

empfindlich erwiesen haben. Vielmehr muß wahrscheinlich auf die topographischen Verhältnisse des Herkunftsortes geachtet werden.

Literatur

CALLAHAN, R. Z., and LIDDICOET, A. E.: **Altitudinal** variation at 20 years in Ponderosa and Jeffrey pines. *J. Forest.* 59, 814–820 (1961). — CHING, K. K., and BEVER, D.: **Provenance** study of Douglas-fir in the Pacific Northwest region. 1. Nursery performance. *Silvae Genetica* 9 (1), 11–17 (1960). — HATTEMER, H. H., and KÖNIG, A.: **Geographic** variation of early growth and frost resistance in Douglas-fir. *Silvae Genetica* 24 (4), 97–106 (1975). — HERMANN, R. K., and LAVENDER, D. P.: Early growth of Douglas-fir from various altitudes and aspects in southern Oregon. *Silvae Genetica* 17 (4), 143–151 (1968). — KAPPEN, L.: Jahreszeitliche Schwankungen der Kälte- und Dürresistenz und des Zuckergehaltes bei Douglasien verschiedener Herkünfte. Klimaresistenz, Photosynthese und Stoffproduk-

tion. **Tagungsbericht** Nr. 100, Eberswalde, 95–102 (1968). — KLEINSCHMIT, J.: Zur **Herkunftsfrage** bei der Douglasie. *Der Forst- und Holzwirt* 11, 209–213 (1973). — KLEINSCHMIT, J., RACZ, J., WEISGERBER, H., DIETZE, W., DIETERICH, H., und DIMPFLMEIER, R.: Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. *Silvae Genetica* 23, 167–176 (1974). — LARSEN, J. Bo.: Die Frostresistenz von 60 verschiedenen Douglasienherkünften sowie über den Einfluß der Nährstoffversorgung auf die Frostresistenz der Douglasie. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen 52, 1–126 (1978). — SAKAI, A., and WEISER, C. J.: Freezing resistance of trees in North America with reference to tree regions. *Ecology* 54, 118–126 (1973). — STERN, K., KÖNIG, A., and HATTEMER, H. H.: Beiträge zum geographischen Variationsmuster der Douglasie. *Silvae Genetica* 23, 53–58 (1974). — WAERDEN, V. d.: Wirksamkeits- und Konzentrationsbestimmung durch Tierversuche. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Exp. Path. Pharmak., 195, 389–412 (1940). — WRIGHT, J. W., KUNG, F. H., READ, R. A., LEMMIEN, W. A., and BRIGHT, J. N.: Genetic variation in **Rocky Mountain** Douglas-fir. *Silvae Genetica* 20 (3), 54–60 (1971).

Die Klimaresistenz der *Abies grandis* (Dougl.) Lindl.

1. Die Frostresistenz von 23 Herkünften aus dem IUFRO-Provenienzversuch von 1974

Von J. BO LARSEN

Institut für Waldbau der Universität Göttingen

(Eingegangen Januar / Mai 1978)

Zusammenfassung

1. Einjährige Sämlinge von 23 verschiedenen Herkünften der *Abies grandis* wurden auf ihre Früh- und Spätfrostresistenz hin geprüft. Die Prüfung der Resistenz wurde bei kontrollierten Ab- und Enthärtungsbedingungen durchgeführt und erfolgte insgesamt 7mal (3mal während der Abhärtung und 4mal während der Enthärtung). Bei jeder Resistenzprüfung wurden die Herkünfte gleichzeitig bei 5 verschiedenen Temperaturstufen unter Standardbedingungen getestet. Nach einer Bewertung der Frostschäden und einer Berechnung der LT 50 (Temperatur bei der 50% der Pflanzen getötet werden) konnte die Abhärtungs- und Enthärtungsentwicklung jeder Herkunft festgelegt werden.
2. Die Küstenherkünfte aus den Tieflagen Washingtons erwiesen sich als relativ sehr frühfrostempfindlich, die Herkünfte aus den Kammlagen der Cascaden waren dagegen frühfrostresistent. Zwei Herkünfte vom Westabfall der Cascaden lagen in ihrer Frühfrostresistenz intermediär. Ein deutlicher Nord-Süd-Gradient im Ausmaß der Frühfrostempfindlichkeit wurde bei den Cascadenherkünften nachgewiesen (die nördlichen waren resistenter als die südlichen Herkünfte). Eine Herkunft aus Idaho war sehr frühfrostresistent.
3. Die Spätfrostresistenz der getesteten Herkünfte zeigten eine hohe Parallelität zu der Frühfrostresistenz. Die frühfrostempfindlichen Küstenherkünfte waren auch sehr spätfrostempfindlich. Die Cascadenherkünfte erwiesen sich im Durchschnitt als gut resistent. Auch bei der Spätfrostresistenz wurde ein Nord-Süd-Gradient beobachtet. Im Gegensatz zu der Frühfrostresistenz konnte eine Zunahme der Spätfrostresistenz nach Süden festgestellt werden. Die Hochlagenherkünfte der Cascaden (oberhalb 1300 m) sowie eine Herkunft aus Idaho waren besonders spätfrostresistent.

Schlagworte: *Abies grandis*, Frostresistenz, Herkünfte, genetische Variation.

Summary

One year old seedlings of 23 different provenances were tested for early and late frost resistance. The hardening and the dehardening was induced under controlled conditions in a greenhouse, and the provenances were tested three times during the hardening stage and four times during the dehardening stage. The standard test method allowed the testing under 5 different temperature levels simultaneously and it was then possible to determine the rate of hardening and the rate of dehardening for every provenance.

Early frost hardiness:

Low elevation provenances from the coastal region of Washington were very susceptible to early frosts. Provenances from the ridge of the Cascade Ranges were on a whole very resistant. Two provenances from the west slopes of the Cascades showed an intermediate resistance to early frosts. In the Cascades a north-south trend was found: the provenances from the north were more resistant compared with the southern ones. A seed source from Idaho showed a high resistance too.

Late frost hardiness:

The coastal provenances from Washington showed a very low resistance to late frosts. The provenances from the Cascades were fairly resistant. In this region the late frost resistance increased by moving south. High elevation seed sources from the Cascades (above 1300 m) and one provenance from Idaho were highly resistant to late frosts.

Key words: *Abies grandis*, frost hardiness, provenances, genetic variation.

Einleitung

Die Große Küstentanne (*Abies grandis*) hat wegen ihres hohen Wuchspotentials in den letzten Jahrzehnten für die Forstwirtschaft Nordwesteuropas ein stark wachsendes Interesse gewonnen. Besonders in Frankreich und Großbritannien, aber auch in Dänemark und der Bundesrepublik nimmt diese Baumart allmählich einen relativ großen Teil der Aufforstungsflächen ein. Trotz einiger Untersuchungen

Tabelle 1. — Liste der getesteten Herkünfte
List of provenances tested

Nr. No.	Staat State	Herkunftsbezeichnung Name	Br. Grad Latitude	Lg. Grad Longitude	Höhe Elevation (m)
12001	Washington	Buck Creek	48,27	121,35	400
12002	"	Tulalip Ind. Res.	48,08	122,27	30
12003	"	Indian Creek	48,07	123,63	140
12004	"	Gardiner	48,07	122,90	30
12005	"	Bear Mountain	47,98	123,03	825
12006	"	Eagle Creek	47,68	120,57	760
12007	"	Eagle Creek	47,65	120,50	1200
12008	"	Jack Creek	47,33	120,83	825
12010	"	Rattlesnake Creek	46,75	121,10	1300
12011	"	Clear Lake	46,62	121,33	945
12012	"	Cascade Creek	46,12	121,65	945
12013	Oregon	Cooper Spur	45,45	121,65	1040
12014	"	Beaver Creek	45,12	121,67	1040
12015	"	Sisi Butte	44,87	121,80	975
12016	"	Santiam Summit	44,43	121,87	1400
12017	"	Tompson Prairie	44,40	122,17	1340
12018	"	Big Spring	43,98	121,52	1500
12019	"	Roaring River Ridge	43,88	122,02	1310
12020	"	Crescent Creek	43,47	121,95	1375
12021	"	Whisky Creek	42,93	122,38	1160
51	Washington	Trout Lake	46,0	121,6	1000
52	"	Darrington	48,3	121,6	760
53	Idaho	Clearwater Drainage	46,7	115,8	1000



Abbildung 1. — Die geographische Lage der getesteten Herkünfte (Die nord-süd-gehende Linie stellt die Kammlinie der Cascaden dar).

The locations of the provenances tested (the line from north to south indicates the ridge of the Cascade Ranges).

über Wachstum und phänologisches Verhalten von verschiedenen Herkünften (LACAZE und TOMASSONE 1967, LINES 1974, KRAMER 1976) ist die genetische Variabilität der *Abies grandis* nahezu unbekannt.

Die bisherigen Erfahrungen in Europa haben gezeigt, daß *Abies grandis* von biotischen Schäden nur in geringem Umfange beeinflußt wird. In vielen Gebieten Westeuropas scheinen Frostschäden der wichtigste Faktor zu sein, die den Anbau dieser Baumart gefährden. Deshalb ist es

von großer Wichtigkeit ihre geographische Variation in den verschiedenen Frostresistenzeigenschaften (Früh-, Winter- und Spätfrostresistenz) zu erforschen, damit geeignete Herkünfte hinsichtlich dieser Eigenschaften ausgewählt werden können.

1. Material und Methoden

1.1 Das Herkunftsmaterial

Für die Versuche stand Saatgut von 20 Herkünften aus der IUFRO-Ernte 1974 sowie von 3 anderen Herkünften aus einem Import (Nr. 51, 52 und 53 der Bayer. Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Teisendorf) zur Verfügung. Die Samen wurden Ende April 1976 in Koppars-Multicontainer ausgesät, als Anzuchtsubstrat diente eine gedüngte Einheitserde. Einige Wochen nach dem Aufgehen wurden die Sämlinge umgesetzt, so daß für die späteren Versuche von jeder Herkunft etwa 500 Töpfe mit je einem Sämling bereit standen. Die Herkunftsbezeichnungen und die geographischen Daten der insgesamt 23 Herkünfte zeigt Tabelle 1, aus Abbildung 1 geht die geographische Lage der Provenienzen hervor.

Die weitere Anzucht der Sämlinge, sowie die Methodik der Frostresistenzprüfung entspricht derjenigen einer früheren Arbeit (LARSEN 1978).

Nach fünfmonatiger Anzucht in einem Glasgewächshaus bei +20° C und 16 Std. Tageslänge wurde die Abhärtung durch eine Senkung der Temperatur auf +5° C und eine Verkürzung der Photoperiode auf 8–10 Std. induziert. Nach etwa 4 Monaten Abhärtung und Winterruhe bei diesen Bedingungen wurde die Enthärtung durch eine Temperaturerhöhung auf +15° C und eine Verlängerung der Photoperiode auf 15 Std. eingeleitet.

Die Entwicklung der Abhärtung wurde verfolgt durch Tests der Situation der Frostresistenz bei jeder Herkunft zu drei Zeitpunkten: 21, 43 und 63 Tage nach der Induzierung der Abhärtung. In gleicher Weise wurde die Entwicklung der Enthärtung durch Frostresistenztests insgesamt viermal festgestellt (10, 25, 30 und 41 Tage nach der Induzierung der Enthärtung).

1.2 Die Frostresistenzprüfung

Als Einrichtung für die Resistenzprüfung dienten Pflanzwuchskammern des Instituts, die mit einer automati-

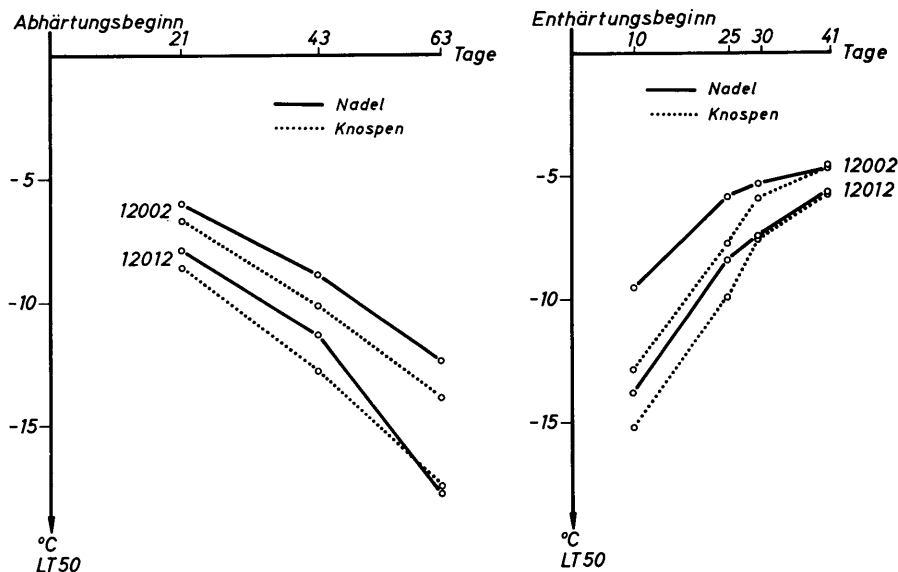


Abbildung 2. — Die Entwicklung der Abhärtung und der Enthärtung (in °C) bei einer Küstenherkunft (Nr. 12002) und bei einer Cascadenherkunft (Nr. 12012)

The rate of hardening and of dehardening (in °C) by a coastal seed source (no. 12002) and by a seed source from the Cascade Ranges (no. 12012).

schen kontinuierlichen Regelung der Prüfraumtemperatur (Temperaturkonstanz $\pm 0.5^\circ\text{C}$) ausgestattet sind.

Zu jedem der 7 Testtermine wurden 35 Pflanzen je Herkunft ausgewählt. Um Frostschäden im Wurzelbereich der Pflanze zu vermeiden, wurden diese mit Styropor isoliert. Die Resistenzprüfung erfolgte gleichzeitig bei 5 verschiedenen Testtemperaturen, die aus der für jeden Termin geschätzten Lage der Frostresistenz gewählt wurden (bei jeder Stufe waren die Herkünfte mit je 7 Pflanzen repräsentiert). Der Temperaturverlauf wurde wie folgt standardisiert.

1. Vorbehandlung 3 Std. bei $+2^\circ\text{C}$
2. Abkühlung mit einer Geschwindigkeit von -6°C/Std.
3. Einwirkungsdauer der Zieltemperatur: 4 Std.
4. Erwärmung mit einer Geschwindigkeit von $+6^\circ\text{C/Std.}$
5. Nachbehandlung 3 Std. bei $+2^\circ\text{C}$.

Während der Abkühlungsphase bei etwa -2°C erfolgte eine Eisimpfung durch Besprühung der Pflanzen mit unterkühltem Wasser.

Nach dem Test wurden die Pflanzen bei $+15^\circ\text{C}$ im Gewächshaus aufgestellt, die Bewertung der entstandenen Frostschäden an den Nadeln erfolgte nach etwa 20 Tagen. Die Bewertung der Knospenschäden wurde erst nach dem Austreiben im folgenden Frühjahr vorgenommen. Als Maß der Schädigung der Nadeln wurde der prozentuale Anteil der getöteten Nadeloberfläche in Intervallen von 10% gewählt. Die Schäden der Knospen wurde in Intervallen von $33\frac{1}{3}\%$ erfaßt. Mit Hilfe eines Probitanalyse-Verfahrens wurde von jeder Herkunft und jedem Testtermin aus der Relation zwischen Testtemperatur und prozentualer Sterblichkeit des Pflanzenmaterials die mittlere tödliche Temperatur (LT 50) errechnet, und zwar getrennt nach Knospen und Nadeln. Die Frostresistenztemperatur LT 50 entspricht statistisch der Temperatur, bei der die Wahrscheinlichkeit, daß eine Pflanze getötet wird, den Wert 0.5 hat (zu einer eingehenden Erläuterung des Verfahrens siehe LARSEN 1978). Eine Analyse der Abhärtungs- und Enthärtungsentwicklung ergab, daß die Abhärtung exponential und die Enthärtung logarithmisch verlief, als Beispiel zeigt *Abbildung 2* den Verlauf der Abhärtung und der Enthärtung von 2 typischen Herkünften. Durch entsprechende Transformationen wurden lineare Ab- und Enthärtungsverläufe hergestellt. Aus diesen Regressionsgleichungen wurden folgende zwei Resistenzindizes bei jeder Herkunft errechnet; und zwar getrennt für Nadeln und Knospen.

- 1) Die Abhärtungszeit, als Anzahl von Tagen nach Abhärtungsbeginn, bis eine LT 50 von -10°C erreicht wurde (als Index der Frühfrostresistenz).
- 2) Die Enthärtungszeit, als Anzahl von Tagen nach Enthärtungsbeginn, bis eine LT 50 von -6°C erreicht wurde (als Index der Spätfrostresistenz).

2. Ergebnisse

Die aus der Abhärtungs- und der Enthärtungsentwicklung errechneten Resistenzindizes stellt *Tabelle 2* dar: Die Abhärtung der Knospen erfolgt bei allen Herkünften schneller als bei den Nadeln, im Durchschnitt sind die Knospen etwa 5 Tage früher bis -10°C abgehärtet. Dementsprechend erhalten die Knospen in der Enthärtungsphase ihre Resistenz länger; das Resistenzniveau von -6°C bei den Nadeln wird schon im Durchschnitt nach etwa 36 Tagen erreicht, während die Knospen erst nach etwa 44 Tagen ihre Resistenz abgebaut haben. Es besteht außerdem eine sehr enge Übereinstimmung zwischen den Resistenzindizes der Nadeln und der Knospen sowohl bei der Abhärtung als auch bei der Enthärtung (siehe *Tabelle 3*), dafür sind die Abhärtungs- und Enthärtungszeiten als Durchschnitt für Nadeln und Knospen für jede Herkunft errechnet und in *Tabelle 2* aufgeführt. Diese beiden Indizes sollen im folgenden für die Analyse der geographischen Variation in der Früh- und Spätfrostresistenz der 23 Herkünfte verwendet werden, weil sie einen Überblick der gesamten Information darstellen.

2.1 Die Frühfrostresistenz

Die drei Provenienzen aus dem Tiefland direkt am Pudget Sound 12002 bis 12004 weisen (*Tabelle 2*) die höchste Empfindlichkeit gegenüber Frühfrösten von allen Herkünften auf, indem sie etwa 50 Tage Abhärtung brauchen, um eine LT 50 von -10°C zu erreichen. Die Herkunft Nr. 12005, die auch aus diesem Gebiet, aber aus etwa 800 m Höhe stammt, zeigt dagegen mit etwa 43 Tagen eine bedeutend höhere Frühfrostresistenz. Die Herkünfte aus den Kammlagen der Cascaden (Nr. 12006 bis 12021, sowie Nr. 51) haben eine hohe Frühfrostresistenz (32 bis 43 Tage). Ein deutlicher Nord-Süd-Trend macht sich hier bemerkbar: So sind die Herkünfte südlich des 45. Breitengrades (Nr.

Tabelle 2. — Die Indizes der Früh- und Spätfrostresistenz
The early and late frost hardiness indices

Herkunft Provenance	Dauer der Abhärtung (Tage) Duration of the hardening (days)			Dauer der Enthärtung (Tage) Duration of the dehardening (days)		
	Nadeln leaves	Knospen buds	Durchschnitt mean	Nadeln leaves	Knospen buds	Durchschnitt mean
12001	45.2	38.8	42.0	31.1	38.9	35.0
12002	50.9	44.4	47.7	26.0	31.3	28.7
12003	51.3	45.5	48.4	29.0	34.7	31.9
12004	54.6	46.5	50.6	24.8	34.5	29.7
12005	45.1	40.2	42.7	35.9	41.5	38.7
12006	41.9	37.4	39.7	38.9	44.1	41.5
12007	41.9	37.7	39.8	34.8	44.2	39.5
12008	41.5	35.9	38.7	38.2	45.1	41.7
12010	38.7	36.9	37.8	36.8	43.8	40.3
12011	37.8	34.8	36.3	39.0	40.8	39.9
12012	35.0	29.1	31.1	38.2	39.1	38.7
12013	39.8	34.8	37.3	41.8	48.0	44.9
12014	36.6	33.9	35.3	38.7	48.8	43.8
12015	42.6	40.1	41.4	37.1	47.3	42.2
12016	42.8	37.8	40.3	36.0	43.4	39.7
12017	45.6	40.1	42.9	36.1	47.1	41.6
12018	41.8	37.2	39.5	38.8	51.6	45.2
12019	44.3	39.2	41.8	38.8	50.2	44.5
12020	44.8	35.8	40.3	39.4	51.6	45.5
12021	45.8	37.8	41.8	36.3	44.7	40.5
51	45.2	40.0	42.6	32.8	42.2	37.5
52	42.8	40.5	41.7	38.2	42.3	40.3
53	38.5	37.3	37.9	42.0	50.2	46.1

12015—12021) deutlich empfindlicher gegenüber den Herkünften nördlich dieser Linie (Nr. 12006—12014); eine Ausnahme bildet jedoch Herkunft Nr. 51. Die Hochlagenherkünfte (etwa 1000 m ü. NN) zwischen dem 45. und 47. Br.-Grad (12010—12014) bilden mit Abhärtungszeiten von 32.1 bis 37.8 Tagen eine Gruppe mit der höchsten Frühfrostresistenz von allen getesteten Herkünften. Die beiden Herkünfte vom Westabfall der Cascaden bei Darrington (Nr. 12001 u. 52) liegen mit etwa 42 Tagen intermediär zwischen den Küstenherkünften und den Provenienzen aus den Kammlagen der Cascaden. Die einzige Herkunft aus Idaho (Nr. 53) zeigt eine sehr hohe Frühfrostresistenz (37.3 Tage).

2.2 Die Spätfrostresistenz

Die ausgeprägt signifikant negativen Korrelationen zwischen Abhärtungszeit und Enthärtungszeit (Tabelle 3) zeigen, daß eine enge positive Beziehung zwischen Früh- und Spätfrostresistenz bei den getesteten Herkünften besteht. Dementsprechend erweisen sich die Küstenherkünfte aus Tieflagen (Nr. 12002 bis 12004) mit Enthärtungszeiten von 28.7 bis 31.9 Tagen als sehr spätfrostempfindlich. Die Küstenherkunft aus höheren Lagen (12005) ist dagegen bedeutend resistenter (38.7 Tage). Bei den beiden Herkünften aus dem Gebiet um Darrington wiederholt sich dieser höhenabhängige Trend der Spätfrostresistenz: Die Herkunft Nr. 52 aus etwa 750 m Höhe zeigt sich mit einer Enthärtungszeit von 40.3 Tagen deutlich spätfrostresistenter gegenüber Nr. 12001 aus etwa 400 m Höhe (35.0 Tage). Die Herkünfte aus den Kammlagen der Cascaden zeigen im Durchschnitt eine relativ hohe Spätfrostresistenz. Mit einzelnen Ausnahmen macht sich ein Nord-Süd-Trend bemerkbar: So zeigen die Herkünfte südlich des Columbia-Flusses (Nr. 12013 bis 12021) eine wesentlich höhere Frühfrostresistenz gegenüber Herkünften (12006—12012) nördlich dieser Linie (zwischen dem 45. und 46. Br. Grad).

Die spätfrostresistenten Herkünfte aus den Cascaden (Nr. 12018 bis 12020) stammen alle aus Lagen oberhalb 1300 m ü. NN.

Herkunft Nr. 53 aus Idaho weist mit einer Enthärtungs-

zeit von 46.1 Tagen die höchste Spätfrostresistenz von allen Herkünften auf.

Tabelle 3. — Korrelationskoeffizienten zwischen den 4 Frostresistenz-Indizes

Correlation coefficients between the four indices of frost hardiness

	Abhärtung Hardening		Enthärtung Dehardening	
	Nadeln leaves	Knospen buds	Nadeln leaves	Knospen buds
Abh. (Nadeln) Hardening (leaves)				
Abhärtung (Knospen) Hardening (buds)	0.908***			
Enthärtung (Nadeln) Dehardening (leaves)	-0.822***	-0.766***		
Enthärtung (Knospen) Dehardening (buds)	-0.532***	-0.507**	0.825***	

2.4 Regressionsanalysen

Um die geographische Variation in der Früh- und Spätfrostresistenz näher zu analysieren, wurden multiple Regressionsanalysen durchgeführt. Die verwendeten geographischen Merkmale gibt Tabelle 4 wieder:

Tabelle 4. — Die für die Regressionsmodelle verwendeten Variablen

Variables used in the regression models

Variable Variables	Abkürzung Abbreviation
Breitengrad Degree of latitude	LAT
Längengrad Degree of longitude	LON
Höhenlage (m) Elevation (m)	ELE
Abstand zum Pacific (km) Distance from the Pacific Ocean (km)	DPO
Abstand zur Kammlinie der Cascaden (km) Distance from the ridge of the Cascades (km)	DRC

Tabelle 5. — Die Regresionsmodelle mit dem Frühfrostresistenzindex als abhängige Variable
Regression models whereby the index of early frost hardness is used as the independent variable

Variable	Modell Nr.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LAT	x					x	x	x	x
LON		x							x
ELE			x				x	x	x
DPO				x		x	x	x	x
DRC					x			x	x
Korrelationskoeffizient	0.308	0.645	—0.623	—0.734	—0.747	0.846	0.855	0.858	0.896
Correlations coefficient									
R ²	0.095	0.416	0.388	0.539	0.558	0.716	0.731	0.736	0.803

Tabelle 6. — Die Regresionsmodelle mit dem Spätfrostresistenzindex als abhängige Variable
Regression models whereby the index of late frost hardness is used as the independent variable

Variable	Modell Nr.								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
LAT	x					x	x	x	x
LON		x							x
ELE			x			x	x	x	x
DPO				x			x	x	x
DRC					x			x	x
Korrelationskoeffizient	—0.699	—0.454	0.875	0.875	0.706	0.876	0.911	0.913	0.915
Correlation coefficient									
R ²	0.489	0.206	0.766	0.766	0.498	0.767	0.830	0.833	0.837

In den folgenden Regresionsanalysen sind nur die 20 IUFRO-Herkünfte vertreten, weil die Herkünfte 51, 52 und 53 weniger genaue geographische Daten haben.

Tabelle 5 stellt die verschiedenen Regresionsmodelle und die dadurch erreichten Regresionskoeffizienten bei der Analyse der Frühfrostresistenz dar, wobei die durchschnittliche Abhärtungszeit von Nadeln und Knospen als abhängige Variable verwendet wurden.

Schon durch Einbeziehung von zwei Variablen (Modell Nr. 6) wird ein multipler Korrelationskoeffizient von 0.846 erreicht. Durch Hinzunahme der restlichen Variablen (Modell 7, 8 und 9) wird nur eine geringfügige Erhöhung der Korrelationskoeffizienten erreicht. Durch die Variable „Abstand zum Pazifik“ wird ein größerer Teil der Variation erklärt als durch die Variable „Längengrad“.

Bei den Analysen der Spätfrostresistenz (Tabelle 6) zeigt sich im Gegensatz zur Frühfrostresistenz ein gewisser Einfluß der Höhenlagen. Bei der Verwendung von Breitengrad, Abstand zum Pazifik und Höhenlage (Modell Nr. 7) wird ein multipler Korrelationskoeffizient von 0.911 erreicht. Ähnlich wie bei der Frühfrostresistenz tragen entweder Abstand zum Kamm der Cascaden noch Längengrad kaum zu einer zusätzlichen Erklärung der Variation bei.

3. Diskussion

Es liegen bisher nur wenige experimentelle Untersuchungen über die Frostresistenz bei *Abies grandis* und über die geographische Variation dieser Resistenz vor. Daher muß die Diskussion vorrangig durch Vergleiche mit anderen Baumarten, insbesondere mit der genauer bekannten Douglasie, stattfinden.

Ähnlich wie bei der Douglasie (LARSEN 1978) verläuft die Abhärtung der Nadeln und der Knospen bei *Abies grandis* parallel. Dies scheint bei der *Abies grandis* während der Enthärtung auch der Fall zu sein im Gegensatz zu der Douglasie. (Beispielsweise fand LARSEN (1978) eine signifikant negative Korrelation zwischen Frühfrostresistenz der Nadeln und der Knospen bei der Douglasie.) Die festgestellte stark bis noch signifikante Korrelation zwischen Früh- und

Spätfrostresistenz zeigt, daß die Suche nach sowohl frühfrostresistenten als auch spätfrostresistenten Herkünften, im Gegensatz zu der Douglasie, bei der *Abies grandis* viel einfacher ist.

Sowohl bei der Frühfrostresistenz als auch bei der Spätfrostresistenz erklärt der Faktor Abstand zum Pazifik einen größeren Teil der Variation als der Faktor Längengrad. Dies deckt sich somit sehr gut mit den vorher genannten Untersuchungen bei der Douglasie. Um die Bedeutung der Kammlinie der Cascaden für die Frostresistenz zu testen, wurde der Faktor „Abstand zur Kammlinie“ in km (minus Vorzeichen in Richtung West, plus in Richtung Ost) in die Regresionsmodelle einbezogen. Durch diesen Faktor konnte jedoch kaum eine zusätzliche Information, weder bei der Frühfrostresistenz, noch bei der Spätfrostresistenz gewonnen werden. Man kann daher nicht annehmen, im Gegensatz zu der Douglasie (siehe beispielsweise KLEINSCHMITT *et al.* 1974), daß das Variationsmuster an der Kammlinie der Cascaden deutlich diskontinuierlich ausgeprägt ist. Vielmehr scheint es bei der Frostresistenz von *Abies grandis* in Ost-West-Richtung einen deutlichen kinalen Charakter über die Kammlinie hinweg zu haben. LACAZE und TOMASSONE (1967) haben abweichend von MÜLLER (1935) eine Gliederung des natürlichen Areals von *Abies grandis* in zwei verschiedene Formenkreise vorgeschlagen: Eine Gruppe mit den Küstenherkünften Washingtons und Britisch Kolumbiens und eine zweite Gruppe mit den Herkünften aus den Cascaden und den östlich davon gelegenen Teilen. Diese Gliederung kann im Hinblick auf die Frostresistenz nur zum Teil bestätigt werden. Zwei Herkünfte aus dem Westabfall der Cascaden (Nr. 12001 und 52) sowie eine Küstenherkunft aus höheren Lagen (Nr. 12005) erwiesen sich in ihren Frostresistenzigenschaften als deutlich intermediär zwischen den oben genannten Gruppen. Die geographische Variation in der Frühfrostresistenz der getesteten Herkünfte weist eine enge Übereinstimmung mit der Variation in der Frühfrostresistenz bei der Douglasie, die bei LARSEN (1978) mit den gleichen Versuchsmethoden untersucht wurde. Es zeigte sich eine deutliche Zunahme der Resistenz mit

dem Abstand zum Pazifik (Ost-West-Gradient), und eine Erhöhung der Resistenz mit zunehmendem Breitengrad (Nord-Süd-Gradient).

Auf einen Zusammenhang zwischen Frühfrostresistenz und Johannistriebbildung, wie er bei der Douglasie gefunden wurde (LARSEN 1978), deuten die Ergebnisse von LINES 1974 hin: Bei diesen Versuchen (in Großbritannien) zeigten die Küstenherkünfte Washingtons eine höhere Frequenz an Johannistrieben gegenüber solchen aus den Cascaden. Über das Austreiben, die Johannistriebbildung und das Wachstum der Herkünfte aus diesem Versuch wird später ausführlich berichtet.

Die geographische Variation in der Spätfrostresistenz weist dagegen kaum Ähnlichkeiten mit derjenigen der Douglasie auf. Die Küstenherkünfte in dem Gebiet um den Pudget Sound, die bei der Douglasie eine sehr hohe Spätfrostresistenz haben, zeigen sich bei der *Abies grandis* am meisten spätfrostempfindlich. Der beobachtete Nord-Süd-Gradient in der Spätfrostresistenz deckt sich sehr gut mit dem bei LACAZE und TOMASSONE (1967) festgestellten frühzeitigen Austreiben der nördlichen gegenüber der südlichen Herkünfte.

Das Variationsmuster in der Spätfrostresistenz der *Abies grandis* scheint demnach hauptsächlich vom Breitengrad, vom Abstand zum Pazifik und in geringen Maßen von der Höhenlage beeinflusst zu sein, hierdurch konnten etwa 83% der gesamten Variation erklärt werden ($R^2 = 0.830$). Bei der Douglasie dagegen konnten nur etwa 18% der Variation in der Spätfrostresistenz durch dieselben drei Faktoren erklärt werden. Die Ursache dieser Verschiedenheit muß wahrscheinlich in der unterschiedlichen soziologischen Stellung der beiden Arten in den natürlichen Beständen gesucht werden: Die Douglasie ist eine typische Pionierbaumart, die sich hauptsächlich auf Kahlfleichen nach einer Katastrophe (Waldbrand) verjüngt. Deshalb ist die Verjüngung der Douglasie besonders im Frühjahr viel stär-

keren Temperaturschwankungen ausgesetzt als die Verjüngung der *Abies grandis*, die sich in diesem Gebiet (Küstenregionen und Cascaden) hauptsächlich unter einem Schirm von älteren Bäumen, vorwiegend anderen Arten, verjüngt. Die Variation in der Spätfrostresistenz der Douglasie hängt daher weitgehend von dem durch die Topographie erzeugten Mesoklima (Strahlungsfröste, Kaltluftstauungen u. a.) ab (LARSEN 1978 a), die Spätfrostresistenz der *Abies grandis* dagegen variiert vielmehr mit dem Großklima.

Anschließend muß darauf hingewiesen werden, daß dieser Versuch nur die Aspekte der Frostresistenz berücksichtigt. Einen weiteren wichtigen Faktor für die Wahl der Provenienz bildet das Wachstum der Herkünfte. Nach LINES 1974, KRAMER 1976 und LARSEN unveröff. sind die Küstenherkünfte Washingtons durch ein schnelles Wachstum (mindestens in der Jugend) gegenüber Herkünften aus den Cascaden gekennzeichnet. Damit wäre eine negative Korrelation zwischen Wachstum und Frostresistenz zu erwarten.

Literatur

- KLEINSCHMIT, J., RACZ, J., WEISGERBER, H., DIETZE, W., DIETERICH, H., und DIMPFLMEIER, R.: Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. *Silvae Genetica* 23 (6), 167—176 (1974). — KRAMER, W.: *Abies grandis* LINDLEY — Große Küstentanne. *Der Forst- und Holzwirt* 18, 365—373 (1976). — LACAZE, J. F., und TOMASSONE, R.: Contribution à l'étude de la variabilité infraspécifique d'*Abies grandis* LINDL. Caractéristique juvéniles. *Ann. Sci. forest.* 24 (4), 277—325 (1967). — LARSEN, J. Bo.: Die Frostresistenz von 60 verschiedenen Douglasien-Herkünften sowie über den Einfluß der Nährstoffversorgung auf die Frostresistenz der Douglasie. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät Göttingen*, 52, 1—126 (1978). — LARSEN, J. Bo.: Die Frostresistenz der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (MIRB.) FRANCO) verschiedener Herkünfte mit unterschiedlichen Höhenlagen. *Silvae Genetica* 27 (3—4), 150—156 (1978). — LINES, R.: A preliminary Provenance Trial with Grand fir (*Abies grandis* LINDL.). *Scottish Forestry*, 28/1 85—98 (1974). — MÜLLER, K. M.: *Abies grandis* und ihre Klimarassen. *Mitt. der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*, 47, 54—123 (1935).

Comparing Efficiency of Balanced Mating Designs for Progeny Testing

By W. D. PEPPER and G. NAMKOONG

Biometrician, Forest Service-USDA, Southeastern Forest Experiment Station, Forestry Sciences Laboratory, Research Triangle Park, N. C. 27709 USA¹) and Research Geneticist Forest Service USDA, Southeastern Forest Experiment Station and North Carolina State University, Raleigh, N. C. 27607 USA

(Received March 1978)

Summary

Balanced hierarchical and factorial mating designs are compared for cost, genetic gain, and economic value of progeny testing with commonly expected variations in number of test parental entries, number of crosses per entry, heritability, population variance structure, and total test size. Constraints on design comparisons are either: (1) a restriction on number of crosses and an upper limit on number of parents (a small number of parents can be tested

with considerable accuracy, or a larger number of parents can be tested with less accuracy) or (2) the number of parents is fixed, so that accuracy can be increased only by increasing the size of the test.

When a constraint of the first type applies, and when heritability and dominance variance are low, it is beneficial to sacrifice accuracy in order to test a larger number of parents. However, an unexpected result of the study was that the desirability of accurate testing of fewer parents increases under both constraints as heritability and dominance variance increase. Only when the costs of the hierarchical designs include costs of selecting female testers

¹) Present address is USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, La. 70113 USA.