. Allerdings waren die Erhebungskriterien nicht einheitlich. So wurden im Jahr 1972 nur die letzten vier Nadeljahrgänge (1969 bis 1972) berücksichtigt, wobei die Grenze für die Benadelung bei 75% festgelegt worden war. Das heißt, ein Nadeljahrgang wurde als vorhanden bewertet, wenn mindestens 75% der Nadelkissen mit grünen Nadeln besetzt waren. In den späteren Jahren (1975 bis 1977) wurden 85% grüne Nadeln als Grenze festgelegt. *Tabelle 5* erlaubt einen ersten Überblick über die Verteilung der Benadelungsstufen.

Die Entwicklung der vergleichbaren Erhebungen von 1975 und 1977 zeigt Unterschiede zwischen den Versuchsfächern. Auf der geringer belasteten Rumbecker Fläche lag das Maximum der Verteilung bei fünf Nadeljahrgängen. In den folgenden zwei Jahren änderte sich am Durchschnittswert der Nadeljahrgänge wenig ($NJ_{75} = 4,88$, $NJ_{77} = 4,89$). Indes ist eine stärkere Ausdifferenzierung in verschiedene Benadelungsstufen zu beobachten.

Demgegenüber liegt das Maximum der Verteilung in Hagen bei 4 Nadeljahrgängen. Zwischen 1975 und 1977 hat sich die Benadelung dort durchschnittlich eine halbe Stufe verbessert ($NJ_{75} = 3,60$, $NJ_{77} = 4,19$), ohne daß eine stärkere Ausdifferenzierung in bessere bzw. schlechtere Benadelungsstufen beobachtet wurde. Aus den unterschiedlichen Benadelungsentwicklungen auf den Versuchsfächern ist zu folgern, daß eine einmalige Erhebung der Benadelung für eine Zustandsbeschreibung i. a. nicht ausreicht, sondern der Schadentwicklung durch mehrmalige Bonitierung Rechnung getragen werden muß.

In *Tabelle 6* sind die Entwicklungslinien der Benadelung von 1972 bis 1977 auf den Hagener Flächen dargestellt. Für die Rumbecker Fläche wurde auf eine entsprechende Übersicht verzichtet, da im Jahr 1972 noch fast alle Bäume voll benadelt waren. Auf den ballungsraumnahen Hagener Flächen wiesen dagegen bereits 482 Fichten mindestens einen geschädigten Nadeljahrgang auf.

Bis zur folgenden Bonitierung im Jahr 1975 hatte sich die Anzahl der offensichtlich geschädigten Fichten ($< 4 NJ$) fast verdreifacht. Betroffen davon waren viele der drei Jahre zuvor noch ungeschädigten Fichten. Umgekehrt ist aber auch eine Erholung einiger 1972 vorgeschnädigter Bäume mit 1 bis 3 Nadeljahrgängen zu verzeichnen.

Im letzten Versuchszeitraum, von 1975 bis 1977, hat sich die Benadelung wieder verbessert. Dabei hängt die Zahl der Nadeljahrgänge noch deutlich von den Werten im Jahr 1975 ab, dagegen nur noch wenig vom Zustand bei der 1972 erfolgten Erhebung.

4.4. Zusammenhänge zwischen Benadelung und Zuwachs

Die in diesem Versuch zusätzlich zu den Höhenmessungen gleichzeitig erfolgten Bonitierungen der Benadelung legen einen Vergleich beider Erhebungskriterien nahe, um wechselseitige Zusammenhänge zu erkennen. Von beson-

Tabelle 6. — Entwicklung der Benadelung von 1972 bis 1977 auf den Hagener Flächen (* = Median).

Development of needle sets from 1972 to 1977 at the sites at Hagen (* = median).

Bonitur 1972	Nadel-jahrg. Anz.	Bonitur 1975		Bonitur 1977					
		Nadel-jahrg. Anz.		0	2	3	4	5	6
1	69	0	7	7*					
		2*	31*	1	7	20*	3		
		3	20			10*	10*		
		4	10			1	8*	1	
		5	1					1*	
2	166	0	10	10*					
		2	45	3	5	32*	5		
		3*	66*	3	2	25	32*	4	
		4	44			14	23*	6	1
		5	1					1*	
3	247	0	12	12*					
		2	38	3	3	21*	10	1	
		3*	100*	1		26	64*	9	
		4	89			5	53*	30	1
		5	8				3	4*	1
4*	3042*	0	84	84*					
		2	169	7	12	103*	40	1	
		3	916	13	7	219	493*	181	3
		4*	1606*	7	2	123	726	683*	65
		5	273			4	48	178*	43

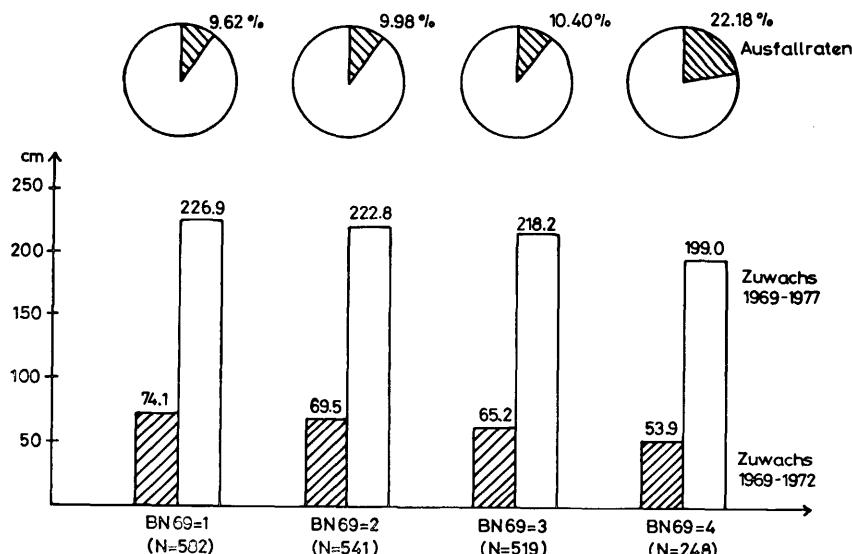


Abb. 5. — Ausfallraten (oben), Höhenzuwachs bis 1972 (unten, schraffiert) und Höhenzuwachs bis 1977 (unten, offen) in Abhängigkeit von den Boniturstufen der Nadelsschädigung im Jahre 1969 (BN69).

Rates of dieback (above), height growth until 1972 (below, hatched), and height growth until 1977 (below, blank) in dependence on the number of needle sets in 1969 (BN69).

derem Interesse ist, ob aufgrund der Bonitierungen in einem frühen Versuchsstadium Voraussagen über das weitere Verhalten der Bäume gemacht werden können.

Im vorliegenden Versuch wurde z. B. im Sommer 1969, also ein Jahr nach der Anpflanzung der Sämlinge, eine Bonitierung der Gesamtbenadelung vorgenommen (BN 69), deren Stufen wie folgt festgelegt worden sind:

- 0 = Pflanze abgestorben,
- 1 = < 10% abgestorbene Nadeln, dunkelgrüne Farbe,
- 2 = < 10% abgestorbene Nadeln, hellgrüne Farbe,
- 3 = < 50% abgestorbene Nadeln,
- 4 = > 50% abgestorbene Nadeln.

Beispielhaft für die Fläche 2 sind Höhenwachstum und Ausfallraten in Abhängigkeit von dieser Bonitierung in Abbildung 5 dargestellt.

Die im Jahr nach der Pflanzung erfolgten Nadelbonitierungen erwiesen sich als wenig geeignet für die Beurteilung des weiteren Gedeihens der Pflanzen. Sowohl das weitere Wachstum als auch die Ausfallraten sind wenig mit den ersten drei Boniturstufen korreliert. Erst eine erhebliche Beeinträchtigung der Benadelung im Jahr 1969 ($> = 50\%$ Nadelverluste) ist mit nachfolgend größeren Ausfällen und geringerem Wachstum der Pflanzen verbunden.

Weitere Untersuchungen (VENNE, 1985) haben gezeigt, daß die Erhebungen in späteren Jahren aussagekräftiger sind. So wurden signifikante Unterschiede im Zuwachs von 1972 bis 1977 in Abhängigkeit von der Benadelung 1972 festgestellt. Im weiteren wurde nachgewiesen, daß die Anzahl der Nadeljahrgänge 1977 sowohl von der Benadelung 1972, als auch von dem Höhenwachstum bis 1972 abhängig ist. Schwachwüchsige Bäume haben trotz vollständiger Benadelung im Jahre 1972 später eine schlechtere Benadelung.

5. Diskussion und züchterische Beurteilung

5.1. Variation der abgeleiteten Selektionskriterien

Für die züchterische Beurteilung interessiert nicht nur die Variation der ursprünglichen Parameter Höhenzu-

wachs und Anzahl vollständiger Nadeljahrgänge, sondern auch die Variation der abgeleiteten Kriterien R_{ij} , V_{ij} und A_{ij} .

Die relative Immissionsresistenz vergleicht die Leistung von Herkünften in Hagen mit der auf der weniger belasteten Fläche in Rumbeck. Infolgedessen sind alle Werte in Abbildung 6 kleiner Eins. Das Maximum der Verteilung liegt bei 0,75, d. h. bei 75% der Leistung in Rumbeck. 8 Herkünfte erreichen weniger als 66,25% und 14 Herkünfte liegen zwischen 78,75% und 88,75% der Leistungen von Rumbeck.

Die Anbaeignung für den Versuchsort (V_{ij}), streut um ca. 20% um das Leistungsmittel der Gesamtpopulation. 5 der 100 Herkünfte liegen unter 82,5%, 10 Herkünfte oberhalb von 112,5% des Versuchsmittels. Die Beziehung

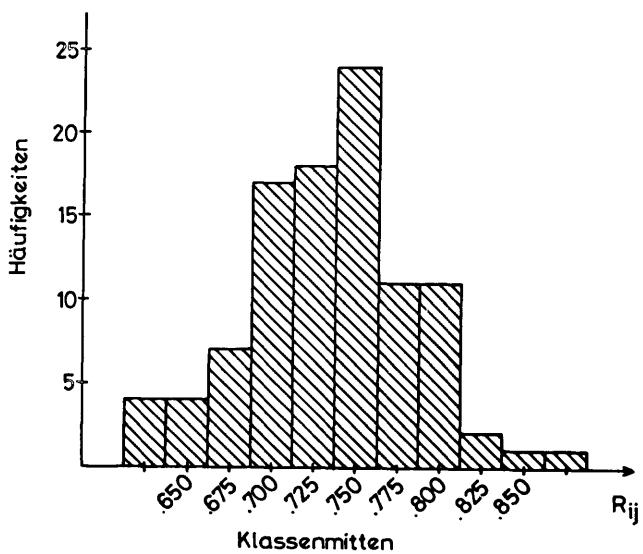


Abb. 6. — Häufigkeitsverteilung der relativen Immissionsresistenz (R_{ij}) von 100 Fichtenherkünften.

Distribution of the relative resistance to air pollution of 100 provenances of Norway spruce.

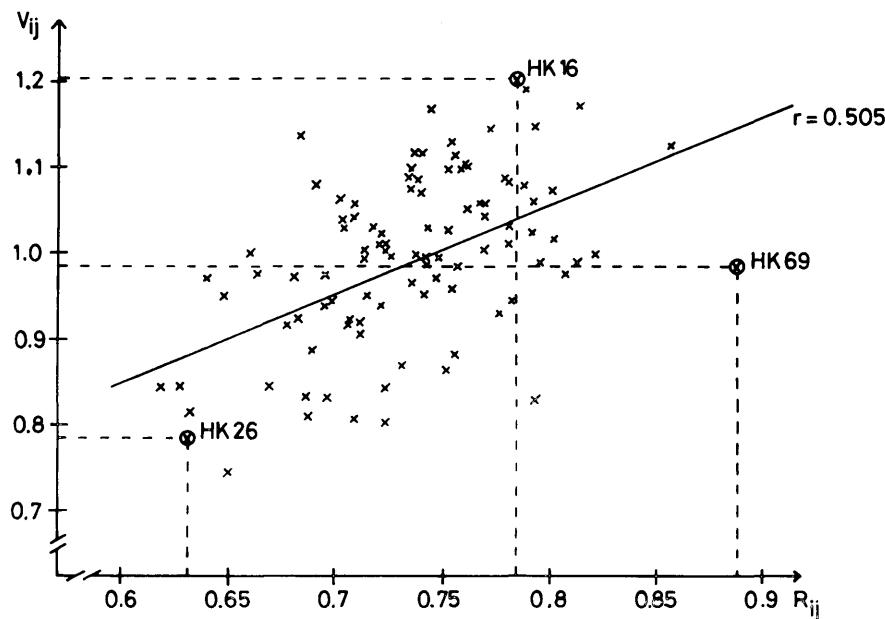


Abb. 7. — Zusammenhang zwischen relativer Immissionsresistenz (R_{ij}) und Anbaeignung (V_{ij}) in Hagen.

Correlation between relative resistance to air pollution (R_{ij}) and suitability (V_{ij}) at Hagen.

zwischen den beiden Kriterien R_{ij} und V_{ij} ist in Abbildung 7 dargestellt.

Der Korrelationskoeffizient von $r = 0,505$ deutet auf eine nur lockere Beziehung zwischen beiden Kriterien hin. In allen Bereichen von R_{ij} ist die Variation der Anbaeignung V_{ij} relativ groß. Oberhalb von $R_{ij} = 0,7$ gibt es V_{ij} -Werte zwischen 0,9 und 1,2.

Die relative Anbaeignung für immissionsbelastete Gebiete (A_{ij}) ist aus den beiden o. g. Kriterien abgeleitet (s. Formel 4). Man kann das Produkt der beiden als Flächeninhalt zwischen Abszisse und Ordinate bei Verlängerung bis zum Nullpunkt darstellen, was in Abbildung 7 für die Herkünfte 16, 69 und 26 angedeutet wird.

Bei der Herkunft 16 (Ortilos, SW-Ungarn) führt das gute Gedeihen in Hagen auch zur Spitzensklasse nach der relativen Anbaeignung A_{ij} , bei der Herkunft 60 (Tjumen, Transural, UdSSR) überwiegt die gute relative Immissionsresistenz bei nur durchschnittlichem Gedeihen in Hagen. Dagegen hat die Herkunft 26 (Sucha, Hohe Tatra, CSSR) sowohl eine geringe relative Immissionsresistenz als auch ein unterdurchschnittliches Gedeihen in Hagen aufzuweisen. Sie ist bei sehr niedrigem A_{ij} somit für den Anbau in Immissionsgebieten ungeeignet.

5.2. Analyse geordneter kategorialer Daten

Die in diesem Bericht vorgestellte biologische Variation der Baumart Fichte unter unterschiedlichen Immissionsbelastungen soll in weiteren Untersuchungen näher quantifiziert werden. Bei der Analyse quantitativer Merkmale, wie z. B. Zuwachsmessungen, ist dies mit Hilfe der klassischen Varianzkomponentenmodelle möglich. Solche Modelle umfassen sowohl feste als auch zufällige Effekte. Mit Hilfe von Schätzungen der Varianzen der zufälligen Effekte lässt sich die Gesamtvarianz des zu untersuchenden Merkmals in sogenannte Varianzkomponenten zerlegen.

Zur Untersuchung der Variabilität eines quantitativen Merkmals y wäre im vorliegenden Herkunftsversuch folgendes Modell zu verwenden:

$$y_{jkl} = \mu + \tau_j + \lambda_k + \gamma_{jk} + g_{kl} + e_{jkl}$$

für $j = 1, 2, \dots, 100$, $k = 1, 2, 3$ und $l = 1, 2, \dots, 20$

Dabei steht y_{jkl} für den Merkmalswert des Baumes im l -ten Block des k -ten Ortes der j -ten Herkunft. g_{kl} ist der zufällige Effekt des l -ten Blockes des k -ten Ortes. τ_j , λ_k , und γ_{jk} sind die festen Effekte der Herkünfte, Orte und Wechselwirkungen. μ bezeichnet das allgemeine Mittel und e_{jkl} die Restabweichung.

Man spricht in diesem Fall von einem gemischten Modell, da außer der Restabweichung mindestens ein weiterer zufälliger Effekt im Modell vorkommt.

Bei vielen Anwendungen in der Land- und Forstwirtschaft sind die Zielvariablen jedoch kategorial und geordnet, wie die hier vorliegenden Nadelbonituren. KNABE und URFER (1985) beschreiben ein Modell zur Auswertung von Boniturdaten für den Fall fester Effekte. Es werden Maximum-Likelihood-Schätzer für die Flächeneffekte Herkunftsversuches angegeben.

HARVILLE und MEE (1984) behandeln die Schätzungen von Parametern in einem gemischten Modell mit kategorialen und geordneten Zielvariablen. Bei diesem Modell ordnet man dem Individuum mit den Indizes j , k und l eine nicht beobachtbare Variable Y_{jkl} zu, die auf der reellen Achse stetig verteilt ist. Da die Variable Y_{jkl} nicht beobachtbar ist, sondern nur die Kategoriennummer Z_{jkl} des Individuums jkl , besteht zwischen Y_{jkl} und Z_{jkl} die folgende Beziehung: $\zeta_{m-1} < Y_{jkl} < \zeta_m$ genau dann, wenn $Z_{jkl} = m$ gilt. Dabei sind $-\infty = \zeta_0 < \zeta_1 < \dots < \zeta_M = \infty$ unbekannte Schwellenwerte.

Für die Variable Y_{jkl} gilt dieselbe Modellgleichung wie für den beobachtbaren quantitativen Merkmalswert des obigen, gemischten Modells. Man nennt das Modell für den Vektor der beobachteten, kategorial geordneten Wirkungen das Schwellenwertmodell.

Dieses Modell stellt eine wichtige Erweiterung der klassischen Varianzkomponentenmodelle dar, welche die Analyse von kategorial geordneten Zielvariablen erlaubt. Die Auswertung der vielfältigen und wiederholten Boniturda-

ten dieses Herkunftsversuches wird eine weitere Quantifizierung der Variabilität der Immissionsresistenz von Fichtenherkünften erlauben. Die dazu erforderlichen Auswertungsprogramme befinden sich in der Entwicklung.

5.3. Folgerungen für das weitere Vorgehen

Für eine züchterische Bearbeitung ist wichtig, daß die 100 Herkünfte sich in der relativen Anbaueignung A_{ij} stark unterscheiden, so daß eine Selektion der besten Herkünfte anhand der gewählten Kriterien möglich ist.

Zu den 10 besten Herkünften zählen die Nummern 86 (Villingen), 39 (Zalecze, Polen), 72 (Wöbring), 69 (Tjumen, UdSSR) und 20 (Skaereborg, Schweden), die auch zu den 10 besten der relativen Immissionsresistenz gehören. Hinzugekommen sind die Nummern 84 (Kłodzko), 49 (Bolesławiec), 99 (Kup) und 93 (Koszalin); das sind wuchsstarke Herkünfte aus Polen, sowie die Herkunft 16 (Ortilos) aus SW-Ungarn (KNABE, 1985).

Für ähnliche Immissionstypen wie sie im industriell geprägten und verkehrsbelasteten Raum Hagen auftreten, bieten sich zwei Vorgehensweisen an. Theoretisch kämen der Anbau von neuem Pflanzenmaterial aus Samenlieferungen der betreffenden überlegenen Herkünfte in Betracht. Diese Lösung scheitert jedoch daran, daß beim Einsammeln des Saatgutes für den IUFRO-Versuch 1964/1968 nicht der Ursprungsbestand festgehalten und dieser unter Umständen längst abgetrieben wurde. Im Beispiel Ortilos/Ungarn war es z. B. nicht möglich, ihn noch ausfindig zu machen. Auch Tjumen, Transural, scheidet für eine Beschaffung aus. Dagegen scheint es sinnvoll, die generelle Überlegenheit der Herkünfte aus SW-Polen, die wahrscheinlich schon seit Jahrzehnten den Fernwirkungen von Immissionen aus Oberschlesien ausgesetzt sind, auszunutzen und Samen aus noch intakten Beständen dieser Region zu beschaffen. Das wird hiermit empfohlen.

Der zweite Weg führt über die vegetative Vermehrung. Er wurde inzwischen beschritten. Zu diesem Zweck wurden einmal wüchsige und gut benadelte Einzelpflanzen anhand der individuellen Anbaueignung (V_{ijk}) selektiert und vegetativ vermehrt. Zur Auswahl kamen die 3% besten Pflanzen je Block und die 3% besten je Fläche, die verständlicherweise häufig identisch waren. In Rumbbeck wurden nur die allerbesten Pflanzen genommen, nämlich 1% je Block und Fläche. Zum anderen wurden die 25% besten Pflanzen der nach der relativen Anbaueignung (A_{ij}) ausgewählten Sorten vermehrt. Diese Herkünfte sind bei Auswahl auf nur einer Fläche mit mindestens 5 Klonen, bei Auswahl auf mehreren Flächen mit mindestens 10 Klonen vertreten. Über dieses Projekt soll an anderer Stelle berichtet werden.

Diese Pflanzen wurden in mehreren Versuchsflächen sowohl am Rande des Ruhrgebietes in Dinslaken, Kirchhellen, Hagen und Wuppertal als auch im Eggegebirge als einem Zentrum der „neuartigen Waldschäden“ im Vergleich mit Fichtenstandardherkünften angebaut. Das Projekt wird von der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstpflanzung weiter betreut.

Die Versuche können kein Wundermittel gegen die großflächigen Waldschäden liefern, aber das so getestete Material könnte in den Zentren der Belastung das Ausmaß der Schäden begrenzen.

Danksagung

Frau SOLVEIG ZACKER und Herrn Forstamtmann BRUNS, LÖLF, wird für die jahrelange Betreuung der Versuche herzlich gedankt.

Literatur

- GÜNTHER, K. H. und KNABE, W.: Messung der Schwefel- und Säureniederschläge im Ruhrgebiet in der Zeit vom Juli 1973 bis März 1975. Schriftenreihe der LIB, Essen 39, 36–44 (1976). — HARVILLE, D. A. and MEE, R. W.: A mixed-model procedure for analysing ordered categorical data. Biometrics 40, 393–408 (1984). — HASEL, K.: Waldwirtschaft und Umwelt. Paul Parey, Hamburg und Berlin (1971). — KNABE, W.: Methoden der Auslese und Züchtung immissionsresistenter Gehölze. XIV. IUFRO-Kongreß, München (1967). — KNABE, W.: Kiefernwaldverbreitung und Schwefeldioxid-Immissionen im Ruhrgebiet. Staub-Reinhaltung Luft 30, 32–35 (1970). — KNABE, W.: Immissionsbelastung und Immissionsgefährdung der Wälder im Ruhrgebiet. Mitteilungen der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Österr. Agrarverlag, Wien 97, 53–87 (1977). — KNABE, W.: The role of tree stands for reducing air pollution. Proceedings IV International Clean Air Congress, Tokyo, JUAPPA, 952–957 (1977). — KNABE, W.: Resistenzversuche — ein wichtiges Projekt, aber kein Wundermittel gegen Waldschäden. Der Forst- und Holzwirt 40 (9), 249–254 (1985). — KNABE, W.: Methoden der Auslese und Züchtung immissionsresistenter Gehölze. Holz-Zentralblatt, 73/74, 1093–1096 (1986). — KNABE, W. und URFER, W.: Die Prüfung der Immissionsresistenz von Fichten im Freilandversuch mit Kontrolle — Beitrag zum IUFRO-Herkunftsversuch 1964/1968. In: Forstgenetik, Forstpflanzenzüchtung und Waldschäden. Verhandlungen der Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung Göttingen. 111–147 (1985). — KRUTZSCH, P.: The IUFRO 1964/1968 Provenance Test with Norway Spruce (*Picea abies* (L.) KARST.). Silvae Genetica 23, 1–3 (1974). — MAYER, R.: Ausfilterung von SO_2 aus der Atmosphäre durch Wälder. IX. Internationale Tagung über die Luftverunreinigung und Forstwirtschaft, Tagungsbericht, Forschungsanstalt für Forstwirtschaft und Jagdwesen, Zbraslav-Strnady, 241–253 (1974). — MELF NRW Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes NW: Runderlaß vom 26. 4. 1966, Minbl. NW, A Nr. 78, 893–895; Runderlaß vom 1. 8. 1967, Minbl. NW, A Nr. 132, 1625–1627; Runderlaß vom 21. 11. 1969, Minbl. NW, A Nr. 24, 271–272 (1966, 1967, 1969). — PEARCE, S. C. and JEFFERS, J. N. R.: Block designs and missing data. J. R. Statist. Soc., B, 33, 131–136 (1971). — ROST, F.: Maßnahmen des Landes Nordrhein-Westfalen zur Walderhaltung in immissionsbelasteten Gebieten. Mitteilungen der Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Österr. Agrarverlag, Wien 97, 99–106 (1972). — SCHULTE, H.: Über die Selektionswirkungen lokalklimatischer Einflüsse auf die Ausbildung von Ökotypen am Beispiel der Fichte. Schriftenreihe des BML. Fremdländeranbau im Lichte der gegenwärtigen Waldschäden. Verhandlungen einer forstlichen Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Forstpflanzenzüchtung und Forstgenetik, 1986, Recklinghausen. (Im Druck). — ULRICH, B., MAYER, R. und KHANNA, P. K.: Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Walökosystemen im Solling. Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 58. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt (1979). — VENNE, H.: Statistische Auswertung von Fichten-Freilandversuchen. Diplomarbeit, Universität Dortmund (1985). — WENTZEL, K. F.: Konkrete Schadwirkungen der Luftverunreinigung in der Ruhrgebietlandschaft. Natur und Landschaft 37, 118–124 (1962). — YATES, F.: The analysis of replicated experiments when the field results are incomplete. Emp. J. exp. Agric. 1, 129–142 (1933).