

(1961). — Saylor, L. C.: Karyotype analysis of Pinus group *Laricinae*. *Siivae Genetica* 13: 165–170 (1964). — Saylor, L. C.: Karyotype analysis of the genus Pinus — subgenus Pinus. *Siivae Genetica* 21: 155–163 (1972). — Schweizer, D.: Differential staining of plant chromosomes with Giemsa. *Chromosoma (Berl.)* 40: 307–320 (1973). — Schweizer, D.: An improved Giemsa C-banding procedure for plant chromosomes. *Experientia* 30: 570–571 (1974). — Schweizer, D., and Ehrendorfer, F.: Giemsa banded karyotypes, systematics and evolution in *Anacyclus* (Asteraceae-Anthemideae). *Plant Syst. Evol.* 126: 107–148 (1976). — Shidei, T., and Moromizato, S.: Karyotype analysis of Luchu pine (*Pinus luchuensis* MAYR.). *J. Jap. For. Soc.* 53: 13–18 (1971). — Simak, M.: Karyotype analysis of *Larix decidua* MILL. from different provenances. *Medd. Stat. Skogsforskningsinst.* 51: 1–22 (1962). — Tarnavski, I. T., and Ciobanu, I.: Karyologische Unter-

suchungen an *Pinus nigra* ARN. ssp. *nigricans* HOST. var. *banatica* GEORG. et IONESCU in Vergleiche mit *Pinus nigra* ARN. var. *austriaca* MOESS. *Rev. Roum. Biol., Ser. Bot.* 10: 371–375 (1965). — Vidaković, M.: Investigations on the intermediate type between the Austrian and the Scots pine. *Siivae Genetica* 7: 12–48 (1958). — Vidaković, M.: Savladjivanje inkompatibilitosti pri križanju nekih borova (Overcoming the incompatibility in crossing some pine species — Engl. Sum.). *Genetika* 9: 51–63 (1977 a). — Vidaković, M.: Some morphological characteristics of *Pinus X nigrosylvis* (*Pinus nigra* X *Pinus sylvestris*). *Ann. Forest.* 8 (2): 15–27 (1977 b). — Vidaković, M., and Borzan, Z.: Contribution to the investigations of incompatibility by crossing Scots pine and European black pine. *Int. Symp. on Gen. of Scots pine, Kornik: 1–49* (1973). Yim, K. B.: Karyotype analysis of *Pinus rigida*. *Hereditas* 49: 274–276 (1963).

## Die Frostresistenz der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) verschiedener Herkünfte mit unterschiedlichen Höhenlagen

Von J. BO LARSEN

Institut für Waldbau der Universität Göttingen

(Eingegangen November 1977 / Mai 1978)

### Zusammenfassung

Um die Bedeutung der Höhenlage für die Frostresistenz der Douglasie zu untersuchen, wurden Pflanzen der Herkunft Darrington/Wash. von 5 verschiedenen Höhengürteln und der Herkunft Randle/Wash. von 4 verschiedenen Höhengürteln auf ihre Frostresistenz hin getestet. Die Resistenz der einzelnen Höhenlagen wurde durch künstliche Frosttests zu jeweils einem Termin im Herbst und im Winter, sowie zweimal im Frühjahr ermittelt.

Es wurden signifikante Unterschiede in der Frostresistenz zwischen verschiedenen Höhenlagen des gleichen Herkunftsortes sowohl bei Darrington als auch bei Randle nachgewiesen.

Die niedrigsten Lagen (350–500 m) erwiesen sich als besonders früh- und spätfrostresistent. Die Hochlagen (oberhalb etwa 800 m) zeigten sich als besonders früh- und winterfrostresistent. Die mittleren bis unteren Lagen (500–650 m) zeigten sich bei allen 4 Tests am empfindlichsten. Die Herkunft Salmon Arm aus dem Inneren von Br. Columbia erwies sich als besonders früh- und winterfrostresistent, aber als relativ spätfrostempfindlich. Die Herkunft Matlock (südlich der Olympic Mountains) war besonders spätfrostresistent.

Die Unterschiede in den Frostresistenzigenschaften der verschiedenen Höhenlagen werden als eine Anpassung an Kaltluftstauungen erklärt.

Schlagworte: *Pseudotsuga menziesii*, Frostresistenz, Herkünfte, Höhenlagevariation.

### Summary

Frost resistance was tested on four-year old plants from 5 and 4 different altitudes respectively of two seed sources in the state of Washington, i.e. Darrington and Randle. Two additional seed sources from Salmon Arm from the interior part of British Columbia, and Matlock from the low land south of the Olympic Mountains, were also included.

The frost hardiness of the seedlings was tested once in autumn, once in winter, and twice in spring, each time at

5 different temperature levels with the following standard conditions:

- |                                 |                    |
|---------------------------------|--------------------|
| 1) Pre freezing conditions      | : 3 hours by +2° C |
| 2) Cooling rate                 | : –6° C per hour   |
| 3) Duration of test temperature | : 4 hours          |
| 4) Thawing rate                 | : +6° C per hour   |
| 5) Post thawing conditions      | : 3 hours by +2° C |

The results showed significant differences in frost hardiness between altitudes both from Darrington and from Randle. The low elevation seed sources (350–500 m) showed high resistance to early and late frosts. The high elevation seed sources (above 800 m) were especially resistant to winter frosts. The seed sources from intermediate altitudes (500–700 m) showed a low resistance to both early, winter, and late frosts. The provenance Salmon Arm was highly resistant to early and winter frosts but very susceptible to late frosts. Matlock showed a very high late frost resistance.

The differences in frost hardiness related to the elevation of the seed source are explained as an adaptation to cold air drainage in autumn and especially in spring.

Key words: *Pseudotsuga menziesii*, frost hardiness, provenances, altitudinal variation.

### 1. Einleitung

Kaum eine für NW-Europa wichtige Wirtschaftsbaumart zeigt eine so große phänotypische Variation wie die Douglasie. Die Herkunftsfrage bei der Douglasie ist im Vergleich mit anderen Baumarten deshalb von besonders großer Wichtigkeit, und dementsprechend sind in den letzten Jahren eine Reihe von Untersuchungen gemacht worden, um die geographische Variation in Wachstum und Resistenz gegenüber biotischen und abiotischen Schadfaktoren näher zu analysieren.

Einen der bedeutendsten Faktoren für einen erfolgreichen Anbau der Douglasie in Nordwesteuropa bildet die Frostresistenz des verwendeten Pflanzenmaterials. Eine Reihe von Untersuchungen ist darauf gerichtet, das geo-

graphische Variationsmuster für die verschiedenen Frostresistenzigenschaften (Früh-, Winter- und Spätfrostresistenz) zu klären. In einer Untersuchung mit etwa 60 verschiedenen Herkünften aus der IUFRO-Ernte 1967–69 konnten etwa 90% der Gesamtvariation in der Früh- und Winterfrostresistenz durch drei geographische Faktoren erklärt werden:

1) geographische Breite, 2) Abstand zum Pacific und 3) geographische Höhe (LARSEN 1976). Beim Merkmal Spätfrostresistenz wurde ein viel komplizierteres Variationsmuster festgestellt. HATTEMER und KÖNIG (1975) erreichten in 3 Provenienzversuchen beim Merkmal Winterfrostschäden ein Bestimmtheitsmaß von etwa 0,80 mit geographischer Länge und Breite sowie Höhenlage als unabhängige Variable.

Das Material der erwähnten Untersuchungen ermöglicht wegen der Stichprobenauswahl nur eine Analyse des großräumigen Variationsmusters der Douglasie. Die vorliegenden Untersuchungen können einen Beitrag zur Klärung des engeren geographischen Variationsmusters der Douglasie leisten. Dabei sollte versucht werden, kleinräumige Variationen in der Frostresistenz, insbesondere die Bedeutung der Höhenlage innerhalb des gleichen Herkunftsgebietes, zu analysieren.

## 2. Material und Methoden

Um die Variation in der Frostresistenz in Abhängigkeit von der Höhenlage zu untersuchen, wurden Pflanzen von 2 in Europa oft verwendeten Herkünften aus dem Staat Washington (Darrington und Randle) aus 5 bzw. 4 verschiedenen Höhengürteln verwendet. Als Vergleichsherkünfte wurde eine Provenienz aus dem inneren Teil Br. Columbiens (Salmon Arm) und eine ausgeprägt küstennahe Herkunft Washingtons (Matlock) mit untersucht. Das gesamte Pflanzenmaterial wurde von der Bayer. Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Teisendorf bezogen, die eine kontrollierte Ernte der Gebiete 1971 vornahm. Genauere Daten über die verwendeten Herkünfte und Höhenlagen sind in *Tabelle 2-1* zu sehen.

Die geographische Lage der Herkünfte geht aus *Abbildung 2-1* hervor. Das Saatgut wurde 1972 in Teisendorf ausgesät, die 2jährigen Pflanzen wurden im September 1973 verschult. Im Frühjahr 1974 wurden die Pflanzen ausgehoben und auf der Freifläche des Instituts für Waldbau in Göttingen in 1,5 Liter Töpfe mit gedüngter Einheitserde getopft.

### Die Methodik der Frostresistenzprüfung

Die Prüfung der Frostresistenz geschah insgesamt 4mal, und zwar einmal im Herbst (am 20. 9. 74), einmal im Winter (am 15. 12. 74) und zweimal im Frühjahr (am 6. 4. und 7. 5. 75). Der Verlauf der durchschnittlichen Minimum- und Maximumtemperatur auf der Freifläche in Pflanzenhöhe geht aus *Abbildung 2-2* hervor.

Der Resistenztest erfolgte an abgeschnittenen Seitenzweigen in 5 Lauda-Kryostaten (Temperaturbereich 40 bis



Abbildung 2-1. — Die geographische Lage der Herkünfte.  
The location of the provenances tested.

÷ 130° regelbar auf 0,01°), so daß die Wirkung von 5 Temperaturen gleichzeitig getestet werden konnte. Das Pflanzenmaterial befand sich für den Test in einem 4-Liter-Glasgefäß, das ganz in das Kältebad eingetaucht war (Versuchsaufstellung siehe *Abbildung 2-3*). Um Temperaturunterschiede in dem Testgefäß während des Testes zu verhindern, wurde ein Ventilator eingebaut.

Zu jedem Testtermin wurden je Herkunft 7 Pflanzen zufällig ausgewählt, und von jeder Pflanze wurden 5 letztjährige Seitenzweige abgeschnitten und auf die 5 Testgefäße verteilt. Der Temperaturverlauf in dem Gefäß während des Testes wurde wie folgt standardisiert:

- 1) Vorbehandlung: 3 Std bei konstant +2° C
- 2) Abkühlungsgeschwindigkeit: -6° C/Std
- 3) Einwirkungsdauer: 4 Std
- 4) Erwärmungsgeschwindigkeit: +6° C/Std
- 5) Nachbehandlung: 3 Std bei konstant +2° C.

Während der Abkühlungsphase bei -2° C wurde die Eisbildung induziert durch Impfung mit etwa 2 cm<sup>3</sup> Eiskristallen. Die 5 Testtemperaturen wurden mit einem Abstand von 2–3° C abhängig von der durch die jeweilige Witterung zu erwartenden Resistenzlage gewählt. Als Beispiel zeigt *Abbildung 2-4* die Temperaturverläufe der 5 Frosttests bei der 1. Resistenzprüfung am 20. Sept. Nach dem Test wurden die Zweige im Gewächshaus bei +20° C und 100% rel. Luftfeuchte in feuchten Sand gesteckt. Nach 20 Tagen ließen sich die Frostschäden durch die Beobachtung äußerer Merkmale deutlich erkennen. Die Schädigungen der Nadeln und die der Knospen wurden getrennt festgestellt. Als Schädigungsmaß der Nadeln wurde der prozentuale Anteil der geschädigten Oberfläche in Intervallen von 10% gewählt (0% = unbeschädigt, 100% = tot). Die Schädigung der Knospen wurde (Endknospe und 2 Seitenknospen) erfaßt, indem der Vegetationskegel der Länge nach durchgeschnitten wurde. Etwa 20 Tage nach dem Test war der Kegel entweder ganz braun (= tot) oder grün (= lebend); dadurch konnte folgende prozentuale Schädigung der Knospen an jedem Zweig festgestellt werden: 0%, 33<sup>1</sup>/<sub>3</sub>%, 66% und 100%.

Für die Berechnung der Frostresistenzwerte ist die sogenannte „Flächenmethodik“ verwendet worden. (V. D. WAERDEN 1940). Sie ergibt einen Schätzwert für die mittlere tödliche Dosis bzw. Temperatur (LT50) durch eine Integration der Wirkungskurve (die Relation zwischen Kälte-dosis und prozentualer Sterblichkeit). Die LT50 ist diejenige Tempe-

Tabelle 2-1. — Liste der getesteten Herkünfte  
List of provenances tested

Herkunft Provenance	Abtz. Abr.	Höhenlage (m) Elevation (m)	Land State	Br. Grad Latitude	Lg. Grad Longitude
Darrington	D1	350-500	Washington	43° 16'	121° 38'
"	D2	500-650	"	"	"
"	D3	650-800	"	"	"
"	D4	800-950	"	"	"
"	D5	950-1100	"	"	"
Randle	R1	350-500	"	46° 33'	122° 03'
"	R2	500-650	"	"	"
"	R3	650-800	"	"	"
"	R4	1300	"	"	"
(Mt. Burley)					
Salmon Arm	S	850-1000	Br. Columbia	50° 44'	119° 13'
Matlock	M	250-500	Washington	47° 18'	123° 26'

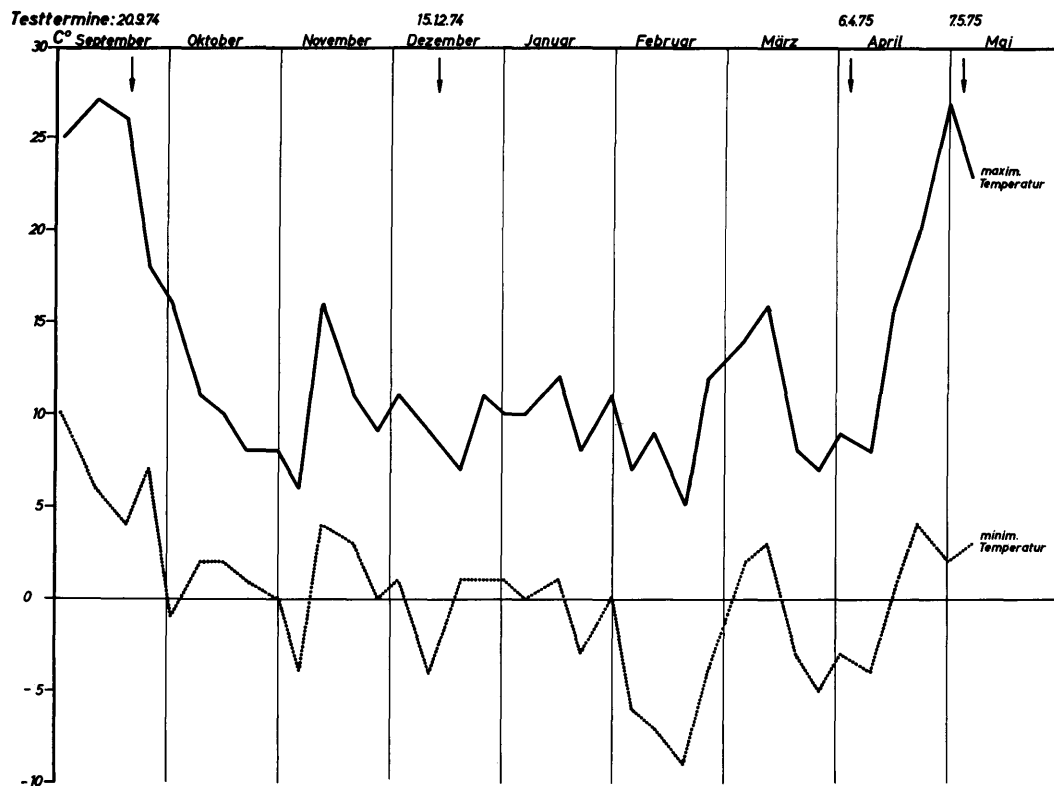


Abbildung 2-2. — Die Maximum- und Minimumtemperaturen auf der Freifläche während der Testperiode.  
The maximum and the minimum temperatures in the field throughout the period of testing.

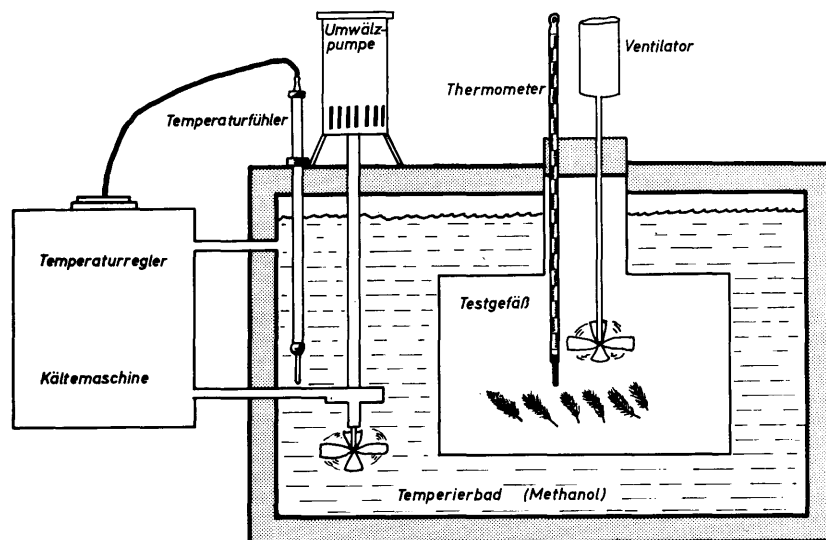


Abbildung 2-3. — Das Testgerät.  
The apparatus for testing frost resistance.

ratur, bei der 50% des getesteten Materials getötet wird (die Wahrscheinlichkeit der Abtötung ist 0.5). Nach der Berechnung der LT50 von jeder Pflanze wurden Mittelwert und Streuung der einzelnen Herkünfte und Termine (für Knospen und Nadeln getrennt) ermittelt.

Eine tiefgehende Beschreibung und eine kritische Diskussion der hier verwendeten Testverfahren findet sich bei LARSEN (1978).

### 3. Ergebnisse

Der Temperaturverlauf auf der Freifläche während der Testperiode (Abb. 2-2) entspricht etwa dem eines normalen bis milden Winters. Beim ersten Test am 20. 9. waren die Pflanzen bisher keinen Frostgraden ausgesetzt worden. Die

Tests am 15. 12. und am 6. 4. wurden in einer Periode mit mäßigen Nachtfrost (bis  $-5^{\circ}$  C) durchgeführt. Dagegen fand die letzte Resistenzprüfung (am 7. 5.) etwa 3 Wochen nach dem letzten Frost statt.

In Tabelle 3-1 bis 3-4 sind die Ergebnisse der Frostresistenzprüfung als Durchschnitt der LT50 von jeder Herkunft und Höhenlage angegeben. Die Signifikanz der Differenzen zwischen den Mittelwerten wurde terminweise mittels *Multiple-Range-Test* (DUNCAN-Test) geprüft. Die Herkünfte sind in den Tabellen nach abnehmender Resistenz geordnet und in Gruppen aufgeteilt, in denen die Herkünfte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%

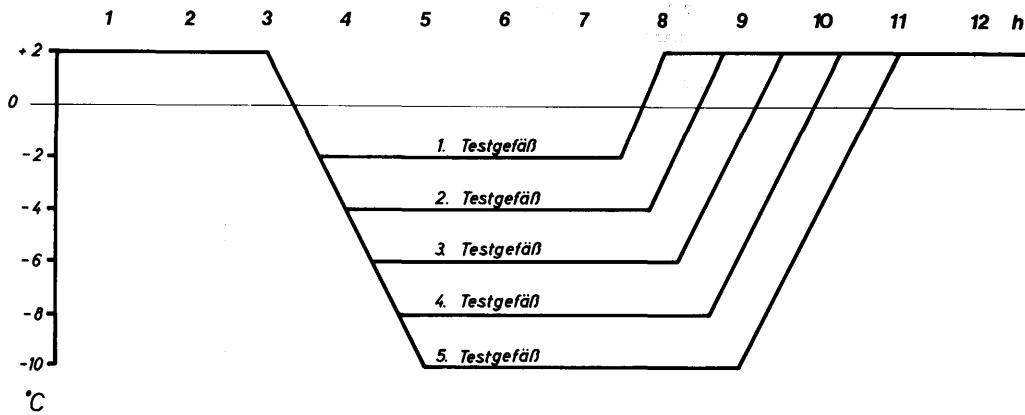


Abbildung 2-4. — Der Temperaturverlauf der 5 Testgefäße während dem ersten Test am 20. Sept.  
The temperature change in the 5 freezing chambers during the first test on the 20th of Sept.

Tabelle 3-1. — Frostresistenz (LT50 in °C) am 20. Sept.  
Frost hardiness (LT50 in °C) on the 20th of Sept.

Herkunft Provenance	Resistenz der Nadeln Hardiness of the needles LT50 (°C)	Herkunft Provenance	Resistenz der Knospen Hardiness of the buds LT50 (°C)
S	-7.8	S	-8.0
D1	-7.6	D1	-7.8
R4	-6.5	R4	-6.0
M	-6.2	M	-5.7
R1	-5.7	D5	-5.5
D5	-5.4	R1	-5.4
R2	-4.9	R2	-5.4
R3	-4.9	D4	-4.9
D2	-4.8	D2	-4.9
D4	-4.7	D3	-4.6
D3	-4.2	R3	-3.8

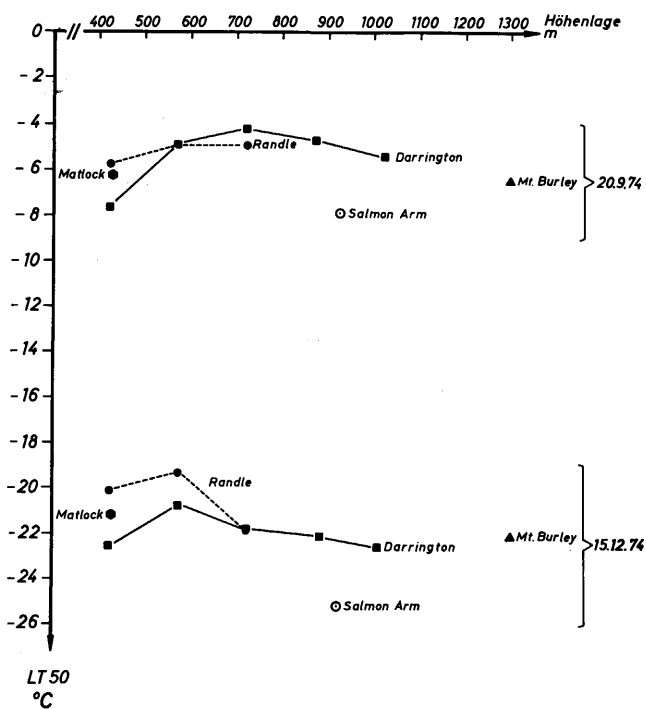


Abbildung 3-1. — Die Nadelresistenz der getesteten Herkünfte (in °C) am 20. Sept. und am 15. Dez.

Hardiness of the needles (in °C) of the different seed sources on the 20th of Sept. and on the 15th of Dec.

keine signifikanten Unterschiede aufweisen. Diese Gruppen sind mit senkrechten Strichen verbunden.

Schon beim ersten Testtermin am 20. Sept. zeigten sich große Unterschiede in der Resistenz zwischen den verschiedenen Herkünften und Höhenlagen (Tabelle 3-1). Herkunft Salmon Arm aus dem inneren Br. Columbia hat mit einer LT50 von etwa  $-8.0^{\circ}$  C die höchste Resistenz erreicht, aber auch Darrington 350—500 m war sehr resistent. Betrachten wir die verschiedenen Höhenlagen gleicher Herkunft, so wird deutlich, daß die tiefsten Lagen (350—500 m) und die Hochlagen (oberhalb 950 m) besser resistent sind, als die mittleren bis darunter anschließenden Lagen (500—800).

So zeigten sich die Pflanzen Darrington 650—800 m und Randle 650—800 m signifikant empfindlicher als Darrington 950—1100 m bzw. Randle (Mt. Burley) 1300 m.

Bemerkenswert ist außerdem die sehr gute Übereinstimmung zwischen Nadel- und Knospenresistenz. Abbildung 3-1 stellt die Nadelresistenz der verschiedenen Herkünfte und Höhenlagen bei der Resistenzprüfung am 20. 9. und 15. 12. graphisch dar.

Die Ergebnisse der Winterresistenzprüfungen (am 15. Dez.) zeigten eine sehr hohe Parallelität zu den Resultaten des Herbsttests, alle Herkünfte waren aber viel resistenter geworden (Tabelle 3-2).

Salmon Arm zeigte sich als signifikant resistenter als alle übrigen Herkünfte.

Bei den verschiedenen Höhenlagen der Herkunft Darrington zeigte sich wieder, daß die Hochlagen (800—950 und 950—1100 m) und die tiefste Lage 350—500 m besonders resistent sind, und daß die mittleren Lagen (500—650 und

Tabelle 3-2. — Frostresistenz (LT50 in °C) am 15. Dez.  
Frost hardiness (LT50 in °C) on the 15th of Dec.

Herkunft Provenance	Resistenz der Nadeln Hardiness of the needles LT50 (°C)	Herkunft Provenance	Resistenz der Knospen Hardiness of the buds LT50 (°C)
S	-25.2	S	-24.9
D5	-22.6	D5	-22.0
D1	-22.5	R4	-21.5
D4	-22.1	R3	-21.4
R4	-22.1	D1	-21.4
R3	-21.9	D4	-21.0
D3	-21.7	D3	-20.5
D2	-20.8	D2	-20.0
M	-20.7	M	-20.0
R1	-20.1	R1	-19.6
R2	-19.3	R2	-18.7

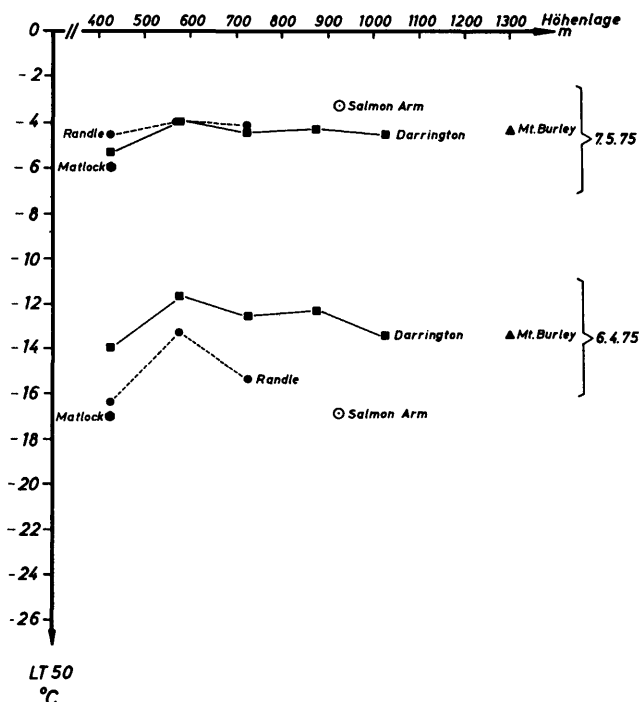


Abbildung 3-2. — Die Knospenresistenz der getesteten Herkünfte (in °C) am 6. April und 7. Mai.

Hardiness of the buds (in °C) of the different seed sources on the 6th of April and on the 7th of May.

650—800) eine relativ hohe Empfindlichkeit aufwiesen. Bei Herkunft Randle scheint allgemein eine Zunahme der Frostresistenz mit zunehmender Höhe gegeben zu sein, die unteren bis mittleren Lagen (500—650 m) wiesen jedoch die geringste Resistenz von allen Herkünften auf. Die Küstenherkunft Matlock (Washington) zeigte ebenfalls eine geringe Winterfrostresistenz.

Im Gegensatz zu der Prüfung der Früh- und Winterfrostresistenz, bei welcher die Resistenz der Nadeln und der Knospen fast identisch waren, zeigten sich im Frühjahr (6. 4. und 7. 5.) die Knospen als deutlich empfindlicher. Außerdem bestand wenig Übereinstimmung zwischen den beiden Resistenzmerkmalen. Weil die Knospen sich im Frühjahr am empfindlichsten erwiesen und für das Überleben der Pflanze entscheidend sind, muß die Knospenresistenz der Pflanzen für die Beurteilung der Spätfrostresistenz die größere Bedeutung haben. In *Abbildung 3-2* ist die Knospenresistenz der Herkünfte bei den Frühjahrstestterminen graphisch dargestellt.

Aus *Tabelle 3-3* gehen die Mittelwerte der Nadel- bzw. Knospenresistenz bei dem Test am 6. April hervor. Herkunft Matlock (350—500 m), die bei der Herbst- und Winterresistenzprüfung eine relativ geringe Frosthärte zeigte, wies bei diesem Test die höchste Frostresistenz der Knospen auf. Auch die Pflanzen aus der niedrigsten Lage (350—500 m) der Herkünfte Darrington und Randle waren gut resistent. Die oberen — aber insbesondere die mittleren Lagen (500—600 m) — zeigten eine geringere Resistenz. Signifikante Unterschiede zwischen den Höhenlagen 350—500 m und 500—650 m lassen sich bei beiden Herkünften (Darrington und Randle) für die Knospenresistenz nachweisen.

Die Resistenzprüfung am 7. Mai erfolgte in der empfind-

Tabelle 3-3. — Frostresistenz (LT50 in °C) am 6. April  
Frost hardiness (LT50 in °C) on the 6th of April

Herkunft Provenance	Resistenz der Nadeln Hardiness of the needles LT50 (°C)	Herkunft Provenance	Resistenz der Knospen Hardiness of the buds LT50 (°C)
S	-16.9	M	-16.9
R1	-16.3	S	-16.3
M	-16.0	R1	-16.3
D5	-15.5	R3	-15.6
R3	-15.3	D1	-13.9
D3	-15.0	D5	-13.4
D1	-15.0	R2	-13.3
R4	-14.8	R4	-13.3
D2	-14.5	D3	-12.5
D4	-14.3	D4	-12.3
R2	-12.8	D2	-11.7

Tabelle 3-4. — Frostresistenz (LT50 in °C) am 7. Mai  
Frost hardiness (LT50 in °C) on the 7th of May

Herkunft Provenance	Resistenz der Nadeln Hardiness of the needles LT50 (°C)	Herkunft Provenance	Resistenz der Knospen Hardiness of the buds LT50 (°C)
S	— 8.4	M	— 5.9
R4	— 7.1	D1	— 5.3
M	— 7.0	D5	— 4.5
D5	— 7.0	R1	— 4.5
D4	— 6.8	D3	— 4.4
R3	— 6.6	D4	— 4.3
D1	— 6.4	R4	— 4.3
D3	— 6.0	R3	— 4.2
R2	— 6.0	R2	— 4.0
R1	— 5.8	D2	— 3.9
D2	— 5.3	S	— 3.3

lichsten Phase, zum Zeitpunkt der beginnenden Knospenöffnung. Ähnlich wie am 6. April zeigte Herkunft Matlock die höchste Knospenresistenz (LT50 = —5.9° C), während Salmon Arm (inneres Br. Columbia) die empfindlichsten Knospen aufwies (LT50 = —3.3° C).

Bei den verschiedenen Höhenlagen der Herkunft Darrington und Randle waren die niedrigsten Lagen (350—500 m) am resistentesten (Knospen), die Hochlagen mäßig bis gut resistent, aber wiederum zeigten die mittleren bis unteren Lagen (500—650) die geringste Resistenz. Beispielsweise wiesen die Knospen der Herkunft Darrington 500—650 m sich als signifikant frostempfindlicher gegenüber sowohl Darrington 350—500 als auch Darrington 950—1100 m aus. Die Unterschiede bei Herkunft Randle sind dagegen statistisch nicht signifikant.

#### 4. Diskussion

Wie schon früher (LARSEN 1978) beobachtet, besteht auch eine sehr enge Übereinstimmung zwischen der Früh- und der Winterfrostresistenz der getesteten Herkünfte, daher können die Ergebnisse der Resistenztests im Herbst und Winter gemeinsam besprochen werden.

Die hier festgestellte sehr hohe Früh- und Winterfrostresistenz der Herkunft aus dem Inneren von Br. Columbia (Salmon Arm) und die größere Empfindlichkeit der Kaskadenherkünfte (Darrington und Randle) stimmen sehr gut überein mit ähnlichen Untersuchungen an den IUFRO-Herkünften (LARSEN 1978), sowie mit den Ergebnissen von WRIGHT *et al.* (1971), SAKAI und WEISER (1973) und STERN *et al.* (1974). Die Bedeutung der Höhenlage für die Früh- und Winterfrostresistenz scheint dagegen im Vergleich mit früheren Arbeiten von etwas komplizierterer Art zu sein: LARSEN (1978) konnte eine lineare Zunahme der Frühfrostresistenz mit zunehmender Höhe des Herkunftsortes über NN feststellen. Dementsprechend fanden HERMANN und LAVENDER (1968) einen früheren Wachstumsabschluß mit zunehmender Höhenlage bei verschiedenen Herkünften aus Oregon. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen auch eine Zunahme der Resistenz mit zunehmender Höhenlage bei Herkunft Darrington wie auch bei Herkunft Randle, aber dieser Trend wird erst oberhalb etwa 600 m ü. NN sichtbar. Die tiefsten Lagen sind jedoch bei beiden Herkünften besonders frühfrostresistent und zeigen auch eine relativ gute Winterfrostresistenz.

Die Ergebnisse der Spätfrostresistenzprüfung, die besonders bei den Knospen am 7. Mai (während des Austreibens) sichtbar werden, zeigen, wie schon CHING und BEVER (1960), KAPPEN (1968) und WRIGHT *et al.* (1971) beobachtet haben, die sehr geringe Spätfrostresistenz der Herkunft aus dem Inneren von Br. Columbia (Salmon Arm). Daß die Herkunft

Matlock, aus dem Tiefland südlich der Olympic Mountains, eine sehr hohe Spätfrostresistenz aufweist, deckt sich ganz mit LARSEN (1978).

Eine Erklärung der relativ hohen Früh- und Spätfrostresistenz der Tieflagen Darringtons und Randles (350—500 m) muß wahrscheinlich, wie schon bei LARSEN (1978) diskutiert, in der Bedeutung der Topographie für die Frequenz von Früh- und Spätfrösten gesucht werden. Die Provenienzen aus den Tälern sind wahrscheinlich dem Abfließen von Kaltluft aus den umgebenden Gebirgen (Mount Rainier bei Randle, Glacier Peak bei Darrington und Olympic Mountains bei Matlock) und noch mehr dem Kaltluftstau im Frühjahr und im Herbst ausgesetzt. Es kann daher eine Selektion zugunsten sowohl des Wachstums früh abschließender als auch spät austreibender Phänotypen erfolgt sein. Die signifikant höhere Spätfrostresistenz der Herkunft Packwood 300 m ü. NN (IUFRO Nr. 1084) gegenüber Packwood 660 m ü. NN (IUFRO Nr. 1083), die von LARSEN (1978) beobachtet wurde, könnte diese Hypothese unterstützen. (Packwood liegt im gleichen Tal wie Randle, aber etwa 20 km östlich davon.)

Die nachgewiesenen Unterschiede in der Frostresistenz im Bereich von etwa 200 bis 300 m Höhendifferenz sind unmittelbar schwer zu erklären, wenn man an die Migrationsraten von Pollen und Samen denkt. Man muß jedoch berücksichtigen, daß die Douglasie eine typische Pionierbaumart ist, und daß die meisten autochthonen Erntebestände nach größeren Katastrophen (die Douglasie verjüngt sich großflächig besonders gut nach einem Waldbrand) entstanden sind. Auf solchen kahlen Brand- oder Windwurfflächen treten verstärkt Unterschiede im Mikroklima auf, die auf die topographischen Verhältnisse (Berge, Täler, Exposition, Hangneigung) zurückzuführen sind; Verhältnisse, die in diesem Gebiet der Kaskadengebirge besonders stark variieren.

Auch bei anderen Baumarten sind Höhenlagenvariationen beobachtet worden. Beispielsweise fanden CALLAHAM und LIDDICOET (1961) eine Differenzierung im Wachstum bei *Pinus ponderosa* von verschiedenen Höhenlagen im nordkalifornischen Teil der Sierra Nevada.

Die in dieser Arbeit beobachteten Unterschiede in der Frostresistenz zwischen verschiedenen Höhenlagen des gleichen Herkunftsgebietes weisen auf die Bedeutung der kontrollierten Ernten hin. Pauschale Herkunftsempfehlungen wie zum Beispiel: „Westabfall der Kaskaden bis zur Höhenlage von 600 m“ scheinen fragwürdig, weil gerade die Pflanzen aus niedrigen Hanglagen 500—650 m sich in diesen Untersuchungen sowohl bei Darrington als auch bei Randle in allen Frostresistenzigenschaften als besonders

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

### Literatur

CALLAHAM, R. Z., and LIDDICOBT, 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 DIMPFELMEIER, 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. Pharmacol.* 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