

ARBEITSBERICHT

Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im globalen Wandel: Strategie für eine integrierte Wirkungsanalyse und Bewertung

Arbeitsbericht des Instituts für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung

Nr. 2002/1



**Bundesforschungsanstalt
für Forst- und Holzwirtschaft**

Wälder und Forstwirtschaft Deutschlands im globalen Wandel: Strategie für eine integrierte Wirkungsanalyse und Bewertung

Teilprojekt 4: Genetische Anpassungsfähigkeit der wichtigsten
Waldbaumarten in Deutschland

Kurztitel: Genetische Anpassungsfähigkeit

Förderkennzeichen: 01 LK 9531/4

Abschlussbericht

über die Projektperiode 01.08.1997 - 30.06.2000

Projektleiter: Dr. F. Scholz

Berichtersteller: Dr. M. Liesebach

Hamburg, Januar 2002

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg
Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung

Sieker Landstraße 2

22927 Großhansdorf

Tel: 04102 / 696-0

Fax: 041020 / 696-200

Email: inst2g@holz.uni-hamburg.de

Internet: <http://www.bfafh.de>

Zusammenfassung

Ziel des Teilvorhabens ist es, Aussagen über Angepaßtheit und Anpassungsfähigkeit von europäischen Fichten- und Buchenpopulationen hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen zu treffen. Angepaßtheit als Zustand und Anpassungsfähigkeit als Potential von Waldbaumpopulationen gründen sich auf deren genetischer Ausstattung. Folgende Teilzeile wurden im Verlauf des Teilprojektes 4 bearbeitet:

1. Zur Integration der genetisch determinierten individuellen Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle des Verbundprojekts (**Teilziel 1**) wurden Daten aus dem Internationalen IUFRO Provenienzversuch von 1964/68 mit Fichte (s. 4.1) für Sensitivitätsuntersuchungen im Zuge von Simulationen der natürlichen Waldentwicklung (Teilprojekt 2) bereitgestellt. Der Datensatz wurde auch dem Teilprojekt 3 zur Verfügung gestellt, um für die Differenzierung von Wachstumskurven nach Provenienzen eingesetzt zu werden.
2. Zur Verbesserung der Kenntnisse über die Angepaßtheit der Baumpopulationen an bestimmte klimatische Bedingungen (**Teilziel 2**) wurden Daten aus internationalen Buchen- und Fichten-Provenienzversuchen des Instituts ausgewertet.
Ein **Buchen**-Provenienzversuch mit 2 Klimavarianten (Gewächshaus/Freiland) (s. 4.2.2.1) ergab einen früheren und sich über einen längeren Zeitraum hinziehenden Austrieb bei der 'wärmeren' Versuchsvariante. Dies läßt eine Spätfrostgefährdung bei Erwärmung erwarten und zwar je nach Provenienz unterschiedlich. Bei Verfrachtung kontinentaler bzw. atlantischer Buchenprovenienzen an einen subatlantischen Standort weisen sowohl die kontinentalen als auch die atlantischen Herkünfte eine höhere Mortalität als Herkünfte aus dem Zentrum des Verbreitungsgebiets auf.

In einem weiteren Gewächshausversuch mit Buche (s. 4.2.1.2) wurde die Reaktion von von verschiedenen Provenienzen auf erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentration untersucht. Die untersuchten Blattparameter reagierten nur bei voller Strahlung auf erhöhte CO₂-Konzentration in der Luft. Es wird gefolgert, daß schattige Bedingungen am Waldboden die Konkurrenz zwischen der Buche und anderen Baumarten verschärfen und zu einer weiteren Stärkung der Buche in ihrem Verbreitungsgebiet führen können. Ein steigender Blattflächenindex der Bestände infolge erhöhter Stoffproduktion bedeutet eine gesteigerte transpirierende Oberfläche des Bestandes, das heißt, der Wasserverbrauch der Bestände steigt an.

Drei deutsche und eine ungarische Versuchsfläche aus dem Internationalen **Fichten-Provenienzversuch** (s. 4.2.2) können als ein experimentelles Modell angesehen werden, welches die prognostizierten Klimaänderungen simuliert. Zwischen den deutschen Versuchsflächen liegt eine Differenz in der mittleren Jahresdurchschnittstemperatur vor, der einer Erwärmung von +0,7 bzw. +1,8°C entspricht. Auf der ungarischen Versuchsfläche sind die Temperaturextreme stärker ausgeprägt als auf den deutschen Flächen. Die Ergebnisse aus den Fichten-Provenienzversuchen zeigen (s. 4.2), daß es bei einer Kontinentalisierung des Klimas zwischen den Herkünften Unterschiede im Wachstum und in den Überlebensraten an einem Standort gibt. Die Provenienzen zeigen eine unterschiedliche Anpassungsfähigkeit, einige sind an alle Versuchsorten angepaßt, während andere nur unter speziellen Standortbedingungen gut gedeihen.

3. Für die Abschätzung der möglichen Genverarmung und damit der Reduzierung von adaptiven genetischen Potentialen bei den zu erwartenden Verschiebungen der Vegetationszonen (**Teilziel 3**) wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem das Wachstum eines Bestandes mit bekannter genetischer Struktur unter unterschiedlichen Standortbedingungen mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 (Teilprojekt 3) simuliert wird. Für die am Ende der Simulationsläufe jeweils vorhandenen Bäume werden populationsgenetische Maße mit dem Macro-Paket MacGen berechnet. Die abschließend durchgeführten multiplen Mittelwertsvergleiche der populationsgenetischen Maße erlauben die Abschätzung einer möglichen Genverarmung, allerdings begrenzt auf Isoenzym-Genmarker.
4. Zur Einschätzung und Charakterisierung der evolutionären Anpassungsfähigkeit der Baumpopulationen (**Teilziel 4**) wurde das populationsgenetischen Simulationsmodells ÖKÖ-GEN fertiggestellt (s. 4.4). Es ist mit einem Benutzerhandbuch und Beispieldatensätzen im Internet verfügbar.

0. Gliederung

| | |
|--|-----------|
| 1. Allgemeine Angaben | 4 |
| 2. Ziele des Teilvorhabens | 4 |
| 3. Darstellung des Forschungsablaufes | 4 |
| 4. Wichtigste Resultate des Teilprojektes 4 | 6 |
| 4.1 Integration genetischer Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle | 6 |
| 4.2 Angepaßtheit an veränderte Klimabedingungen (regulatorisch) | |
| 11 | |
| 4.2.1 Buchen-Provenienzversuche | 11 |
| 4.2.1.1 Einfluß von Standortunterschieden, insb. Temperaturunterschieden | 11 |
| 4.2.1.1.1 Versuchsaufbau | 11 |
| 4.2.1.1.2 Klimakennwert: Temperatur | 12 |
| 4.2.1.1.3 Variation im phänologischen Merkmal Austrieb | 13 |
| 4.2.1.1.4 Austriebsverhalten | 14 |
| 4.2.1.1.5 Austrieb und Temperatur | 17 |
| 4.2.1.1.6 Überlebensrate | 19 |
| 4.2.1.1.7 Anteil geschädigter Bäume | 20 |
| 4.2.1.1.8 Höhenwuchs | 21 |
| 4.2.1.1.9 Schlußfolgerung | 21 |
| 4.2.1.2 Einfluß eines erhöhten CO ₂ -Gehalts in der Luft | 22 |
| 4.2.1.2.1 Versuchsaufbau und Ergebnisse | 23 |
| 4.2.1.2.2 Schlußfolgerung | 25 |
| 4.2.2 Fichten-Provenienzversuche | 25 |
| 4.2.2.1 Angaben zu den untersuchten Fichten-Provenienzversuchen | 26 |
| 4.2.2.2 Überlebensrate und Wachstumsentwicklung aller Herkünfte des Blocks 7 | 28 |
| 4.2.2.3 Einfluß von Herkunftsverfrachtungen | 29 |
| 4.2.2.3 Entwicklung ausgewählter Herkünfte der Zone „Vorberge der Alpen“ | 32 |
| 4.2.2.4 Wertung | 35 |
| 4.3 Abschätzung möglicher Genverarmung bei Verschiebung von Vegetationszonen | 36 |
| 4.4 Einschätzung der evolutionären Anpassungsfähigkeit | 36 |
| 5. Verwertungshinweis | 40 |
| 5.1 Publikationen | 41 |
| 5.2 Vorträge | 41 |
| 5.3 Poster | 42 |

1. Allgemeine Angaben

Zuwendungsempfänger: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft,
Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg
Projektleiter: Direktor und Professor Dr. F. Scholz
Projektbearbeiter: Dr. M. Liesebach,
Dr. B. Degen (bis 09.98)

2. Ziele des Teilvorhabens

Ziel des Teilvorhabens ist es, Aussagen über **Angepaßtheit** und **Anpassungsfähigkeit** von europäischen Fichten- und Buchenpopulationen hinsichtlich der prognostizierten Klimaänderungen zu treffen. Angepaßtheit als Zustand und Anpassungsfähigkeit als Potential von Waldbaumpopulationen gründen sich auf deren genetischer Ausstattung. Folgende Teilzeile sollen im Verlauf des Teilprojektes 4 erreicht werden:

Teilziel 1: Integration der genetisch determinierten individuellen Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle des Verbundprojekts (Teilprojekte 1/2, Teilprojekt 3).

Teilziel 2: Verbesserung der Kenntnisse über die Angepaßtheit der Baumpopulationen an bestimmte klimatische Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf eine Verschiebung von Vegetationszonen.

Teilziel 3: Abschätzung der möglichen Genverarmung und damit der Reduzierung von adaptiven genetischen Potentialen bei den zu erwartenden Verschiebungen der Vegetationszonen.

Teilziel 4: Einschätzung und Charakterisierung der regulatorischen und der evolutionären Anpassungsfähigkeit der Baumpopulationen in den klimatischen Schlüsselregionen und Aussagen über die Bestandessicherheit.

3. Darstellung des Forschungsablaufes

Zur Bearbeitung der ersten drei Teilziele werden in erster Linie Daten von Merkmalen (u. a. Phänologie, Mortalität, Wachstum) aus den verschieden älteren Herkunfts- und Klonversuchen, die mit einer Vielzahl von Herkünften bzw. aus dem Verbreitungsgebiet der Baumarten Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) in unterschiedlichen Umwelten angelegt wurden, ausgewertet.

Zur Integration der genetisch determinierten individuellen Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle des Verbundprojektes wurden die Wachstumsdaten einer Versuchsfläche des Internationalen IUFRO Provenienzversuchs von 1964/68 mit Fichte in Nordrhein-Westfalen (Gervershagen) aufbereitet. Die Wachstumsdaten von 100 Provenienzen wurden für Sensitivitätsanalysen in den Simulationsmodellen der Teilprojekte 1/2 und Teilprojekt 3 bereitgestellt. (Teilziel 1)

Zur Verbesserung der Kenntnisse über die Anpassungsfähigkeit der Baumpopulationen an bestimmte klimatische Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf eine Verschiebung von Vegetationszonen wurden Buchen- und Fichten-Provenienzversuche ausgewertet. Anpassungsfähigkeit äußert sich in dem Vermögen der Provenienzen, am Standort mit anderen Klimawerten als am Ursprungsort zu überleben, zu wachsen und schließlich auch zu reproduzieren. Die Ergebnisse zeigen, daß Veränderungen des Klimaregimes verstärkt die Beobachtung der Wachstumsrhythmen erfordern. (Teilziel 2)

Für die Abschätzung der möglichen Genverarmung und damit der Reduzierung von adaptiven genetischen Potentialen bei den zu erwartenden Verschiebungen der Vegetationszonen wurde aus institutseigenen Datensätzen ein 25jähriger Modellbestand generiert. Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA (Teilprojekt 3) wurde das Wachstum unter unterschiedlichen Standortbedingungen über 75 Jahre bis zum Alter von 100 Jahren simuliert. Für die am Ende eines Simulationslaufs jeweils vorhandenen Bäume wurden populationsgenetische Maße mit dem Macro-Paket MacGen berechnet. Anschließend wurden multiple Mittelwertsvergleiche sowohl der Wachstumsdaten als auch der populationsgenetischen Maße zwischen den einzelnen Standorten angeschlossen. (Teilziel 3)

Für das vierte Teilziel wurde von B. DEGEN das Simulationsmodell OEKO-GEN fertiggestellt, mit dem genetische Strukturen und Anpassungsprozesse in genetisch inventarisierten Baumpopulationen simuliert werden. Von den derzeit bekannten und hier verwendeten genetischen Markern ist vielfach deren Bedeutung im Organismus nicht bekannt. In dem Simulationsmodell gehen Wirkungen der Umwelt direkt (z. B. Wind: bei der Verbreitung von Pollen und Samen; Licht: Einfluß der Kronenüberschirmung auf das Wachstum) und zum großen Teil indirekt über aggregierte Größen (z. B. unterschiedliche Viabilitäten und Fertilitäten von Genotypen bei unterschiedlichen Umweltbedingungen) ein. (Teilziel 4)

4. Wichtigste Resultate des Teilprojektes 4

4.1 Integration genetischer Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle

Zur Integration der genetisch determinierten individuellen Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle des Verbundprojektes wurde eine bereits existierende Zusammenstellung von Lage- und Streuparametern zur genetischen Variation quantitativer Merkmale (DEGEN¹, 1997) um weitere Befunde aus Varianzanalysen bei Herkunftsversuchen mit Fichte und Buche ergänzt. Die Zusammenstellung umfaßt die Ergebnisse von 106 Varianzanalysen von Versuchen mit Klonen und 120 Varianzanalysen von Versuchen mit Herkünften aus veröffentlichten Daten und aus Berechnungen von bisher unveröffentlichten Daten des Instituts. Analysiert wurden hierbei die Variation von Ast-, Nadel-, Knospen-, Holz- und Wachstumsmerkmalen, phänologischen Merkmalen, Vitalität, Nährelementgehalt sowie Merkmalen aus dem Bereich Photosynthese und weitere.

Tabelle 1: Zusammenstellung von Befunden aus 226 Varianzanalysen von Klon- und Herkunftsversuchen

| | Klonversuche | Herkunftsversuche |
|--|---|---|
| Anzahl Varianzanalysen | 106 | 120 |
| Baumarten | Fichte, Kiefer | Fichte, Kiefer, Tanne, Buche |
| Alter | 4 – 30 Jahre | 3 – 40 Jahre |
| Test-Umwelten | 1 - 12 | 1 – 4 |
| Pflanzenmaterial | 6 – 500 Klone | 4 – 45 Herkünfte |
| Merkmale | Astmerkmale, Nadelmerkmale, Knospenmerkmale, Holzmerkmale, Austrieb, Wachstum (Höhe, Durchmesser), Wachstumsverlauf, Vitalität, Nährelementgehalt, Chlorophyllgehalt, Leitfähigkeit, Transpiration, Photosynthese | |
| <i>Genetische Komponente der phänotypischen Varianz</i> | <i>je nach Merkmal zwischen 1,6 % und 98 %</i> | <i>je nach Merkmal zwischen 1,6 % und 56 %</i> |

In 79% der erfaßten 226 Varianzanalysen ist der Einfluß der genetischen Komponente mindestens auf dem 5% Niveau signifikant (Tabelle 1). Die genetischen Unterschiede zwischen den Klonen erklären im Mittel über alle Varianzanalysen 39% der gesamten Variation der Merkmale. Die genetische Komponente an der Gesamtvariation variiert in Abhängigkeit vom jeweiligen Merkmal und den jeweiligen Versuchsbedingungen zwischen 1,6% und 98%.

Im Mittel über alle Varianzanalysen mit Angaben über die Varianzkomponente Herkunft erklären genetische Unterschiede zwischen verschiedenen Herkünften 16% der beobachteten

Gesamtvarianz. Die Varianzkomponente Herkunft variiert hierbei in Abhängigkeit vom jeweiligen Merkmal und den jeweiligen Versuchsbedingungen zwischen 0,2% und 56%.

Aus dem Vergleich zwischen den Varianzanalysen bei Klon- und Herkunftsversuchen wird deutlich, daß individuelle genetische Unterschiede innerhalb von Herkünften zumeist wesentlich stärker als genetische Unterschiede zwischen verschiedenen Herkünften für die jeweils beobachtete Variation eines Merkmals verantwortlich ist.

Bei sehr vielen Versuchen befindet sich bereits innerhalb einer Population der größte Teil der gesamten Variation der Merkmalsausprägung. Dieser Sachverhalt gilt jedoch nicht für Merkmale, die eine lokale Anpassung der Population kennzeichnen (z. B. Austrieb, Wachstumsverlauf).

Zur Integration der genetisch determinierten individuellen Variation in die Wachstums- und Sukzessionsmodelle des Verbundprojektes wurden die Wachstumsdaten einer Versuchsfläche des Internationalen IUFRO Provenienzversuchs von 1964/68 mit Fichte in Nordrhein-Westfalen (Gervershagen) aufbereitet und bereitgestellt. Die Versuchsfläche Gervershagen liegt im forstlichen Wuchsgebiet *Bergisches Land*. Weitere Kenndaten zur Versuchsfläche sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Standortkartierung hat für die gesamte Fläche als Bodentyp einen Parabraunerde-Pseudogley ausgewiesen.

Tabelle 2: Angaben zu Lage und Klima auf der Versuchsfläche Gervershagen

| | |
|---|-----------|
| geographische Länge | 7° 34' E |
| geographische Breite | 51° 04' N |
| Höhe ü. NN | 400 m |
| mittl. Durchschnittstemperatur: | |
| im Jahr | 7,8 °C |
| in der Vegetationsperiode (Mai - Sept.) | 14,0 °C |
| Temperaturspanne (Jan. - Juli) | 16,4 °C |
| Anzahl der Tage mit mindestens 10°C | 150 |
| durchschnittlicher Niederschlag: | |
| im Jahr | 1274 mm |
| in der Vegetationsperiode (Mai - Sept.) | 510 mm |

Auf der Versuchsfläche werden 100 Provenienzen getestet, die aus dem gesamten Verbreitungsgebiet der Fichte stammen. Zur vereinfachten graphischen Darstellung wurden die Provenienzen in geographische Zonen mit ähnlichen klimatischen Bedingungen nach DIETRICHSON und SKRØPPA² (1977) zusammengefaßt. 6 Provenienzen insbesondere aus dem

nordöstlichen Verbreitungsgebiet sind keiner Zone zugeordnet. In Abbildung 1 sind die Zonen und die Anzahl der darin zusammengefaßten Provenienzen wiedergegeben.

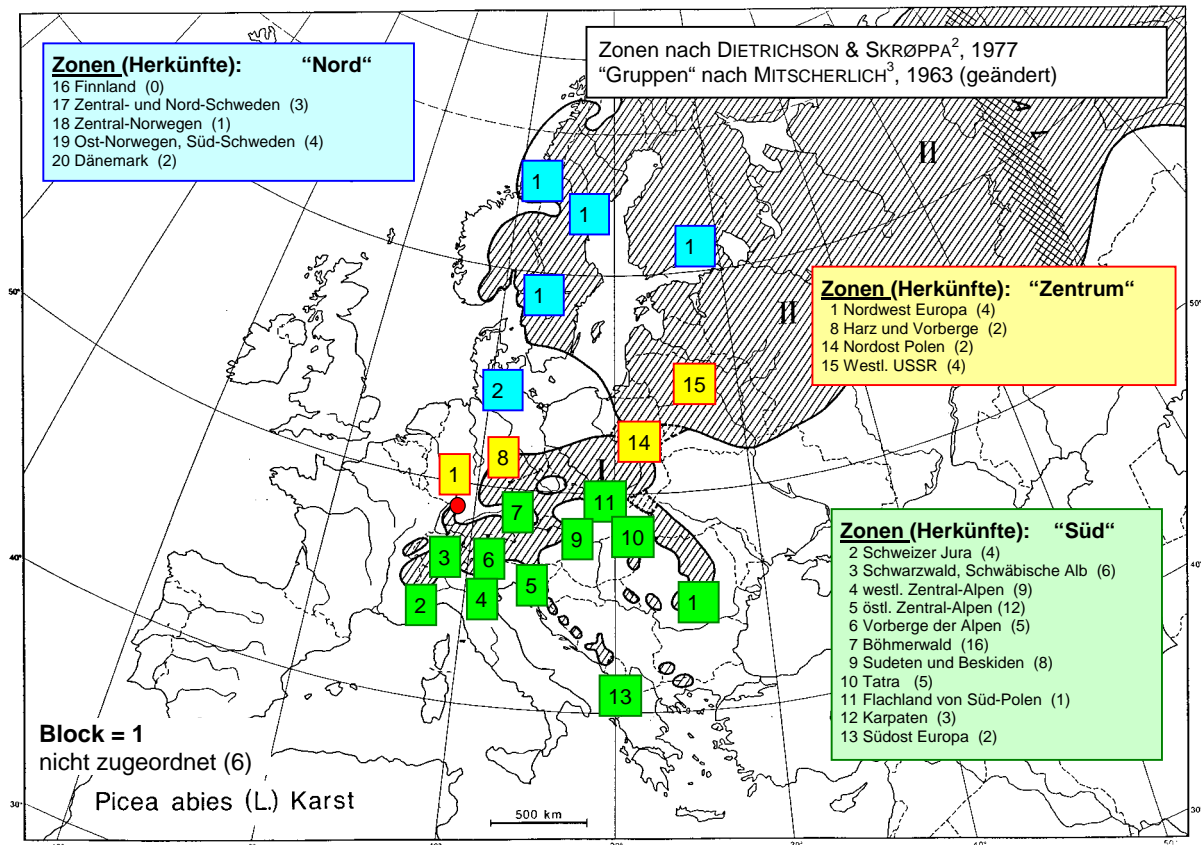


Abbildung 1: Natürliches Verbreitungsgebiet der Fichte (nach SCHMIDT-VOGT⁴, 1974) und Einsammlungsort der Provenienzen zusammengefaßt in geographischen Zonen. Versuchsort = roter Punkt.

Für die 100 Provenienzen liegen Meßdaten der Baumhöhe im Alter von 5, 7, 10, 13 und 16 Jahren sowie des Durchmessers in 1,3 m Höhe (BHD) im Alter von 16, 21 und 29 Jahren einzelbaumweise vor. Aus der Differenz zwischen der Anzahl der abgestorbenen Bäumen und den noch vorhandenen lassen sich Überlebensraten je Provenienz errechnen. Für das Alter 29 sind je Provenienz die Überlebensraten und das Durchmesserwachstum (Mittelwert und Variationskoeffizient) in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Angaben zu den Provenienzen der Versuchsfläche Gervershagen (HERK = Nr. der IUFRO-Provenienz; ZONE = s. Abb. 1; GEBR = geogr. Breite; GELA = geogr. Länge; HOHE = Höhe ü.NN; ND92 = Stammzahl 1992 SD92 = Überlebensrate 1992; MD92 = mittl. BHD 1992; CV = Variationskoeffizient)

| HERK | ZO | LA | NE | ND | NAME | GEBR | GELA | HOHE | ND 92 | SD 92 | MD92 | CV |
|------|----|----|----|----|--------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|------|
| 0101 | 1 | D | | | STRYCK, SONDERHERKUNFT | 51.3 | 8.7 | 550 | . | . | . | . |
| 0160 | 1 | PL | | | OBLEZE | 54.3 | 17.0 | 75 | 18 | 90 | 16.1 | 0.24 |
| 0179 | 1 | D | | | WALSRODE | 52.9 | 9.6 | 50 | 20 | 100 | 16.0 | 0.34 |
| 0193 | 1 | D | | | HAGENOW | 53.3 | 11.0 | 100 | 19 | 95 | 16.9 | 0.23 |
| 0199 | 1 | D | | | RAMSPAU | 49.0 | 9.0 | 500 | 19 | 95 | 16.0 | 0.20 |
| 0112 | 2 | CH | | | BEDRETTO, AIROLO | 46.5 | 8.5 | 1500 | 13 | 68 | 9.8 | 0.23 |
| 0116 | 2 | CH | | | PIANA SELVA, FAIDO | 46.5 | 8.8 | 980 | 16 | 89 | 13.3 | 0.28 |
| 0119 | 2 | F | | | ESSERVAL-TARTRE | 46.8 | 6.1 | 820 | 16 | 80 | 11.1 | 0.38 |
| 0170 | 2 | F | | | LANTOSQUE | 44.0 | 7.3 | 1500 | 12 | 60 | 10.3 | 0.14 |
| 0103 | 3 | D | | | SCHUSSENRIED | 48.0 | 9.7 | 600 | 16 | 80 | 15.0 | 0.33 |
| 0113 | 3 | D | | | LICHTENSTEIN | 48.4 | 9.2 | 800 | 18 | 90 | 16.7 | 0.25 |
| 0114 | 3 | D | | | BLUMBERG | 47.8 | 8.5 | 800 | 14 | 74 | 15.9 | 0.27 |
| 0149 | 3 | D | | | FREUDENSTADT (GEM. SCHOEMBERG) | 48.3 | 8.5 | 500 | 20 | 100 | 15.3 | 0.18 |
| 0185 | 3 | D | | | DONAUESCHINGEN | 48.0 | 8.5 | 750 | 17 | 85 | 15.0 | 0.31 |
| 0197 | 3 | D | | | BALINGEN | 48.3 | 8.9 | 800 | 17 | 85 | 16.2 | 0.28 |
| 0108 | 4 | A | | | SOELL | 47.5 | 12.2 | 740 | 18 | 90 | 16.8 | 0.26 |
| 0110 | 4 | A | | | MATREI | 47.0 | 12.5 | 1650 | 19 | 95 | 14.4 | 0.26 |
| 0115 | 4 | A | | | OBERES LECHTAL | 47.2 | 10.1 | 1400 | 19 | 95 | 16.5 | 0.18 |
| 0122 | 4 | A | | | ST. VEIT/PONGAU | 47.3 | 13.2 | 860 | 17 | 89 | 17.0 | 0.25 |
| 0124 | 4 | D | | | REICHENHALL-NORD | 47.7 | 12.9 | 800 | 17 | 85 | 14.2 | 0.24 |
| 0125 | 4 | D | | | REIT IM WINKEL | 47.7 | 12.5 | 1130 | 17 | 85 | 14.6 | 0.28 |
| 0127 | 4 | D | | | GARMISCH | 47.5 | 11.1 | 1100 | 19 | 95 | 12.9 | 0.33 |
| 0135 | 4 | A | | | GROSSARL | 47.2 | 13.2 | 1350 | 17 | 85 | 15.1 | 0.33 |
| 0189 | 4 | D | | | KUERNACH | 47.7 | 10.2 | 800 | 17 | 85 | 14.8 | 0.28 |
| 0102 | 5 | A | | | GURKER-SIRNITZWALD | 46.8 | 14.1 | 900 | 19 | 95 | 15.1 | 0.27 |
| 0104 | 5 | A | | | FROESCHNITZ | 47.6 | 15.8 | 900 | 19 | 95 | 16.0 | 0.27 |
| 0130 | 5 | A | | | LESSACH, 132 | 47.2 | 13.9 | 1600 | 16 | 80 | 15.1 | 0.23 |
| 0133 | 5 | A | | | MURAU | 47.1 | 14.1 | 740 | 19 | 95 | 17.4 | 0.30 |
| 0137 | 5 | A | | | TAMSWEG/SALZBURG | 47.1 | 13.8 | 1100 | 18 | 90 | 16.1 | 0.30 |
| 0140 | 5 | A | | | LEIBNITZ | 46.8 | 15.6 | 325 | 20 | 100 | 16.1 | 0.26 |
| 0153 | 5 | A | | | SEEWIESEN, SEEBERG | 47.6 | 15.3 | 1200 | 17 | 85 | 12.2 | 0.32 |
| 0154 | 5 | H | | | MAGYARLAK 2 A | 47.0 | 16.4 | 270 | 17 | 85 | 15.0 | 0.31 |
| 0157 | 5 | A | | | BUCHBERG, FLACHWALD | 47.5 | 15.2 | 1300 | 18 | 90 | 13.2 | 0.27 |
| 0190 | 5 | A | | | BUERGERWALD | 47.4 | 15.2 | 1000 | 19 | 95 | 16.6 | 0.20 |
| 0196 | 5 | A | | | FLADNITZ-SCHREMS | 47.3 | 15.4 | 700 | 20 | 100 | 17.6 | 0.22 |
| 0198 | 5 | A | | | GROEBMING-WINKL | 47.5 | 13.9 | 800 | 16 | 84 | 14.4 | 0.26 |
| 0123 | 6 | D | | | MINDELHEIM | 48.1 | 10.5 | 500 | 17 | 89 | 15.8 | 0.21 |
| 0129 | 6 | D | | | WASSERBURG III/6B | 48.1 | 12.2 | 800 | 15 | 79 | 15.3 | 0.32 |
| 0138 | 6 | D | | | GROENENBACH | 47.9 | 10.2 | 800 | 17 | 85 | 15.4 | 0.23 |
| 0192 | 6 | D | | | CRAILSHEIM | 49.1 | 10.1 | 500 | 18 | 90 | 17.0 | 0.28 |
| 0195 | 6 | D | | | MEMMINGEN | 48.0 | 10.2 | 500 | 18 | 95 | 14.7 | 0.29 |
| 0100 | 7 | D | | | OBERHOF | 50.7 | 10.7 | 900 | 18 | 95 | 14.8 | 0.23 |
| 0105 | 7 | A | | | KLINGENBRUNN | 48.9 | 13.3 | 1000 | 20 | 100 | 16.0 | 0.25 |
| 0121 | 7 | D | | | TAENNESBERG | 49.5 | 12.3 | 550 | 18 | 90 | 18.2 | 0.22 |
| 0131 | 7 | CS | | | VLASIM-VOTICE | 49.6 | 14.7 | 600 | 18 | 95 | 16.5 | 0.20 |
| 0144 | 7 | CS | | | ROZMITAL POD TREMSINEM | 49.6 | 13.9 | 660 | 19 | 95 | 18.2 | 0.23 |
| 0161 | 7 | CS | | | HORSOVSKY TYN, KARLOVA HUT | 49.5 | 13.0 | 700 | 19 | 95 | 16.5 | 0.23 |
| 0165 | 7 | D | | | ST. OSWALD | 48.9 | 13.4 | 1200 | 15 | 75 | 11.3 | 0.34 |
| 0171 | 7 | CS | | | CERVENA RECICE-LUKAVEC | 49.5 | 15.2 | 610 | 19 | 95 | 15.7 | 0.22 |
| 0173 | 7 | D | | | RABENSTEIN | 49.1 | 13.2 | 1200 | 14 | 70 | 12.9 | 0.23 |

| | | | | | | | | | | |
|------|----|----|---------------------------------|------|------|------|----|-----|------|------|
| 0175 | 7 | D | ZWIESEL-WEST | 49.1 | 13.2 | 1000 | 17 | 85 | 14.7 | 0.24 |
| 0180 | 7 | D | ZWIESEL-OST VI/14, SCHLEICHERAU | 49.1 | 13.3 | 665 | 14 | 70 | 14.9 | 0.25 |
| 0181 | 7 | CS | PRACHATICE, CESKE ZLEBY | 48.9 | 13.8 | 850 | 18 | 90 | 15.4 | 0.30 |
| 0183 | 7 | D | ZWIESEL-OST | 49.1 | 13.3 | 1000 | 18 | 90 | 14.3 | 0.34 |
| 0184 | 7 | CS | NEPOMUK | 49.5 | 13.6 | 620 | 19 | 95 | 15.3 | 0.25 |
| 0188 | 7 | D | KLINGENBRUNN | 48.9 | 13.3 | 1000 | 18 | 90 | 15.4 | 0.25 |
| 0194 | 7 | CS | ZDARSKE VRCHY, CIKHAJ | 49.7 | 16.0 | 655 | 14 | 74 | 16.9 | 0.28 |
| 0118 | 8 | D | BAD GRUND 106 | 51.8 | 10.2 | 550 | 20 | 100 | 17.6 | 0.19 |
| 0177 | 8 | D | SIEBER | 51.7 | 10.5 | 700 | 17 | 85 | 17.5 | 0.29 |
| 0132 | 9 | PL | KLODZKO, 65 G | 50.5 | 16.7 | 350 | 16 | 80 | 16.8 | 0.23 |
| 0139 | 9 | CS | STERNBERK, HRUBA VODA | 49.8 | 17.3 | 560 | 19 | 95 | 16.8 | 0.30 |
| 0145 | 9 | CS | LUHACOVICE, LOUCKA | 49.2 | 17.8 | 350 | 20 | 100 | 15.3 | 0.25 |
| 0152 | 9 | CS | LUHACOVICE, STARY HROZENKOV | 49.2 | 17.8 | 500 | 17 | 94 | 15.8 | 0.20 |
| 0164 | 9 | CS | ZAMBERK, LETOHRAD | 50.2 | 16.5 | 550 | 20 | 100 | 15.9 | 0.27 |
| 0178 | 9 | CS | JESENIK - ZLATE HORY | 50.3 | 17.3 | 820 | 18 | 90 | 17.1 | 0.23 |
| 0186 | 9 | CS | BILOVEC, FULNEK | 49.8 | 18.0 | 410 | 18 | 95 | 16.7 | 0.25 |
| 0191 | 9 | CS | PROSTEJOV, DZBEL | 49.5 | 17.1 | 450 | 17 | 85 | 15.8 | 0.27 |
| 0117 | 10 | CS | JAVOROVA DOLINA 155 A | 49.3 | 20.2 | 1305 | 17 | 85 | 14.1 | 0.26 |
| 0147 | 10 | CS | CERVENA SKALA, 60 C/4 | 48.9 | 20.2 | 1000 | 20 | 100 | 16.7 | 0.29 |
| 0150 | 10 | CS | SVRCINA HRABUSICE | 49.0 | 20.2 | 700 | 19 | 95 | 16.7 | 0.26 |
| 0176 | 10 | CS | LIPTOVSKY HRADOK, BIELY VAH 8 E | 49.0 | 19.9 | 825 | 18 | 95 | 17.3 | 0.24 |
| 0187 | 10 | CS | KLASTOR POD ZNIEVOM, 320 A | 49.0 | 18.9 | 1100 | 16 | 80 | 14.9 | 0.22 |
| 0143 | 11 | PL | NEKLA | 52.4 | 17.4 | 88 | 20 | 100 | 17.5 | 0.31 |
| 0158 | 12 | R | BORCA, XV SABASA STING 16 | 47.1 | 25.8 | 675 | 17 | 85 | 17.0 | 0.34 |
| 0169 | 12 | R | DORNA CINDRENI, II ROSIA, 47 | 47.4 | 25.4 | 900 | 17 | 85 | 20.0 | 0.18 |
| 0172 | 12 | R | VALEA PUTNEI, 60 | 47.4 | 25.4 | 1285 | 19 | 95 | 19.8 | 0.20 |
| 0148 | 13 | BG | PARANGALITZA NR 1 | . | . | 1500 | 16 | 80 | 10.7 | 0.25 |
| 0182 | 13 | YU | JELAK-CERIPASINA, SAR PLANINA | 42.0 | 20.9 | 1700 | 6 | 32 | 9.0 | 0.44 |
| 0146 | 14 | PL | PUSZCZA BIALOWIESKA | 52.6 | 23.6 | 130 | 19 | 95 | 14.8 | 0.27 |
| 0156 | 14 | PL | BORKI | 54.1 | 22.2 | 165 | 18 | 95 | 16.6 | 0.19 |
| 0106 | 15 | SU | OSTROVSK | 57.0 | 28.5 | 200 | 17 | 85 | 11.9 | 0.37 |
| 0111 | 15 | SU | BRICALOVIC | 53.3 | 28.7 | 160 | 17 | 85 | 15.4 | 0.22 |
| 0151 | 15 | SU | KULDIGA REVIER | 57.0 | 22.3 | 100 | 19 | 95 | 15.4 | 0.29 |
| 0163 | 15 | SU | SALDUS REVIER | 56.8 | 22.3 | 95 | 14 | 70 | 9.5 | 0.36 |
| 0134 | 17 | S | UMEAA OESTRA, ZON 1 | 63.9 | 19.9 | 150 | 7 | 37 | 8.9 | 0.33 |
| 0142 | 17 | S | OVIKEN BEV. | 63.0 | 14.1 | 350 | 4 | 20 | 10.5 | 0.23 |
| 0162 | 17 | S | ALBY BEV. | 62.5 | 15.4 | 280 | 8 | 40 | 9.0 | 0.40 |
| 0126 | 18 | N | ROAN OCH AAFJORD | 64.0 | 10.3 | 100 | 4 | 21 | 9.8 | 0.31 |
| 0128 | 19 | N | BOGSTAD, 1434 | 60.0 | 10.7 | 160 | 16 | 80 | 13.7 | 0.34 |
| 0159 | 19 | S | FROEJERED | 58.3 | 14.0 | 130 | 12 | 60 | 12.1 | 0.29 |
| 0167 | 19 | S | LAXAA | 59.0 | 14.6 | 75 | 16 | 80 | 13.6 | 0.30 |
| 0168 | 19 | S | LJUNGSNAES KRP | 57.5 | 13.4 | 175 | 14 | 70 | 12.3 | 0.22 |
| 0120 | 20 | S | RAMSAASA | 55.6 | 13.9 | 70 | 15 | 75 | 15.6 | 0.25 |
| 0155 | 20 | DK | GRAASTEN F. 334 | 54.9 | 9.4 | 65 | 19 | 95 | 16.5 | 0.25 |
| 0107 | . | SU | BRJANSK, ZUKOVSK | 53.3 | 33.7 | 150 | 17 | 85 | 14.2 | 0.28 |
| 0109 | . | SU | NJUBSK | 61.3 | 47.0 | 50 | 5 | 25 | 10.0 | 0.34 |
| 0136 | . | PL | RYCERKA | 49.5 | 19.1 | 700 | 18 | 90 | 17.3 | 0.28 |
| 0141 | . | CS | KEVELE | . | . | 530 | 18 | 90 | 17.4 | 0.25 |
| 0166 | . | SU | UDMURTSK, GLAZOV | 58.2 | 52.7 | 200 | 10 | 50 | 8.2 | 0.22 |
| 0174 | . | PL | WISLA, 54 A | 49.7 | 18.9 | 615 | 20 | 100 | 17.3 | 0.28 |

Die Überlebensraten variieren im Alter von 29 Jahren zwischen 100% (11 Provenienzen: 0179, 0149, 0140, 0196, 0105, 0118, 0145, 0164, 0147, 0143, 0174) und 20% (1 Provenienz: 0142 aus Schweden). Insgesamt haben die Provenienzen aus den zentral-europäischen Zonen die höchsten Überlebensraten (im Mittel über 75%), während für die Provenienzen aus den nördlichen Zonen sowie aus den Zonen 2 und 13 die geringsten Überlebensraten errechnet wurden.

Auch in der Durchmesser-Verteilung treten zwischen den Provenienzen große Unterschiede auf. Im Alter 29 variieren die mittleren Durchmesser je Provenienz zwischen 8,2 cm und 20,0 cm und die Variationskoeffizienten zwischen 0,18 und 0,44. Generell haben die im Mittel schwachwüchsigeren Provenienzen höhere Variationskoeffizienten.

Die Einzelbaumdaten dieser Versuchsfläche wurden für Sensitivitätsuntersuchungen im Rahmen von Simulationen der natürlichen Waldentwicklung (Teilprojekt 2) und für die Differenzierung von Wachstumskurven nach Provenienzen (Teilprojekt 3) bereitgestellt.

4.2 Angepaßtheit an veränderte Klimabedingungen (regulatorisch)

Zur Verbesserung der Kenntnisse über die Anpassungsfähigkeit der Baumpopulationen an bestimmte klimatische Bedingungen, insbesondere im Hinblick auf eine Verschiebung von Vegetationszonen wurden Buchen- und Fichten-Provenienzversuche ausgewertet.

Anpassungsfähigkeit äußert sich in dem Vermögen der Provenienzen, am Standort mit anderen Klimawerten als am Ursprungsort zu überleben, zu wachsen und schließlich auch zu reproduzieren. Die Ergebnisse zeigen, daß Veränderungen des Klimaregimes verstärkt die Beobachtung der Wachstumsrhythmen erfordern.

4.2.1 Buchen-Provenienzversuche

4.2.1.1 Einfluß von Standortunterschieden, insb. Temperaturunterschieden

4.2.1.1.1 Versuchsaufbau

Im Herbst 1995 wurde ein Versuch mit 2jährigen Sämlingen der Rotbuche, die aus 15 ausgewählten Herkünften stammen, die auch in den Feldversuchen des Internationalen Buchenherkunftversuchs 1993/95 angebaut wurden, auf dem Institutsgelände in Großhansdorf (Schleswig-Holstein: geographische Länge 10° 16', geographische Breite 53°40', Höhe 55-57 m ü. NN) angelegt. Tabelle 4 enthält Angaben zu den 15 Herkünften. Je 30 Bäume einer Herkunft wurden im Freiland, Folienhaus und Gewächshaus gepflanzt. An jedem der drei Standorte wurden der Versuch (Bu18d1 bis d3) mit 3 Wiederholungen à 10 Pflanzen angelegt.

Tabelle 4: Angaben zu den 15 ausgewählten Herkünften

| Herk. Nr. | SbNr. | Land | Herkunft | geogr. Länge | geogr. Breite | Höhe [m ü. NN] | mittl. Temp.* |
|-----------|-------|------|---------------------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|
| 1 | 8982 | E | Mte. Pelono | 5° 10' W | 43° 08' N | 1300 | 7°C |
| 3 | 8981 | E | Altube | 2° 53' W | 42° 59' N | 440 | 12°C |
| 8 | 9014 | F | F.D. de Crécy | 1° 53' E | 50° 15' N | 68 | 10°C |
| 11 | 9027 | F | F.D. des Charmettes | 2° 41' E | 45° 36' N | 900 | 7°C |
| 25 | 8974 | DK | Grasten | 9° 35' E | 54° 55' N | 50 | 8,1°C |
| 28 | 9035 | S | Ryssberget | 14° 36' E | 56° 05' N | 90 | 8°C |
| 29 | 8787 | D | Lensahn (SH) | 10° 06' E | 54° 12' N | 80 | 8,3°C |
| 69 | 8970 | D | Büdingen (HE) | 9° 07' E | 50° 17' N | 198 | 9°C |
| 83 | 8956 | D | Heinzebank (SN) | 13° 12' E | 50° 40' N | 540 | 5°C |
| 91 | 8765 | D | Elmstein-Süd (RP) | 7° 45' E | 49° 20' N | 440 | 9°C |
| 101 | 8998 | D | Kaufbeuren (BY) | 10° 35' E | 47° 55' N | 700 | 8°C |
| 120 | 8977 | PL | Brzeziny | 19° 36' E | 51° 50' N | 225 | 8°C |
| 145 | 8927 | RO | Beliu-Arad | 22° 09' E | 46° 29' N | 575 | 9,5°C |
| 155 | 8919 | RO | Fintinele-Bacau | 26° 28' E | 46° 25' N | 540 | 9,0°C |
| 159 | 8913 | BG | Gorno Sahrane | 24° 58' E | 42° 30' N | 900 | 6,9°C |

* langjähriges Mittel

Als Folge des ungewöhnlich strengen Winters 1995/96 wurde der Teilversuch im Folientunnel bereits im Frühjahr aufgegeben. Von den in Containern kultivierten Bäume treiben im Folientunnel nur wenige Bäume aus. Während der langen Frostperiode froren die Container durch, und der Frost schädigte das Wurzelwerk nachhaltig. Die wenigen überlebenden Pflanzen zeigten einen nicht typischen Austrieb. Die Knospen am Leittrieb und den Seitenzweigen trieben nicht aus. Lediglich aus Knospen und Ersatzknospen im unteren Bereich des Stammes entwickelten sich bei wenigen Bäumen Blätter, wie sie an Folgetrieben (Johannistrieben) im Laufe des Jahres beobachtet werden. Unterschiede dieser Frostempfindlichkeit zwischen den Herkünften ließen sich nicht nachweisen.

Die folgenden Ergebnisse berücksichtigen daher nur die beiden Standorte Gewächshaus und Freiland. Die Provenienzen variieren in der Ausprägung der Merkmale Austrieb, Überlebensrate, im Anteil der geschädigten Pflanzen und Höhenwuchs.

4.2.1.1.2 Klimakennwert: Temperatur

Die mittlere Temperatur des Jahres 1997 betrug im Freiland 8,2°C und im Gewächshaus 13,9°C. Die Temperatur im Freiland entspricht damit der des langjährigen Mittels der Herkunftsorte der Herkünfte Lensahn, Schleswig-Holstein (Nr. 29) und Grasten, Dänemark (Nr. 25) (vgl. Tab. 4).

Die Nachkommenschaften dieser beiden Herkünfte stammen aus Beständen, die am nächsten zum Versuchsort und in ähnlicher Höhenlage stehen. Wenn diese autochthone Bestände sind, ist davon auszugehen, daß sie an die klimatischen Verhältnisse angepaßt sind.

Die Tabelle 5 zeigt, daß in den Sommermonaten die Unterschiede zwischen Freiland und Gewächshaus am geringsten sind. Im August 1997 lag der Unterschied bei nur 2,8°C. Im Winter sind sie dagegen am größten, dies liegt daran, daß das Gewächshaus im Winter frostfrei gehalten werden muß und daß sich das Gewächshaus bei Sonneneinstrahlung aufwärmt. Im Januar 1997 betrug daher der Unterschied 9,5°C.

Tabelle 5: Mittlere Monats- und Jahrestemperatur [°C] im Jahr 1997 auf den Versuchsstandorten Freiland und Gewächshaus sowie Temperaturunterschied zwischen Versuchsstandorten

| Monat / Zeitraum | Gewächshaus (1) | Freiland (2) | Temperaturunterschied (1)-(2) |
|----------------------------------|--------------------|-----------------|----------------------------------|
| Jan. | 5,47 | -4,08 | 9,55 |
| Feb. | 8,58 | 3,06 | 5,53 |
| März | 10,48 | 3,29 | 7,19 |
| April | 13,23 | 5,78 | 7,45 |
| Mai | 17,83 | 11,67 | 6,15 |
| Juni | 18,75 | 15,57 | 3,18 |
| Juli | 21,42 | 17,70 | 3,72 |
| Aug. | 23,81 | 20,99 | 2,82 |
| Sept. | 20,10 | 16,43 | 3,67 |
| Okt. | 12,63 | 7,20 | 5,43 |
| Nov. | 8,76 | 2,46 | 6,30 |
| Dez. | 7,71 | 1,48 | 6,23 |
| Jahr 1997 | 13,89 | 8,22 | 5,66 |
| Vegetationszeit (Mai - Sept.) | 20,38 | 16,47 | 3,91 |

4.2.1.1.3 Variation im phänologischen Merkmal Austrieb

Die einzelnen Pflanzen wurden anhand einer 7stufigen Skala (Stufe 1 = ruhende Knospe bis Stufe 7 = ausgebildetes Blatt) im Frühjahr 1996 und im Frühjahr 1997 das phänologische Merkmal Austrieb bonitiert. Im Frühjahr 1996 erfolgten die Aufnahmen des Austriebs täglich und im Jahre 1997 alle zwei bis drei Tage. Ergänzend wurde die Temperatur registriert.

Wird für einen bestimmten Tag der mittlere Austrieb für eine Herkunft berechnet, sind Unterschiede zwischen den Herkünften zu erkennen. Von den 15 untersuchten Herkünften

treiben die Herkünfte Nr. 145, 155 und 159 aus dem südöstlichen Verbreitungsgebiet der Rotbuche früh aus (hohes mittleres Austriebsstadium). Während die Rotbuchen aus dem westlichen Teil der Verbreitungsgebietes Herkünfte 1, 3, 8, 11 und 91 spät austrieben (niedriges mittleres Austriebsstadium). Im Freilandversuch trieben im Jahr 1997 auch die Herkünfte Nr. 28 und 120 aus Schweden bzw. Polen spät aus.

Werden für die einzelnen Herkünfte die relativen Häufigkeiten der einzelnen Austriebsstadien an einem bestimmten Tag aufgetragen, ist zu erkennen, daß nicht nur zwischen den Herkünften Unterschiede im Austrieb bestehen sondern auch innerhalb der Herkünfte Variation im Austrieb auftritt (Abbildung 2). In der Abbildung 2 ist für die 15 Herkünfte im Freiland die Variation im Austrieb am 12. Mai 1997 (= 132. Tag ab Jahresbeginn) dargestellt.

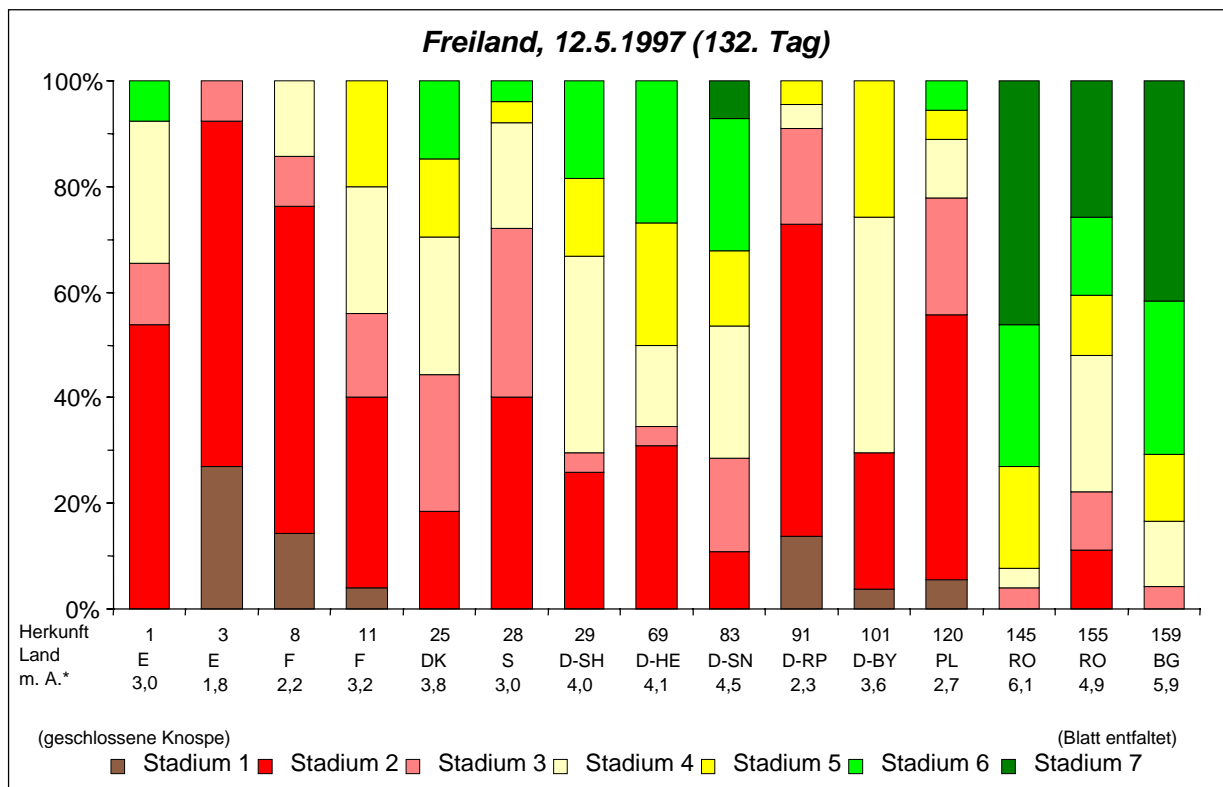


Abbildung 2: Variation im Austrieb der 15 Herkünfte im Freilandversuch am 12. Mai 1997 (132. Tag seit Jahresbeginn). * mittleres Austriebsstadium einer Herkunft

4.2.1.1.4 Austriebsverhalten

Der Austriebsbeginn ist im Gewächshaus (Temperaturmittel 13,9 °C) früher als im Freiland (Temperaturmittel 8,2°C). Auffallend ist, daß sich der Austrieb im Gewächshaus langsamer (flachere Kurven), das heißt über einen längeren Zeitraum, vollzieht als im Freiland (steilere

Kurve). Im Gewächshaus erstreckt sich der Austrieb von Stadium 1 bis Stadium 7 über einen Zeitraum, der etwa doppelt so lang ist wie im Freiland (Abbildung 3).

Zwischen den untersuchten Jahren (1996 und 1997) und den Versuchsstandorten (Freiland und Gewächshaus) werden Rangverschiebungen im Austriebsbeginn der Herkünfte beobachtet (Abbildung 4). In den beiden untersuchten Jahren und den Versuchsstandorten belegten die Herkünfte aus Rumänien und Bulgarien (Nr. 145, 155 und 159) immer die Ränge eins bis drei. Bei den höheren Rängen zeigt sich kein so einheitliches Bild. Überwiegen im letzten Drittel sind die westlichen Herkünfte (Nr. 1, 3, 8 und 91) zu finden. Die höchsten Rangunterschiede finden sich bei der Herkunft 69 (Büdingen, Hessen) zwischen Freiland (Rang 10,5 bzw. Rang 12) und Gewächshaus (Ränge 4). Im Freiland sind zwischen den beiden Jahren mehr Rangänderungen als im Gewächshaus zu verzeichnen.

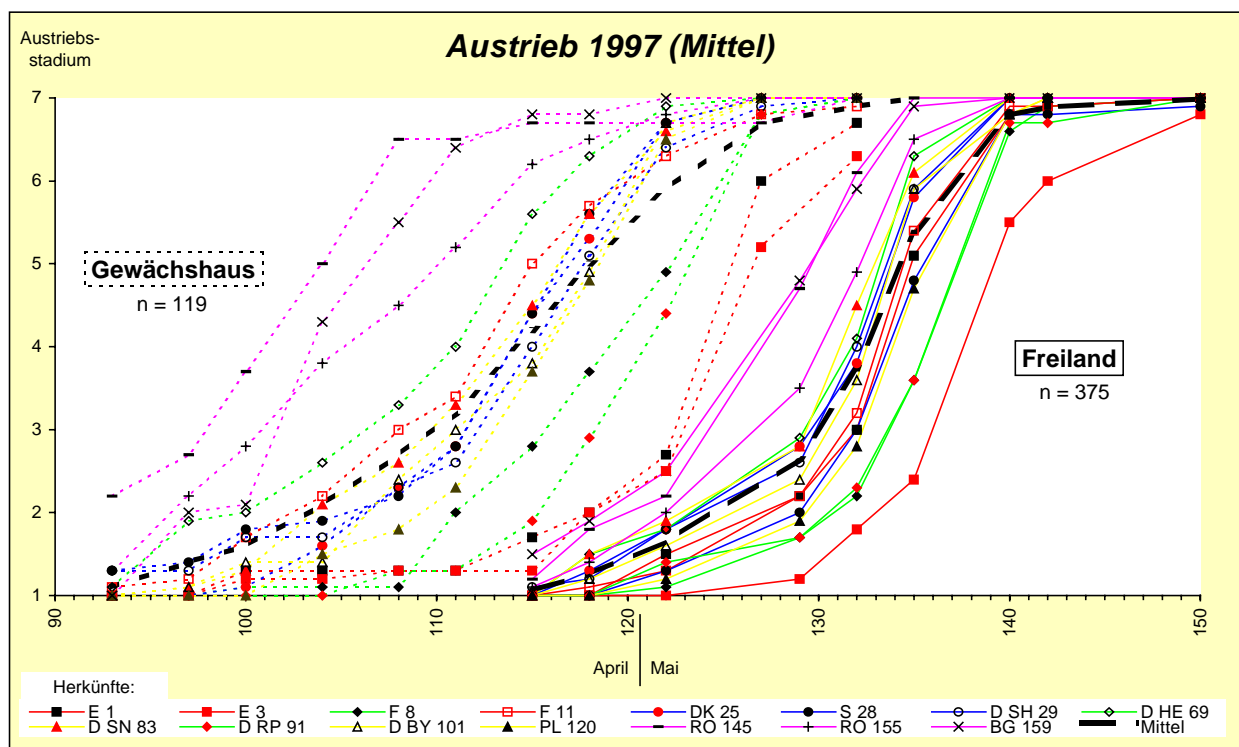


Abbildung 3: Austrieb von 15 Herkünften im Gewächshaus und im Freiland im Jahr 1997. Mittel je Herkunft und Versuchsstandort.

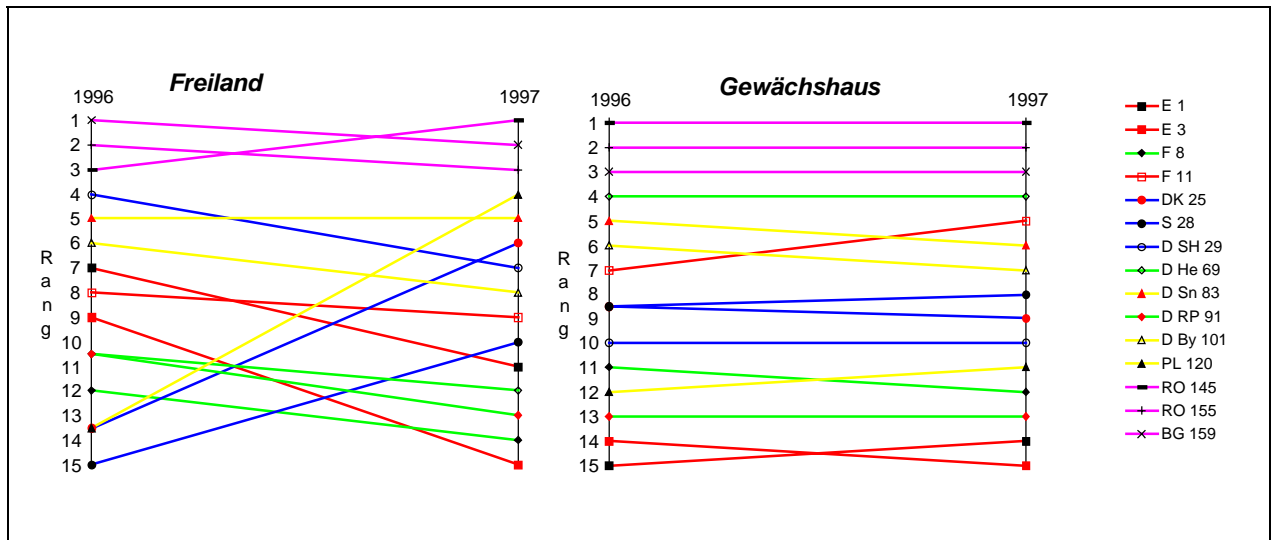


Abbildung 4: Rangfolge (1 = früh; 15 = spät) im Austrieb (mittleres Austriebsstadium einer Herkunft = 3, Blätter schieben sich aus der Knospe) der 15 Herkünfte im Freiland (links) und Gewächshaus (rechts).

Der **Austrieb** beginnt bei der 'wärmeren' Versuchsvariante (Gewächshaus) früher als im kühleren Freiland und zieht sich über einen längeren Zeitraum hin (s. LIESEBACH et al., 1999). Allerdings verschiebt sich die Rangfolge einiger Herkünfte in den beiden Umweltbedingungen (Interaktion) (Abb. 4 und 5). Bei Erwärmung läßt sich eine Spätfrostgefährdung erwarten, die je nach Provenienz unterschiedlich ausfällt.

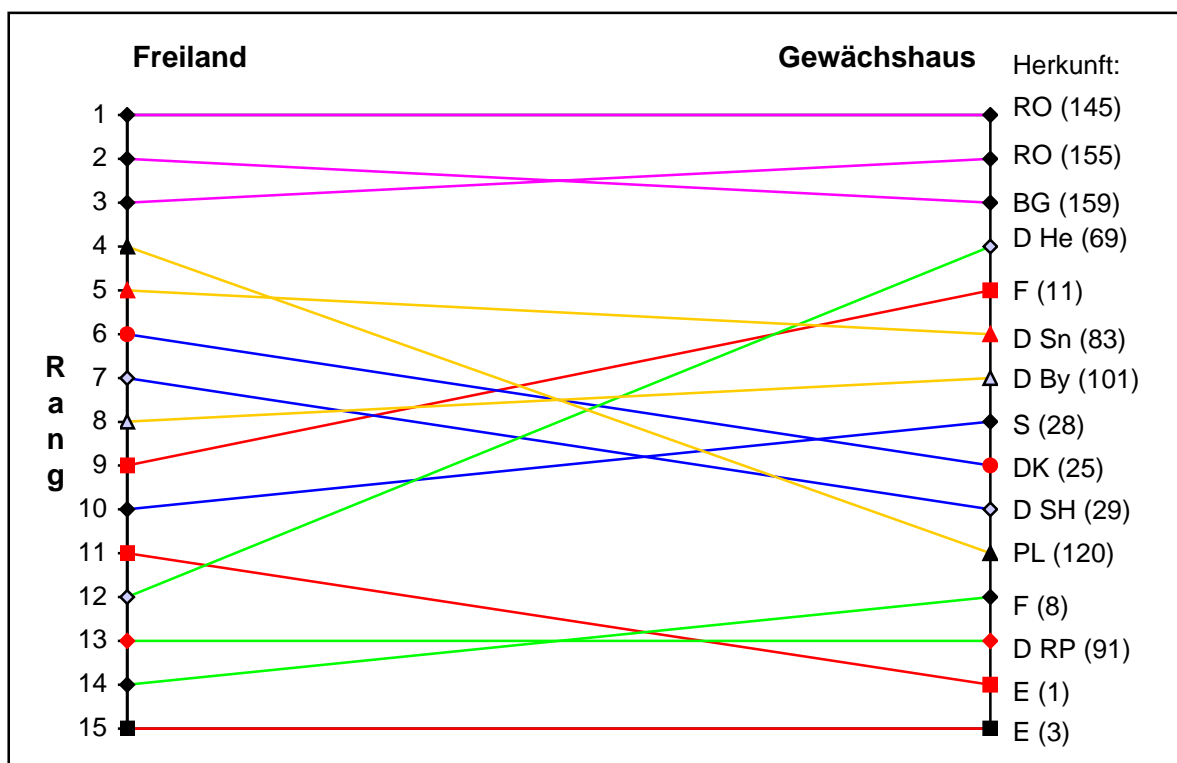


Abbildung 5: Rangfolge von 15 Buchen-Provenienzen im Austrieb (1 = früh – 15 = spät) im Freiland (links) und Gewächshaus (rechts) im Jahr 1997.

4.2.1.1.5 Austrieb und Temperatur

Aus älteren Untersuchungen ist bekannt, daß Herkünfte einer Baumart an einem Standort zu unterschiedlichen Zeitpunkten austreiben. In der Phänologie haben sich Schwellenwerte als Ausgangspunkte für bestimmte Lebensäußerungen der Pflanzen bewährt. Im vorliegenden Versuch wird als Schwellenwert der Beginn des Austriebs (mittleres Austriebsstadium einer Herkunft etwa 1,2) gewählt. Ab dem Erreichen des mittleren Austriebsstadiums einer Herkunft von etwa 1,2 werden die folgenden klimatologischen Kennwerte, die mögliche Zusammenhänge mit den Wachstumsvorgängen bei der Rotbuche aufzeigen, berechnet. Der Literatur ist zu entnehmen, daß der klimatologische Kennwert von 5°C mit dem Beginn der Lebensvorgänge bei der Rotbuche zusammenhängt und daß der Kennwert von 10°C mit dem Beginn der optimalen Photosyntheseleistung zusammenfällt (FELBERMAYER⁵, 1993). Aus den Temperaturaufzeichnungen im Freiland und im Gewächshaus werden getrennt für die Herkünfte beginnend mit dem Tag, an dem ein mittleres Austriebsstadium von 1,2 errechnet wird, die Anzahl der Stunden mit mindestens 5°C bzw. 10°C addiert. In einem zweiten Ansatz fließt zusätzlich die Maximum-Temperatur eines Tages ein. Hierbei werden für jeden Tag die Flächen, die zwischen 5°C bzw. 10°C-Linie und der Temperaturkurve aufgespannt sind, berechnet.

Am Beispiel der Anzahl an Stunden mit mindestens 10°C zeigt sich, daß die 15 Herkünfte ein vergleichbares mittleres Austriebsstadium auf den beiden Versuchsstandorten und in den Untersuchungsjahren bei jeweils unterschiedlichen Summen von Stunden erreichen. Für zwei der 15 Herkünfte ist in Abbildung 6 die Austriebsentwicklung in Abhängigkeit der Anzahl der Stunden mit mindestens 10°C dargestellt. Unabhängig von den Umwelten (Freiland bzw. Gewächshaus) hat die Herkunft Nr. 69 (Büdingen, Hessen) jeweils bei entsprechender Anzahl an Stunden ein ähnliches Austriebsstadium (Abbildung 5). Diese gilt auch für die Herkünfte Nr. 8 (Frankreich), 11 (Frankreich), 25 (Dänemark), 28 (Schweden), 144 (Rumänien), 155 (Rumänien) und 159 (Rumänien). Während die Herkunft Nr. 29 (Lensahn, Schleswig-Holstein) im Freiland bei einer geringeren Anzahl an Stunden mit mindestens 10°C den Austrieb von Stadium 1 bis Stadium 7 früher als im Gewächshaus durchlaufen hat (Abbildung 3). Zu dieser Gruppe zählen auch die Herkünfte Nr. 1 (Spanien), 3 (Spanien), 91 (Rheinland-Pfalz), 101 (Bayern) und 120 (Polen). Die Herkunft Nr. 83 (Sachsen) nimmt eine Zwischenstellung ein, da hier nur ein geringer Unterschied vorliegt.

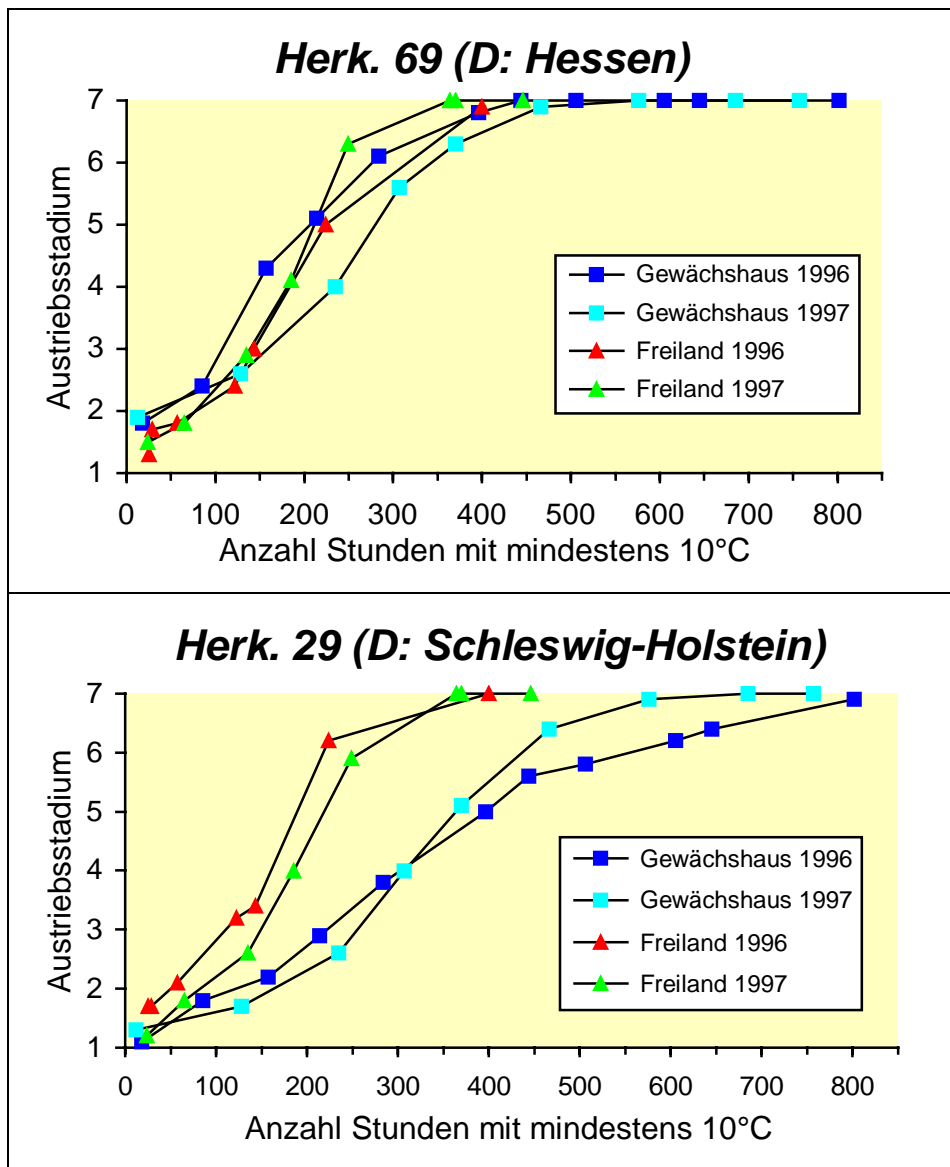


Abbildung 6:
Zusammenhang
zwischen dem
Austriebsstadium
und der Anzahl der
Stunden mit
mindestens 10°C
bei den Herkünften
Nr. 69 (oben) und
Nr. 29 (unten)

Für die unterschiedlichen Summen von Stunden mit mindestens 5°C ergeben sich die gleichen Gruppierungen, wobei die Unterschiede nicht so stark ausgeprägt sind.

4.2.1.1.6 Überlebensrate

Auch die in der wärmeren Variante (Gewächshaus) geringere **Überlebensrate** variiert mit der Provenienz. Erste Auswertungen ergaben bei Buche, daß bei Verfrachtung kontinentaler bzw. atlantischer Herkünfte an einen subatlantischen Standort sowohl die kontinentalen als auch die atlantischen Herkünfte eine höhere Mortalität aufweisen als Herkünfte aus dem Zentrum des Verbreitungsgebiets. Im Freiland überleben im Mittel mehr Pflanzen als im Gewächshaus. Besonders deutlich ist das bei den Herkünften 1 und 29 (Abbildung 7).

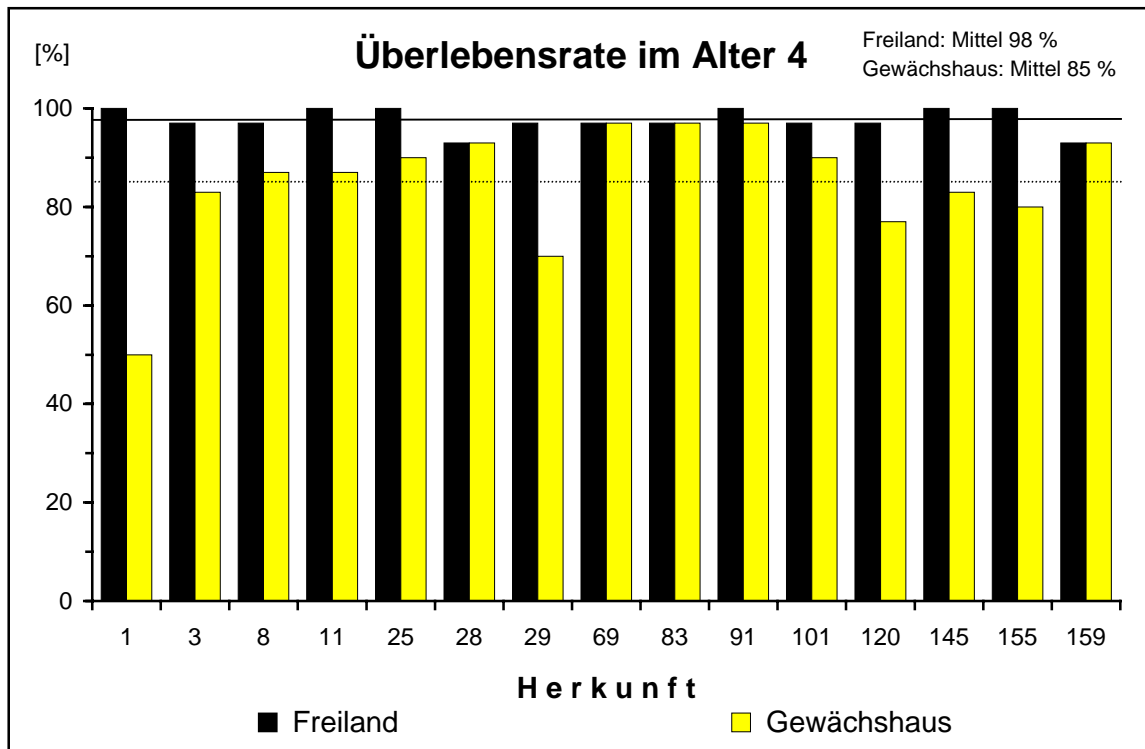


Abbildung 7: Überlebensrate von 15 Buchen-Provenienzen im Freiland (dunkel) und Gewächshaus (hell).

4.2.1.1.7 Anteil geschädigter Bäume

Der **Anteil geschädigter Buchen** (Gipfeltrieb ausgefallen) ist im Freiland höher als im Gewächshaus, das im Winter frostfrei gehalten werden muß. Die Herkünfte reagieren sehr unterschiedlich (Abbildung 8).

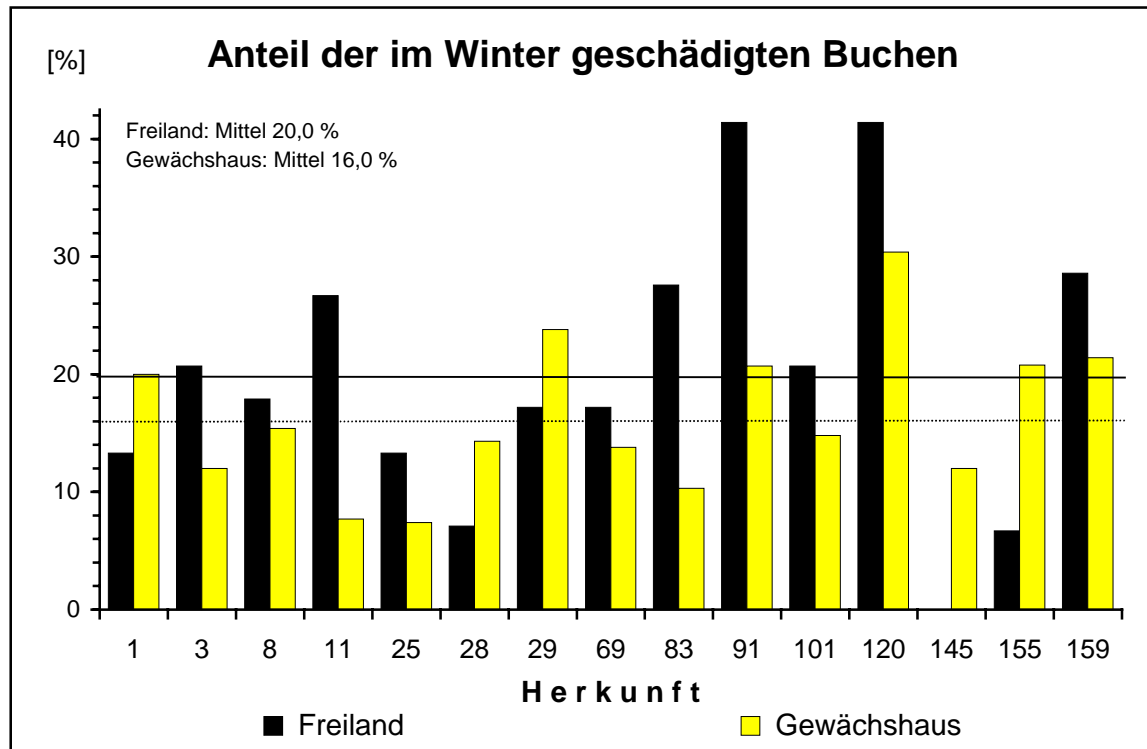


Abbildung 8: Anteil im Winter geschädigter Buchen im Freiland (dunkel) und Gewächshaus (hell).

4.2.1.1.8 Höhenwuchs

Im Mittel über die 15 Provenienzen werden im **Höhenwuchs** bei den nicht im Winter geschädigten Buchen im Alter von 4 Jahren keine gesicherten Unterschiede festgestellt. Zwischen den Provenienzen gibt es Unterschiede, die jedoch wegen des geringen Alters der Pflanzen noch keine Schlußfolgerungen zulassen (Abbildung 9).

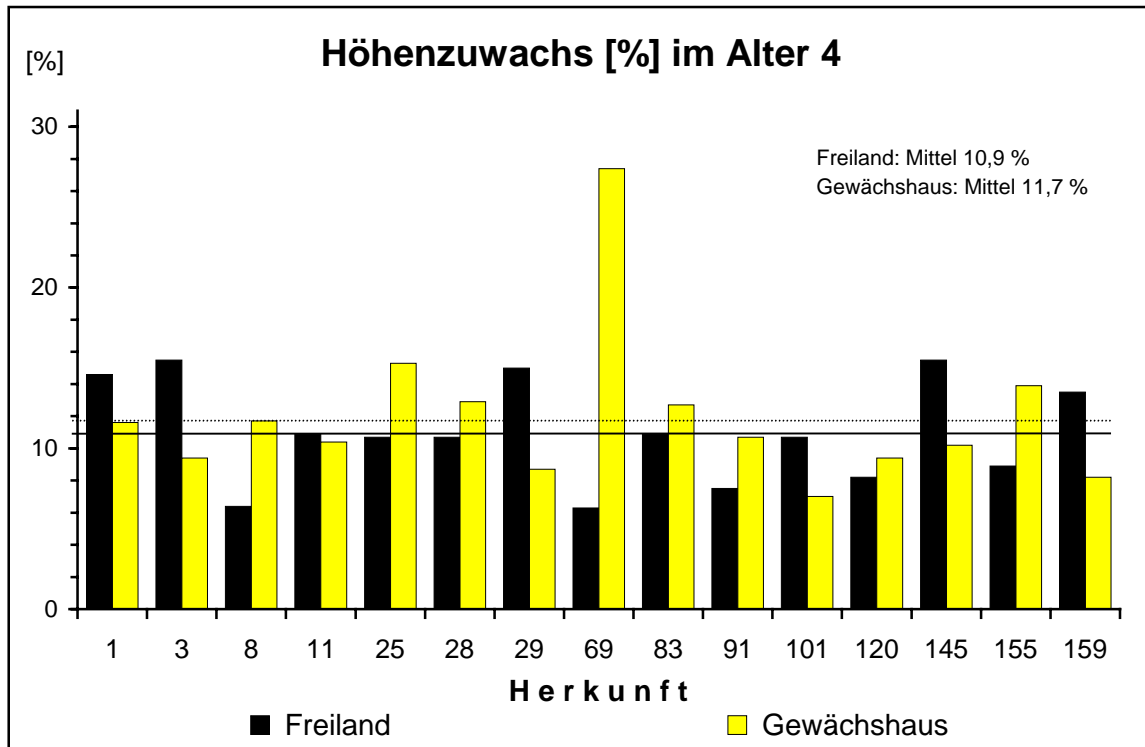


Abbildung 9: Höhenzuwachs von 15 Buchen-Provenienzen im Freiland (dunkel) und Gewächshaus (hell).

4.2.1.1.9 Schlußfolgerung

Die Eigenschaft, früh oder spät auszutreiben, ist im hohen Maße erblich bedingt. Die Auswertung eines Versuches mit 15 Herkünften zeigt bereits den Umfang der genetischen Variation, der zwischen und innerhalb der Herkünfte in der Ausprägung des phänologischen Merkmales Austrieb vorhanden ist. Das Früh- und Spätreiben führt wegen der großen Frostempfindlichkeit des jungen Buchenlaubes zur Selektion in Populationen (Herkünfte) mit überwiegend frühtreibenden Buchen in Lagen, in denen nur selten Spätfrost auftritt, und in Populationen mit überwiegend spätreibenden Buchen in spätfrostgefährdeten Lagen. Mit der Variation innerhalb der Herkünfte läßt sich erklären, warum beispielsweise bei einem Spätfrostereignis nicht alle Bäume gleichermaßen geschädigt werden.

Die Ansprüche der einzelnen Herkünfte an Wärme und andere Austriebsfaktoren sind unterschiedlich. Mit dem vorliegenden Versuch konnte gezeigt werden, daß sich das Austriebsverhalten nicht allein mit Temperatursummen erklären läßt. Sechs von 15 der in den

Versuch einbezogenen Herkünften durchliefen den Austrieb bei unterschiedlicher Anzahl an Stunden mit einer Mindesttemperatur unter den beiden untersuchten Umweltbedingungen.

Die Temperaturunterschiede zwischen Freiland und Gewächshaus spiegeln die zu erwartenden Klimaänderungen nicht in der Größenordnung sondern nur in der Richtung wieder. Sie geben damit Hinweise, wie sich die Ausprägung des Merkmals Austrieb ändern könnte. Unter den prognostizierten Klimaänderungen bedeutet dies, daß einige Herkünfte z. B. stärker spätfrostgefährdet wären als andere. Dieses hätte Auswirkungen auf die Überlebenschancen (die kleinen Pflanzen sind längere Zeit konkurrierender Flora ausgesetzt und der Schädigung durch Wirbeltiere), den Zuwachs in den ersten Jahren (z. B. eingeschränktes Höhenwachstum) sowie ökonomische Folgen (z. B. erhöhte Forstschutzkosten).

Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich bereits folgende Schlüsse für die Parametrisierung der Sukzessions- und Waldwachstumsmodelle ziehen:

- Die beobachtete genetische Variation ist so groß, daß die Verwendung von Mittelwerten oder zufällig gewählten Einzelwerten für die Parametrisierung von Sukzessionsmodellen das Systemverhalten nicht hinreichend erklärt.
- Bei einer Erwärmung in der gemäßigten Breiten ist von einem früheren Austrieb der Rotbuche auszugehen.
- Nachkommenschaften, die ihren Ursprung im östlichen Verbreitungsgebiet haben, werden überproportional früher austreiben als Herkünfte aus dem westlichen Verbreitungsgebiet.

4.2.1.2 Einfluß eines erhöhten CO₂-Gehalts in der Luft

In einem Gewächshausversuch mit zweijährigen Sämlingen wurde zusammen mit dem Institut für Weltforstwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft die Reaktion von 7 Provenienzen der Rotbuche (Tabelle 6) auf erhöhte atmosphärische CO₂-Konzentrationen bei unterschiedlichem Lichtangebot anhand der Blattentwicklung im Laufe der Vegetationsperiode sowie der Blattfläche und des Blatttrockengewichtes je Einzelblatt und je Pflanze am Ende der Vegetationsperiode untersucht.

Tabelle 6: Daten zu den verwendeten Provenienzen der Rotbuche

| SbNr. | Land | Herkunftsname | geogr. Breite | geogr. Länge | Höhe ü. NN |
|-------|------|-------------------|---------------|--------------|------------|
| 9101 | BG | Maglij | 42°38'N | 25°21'E | 1100 m |
| 9234 | D | Dillenburg (Hes.) | 50°42'N | 8°18'E | 520 m |
| 9242 | F | Ouest-Massif | 46°10'N | 1°52'E | 540 m |
| 9172 | GB | Westfield, Moray | 57°40'N | 3°25'W | 10 m |
| 9120 | I | Val Fondillo | 41°46'N | 13°51'E | 1145 m |
| 9215 | PL | Bilowo | 54°20'N | 18°10'E | 250 m |
| 9187 | S | Gullmarsberg | 58°22'N | 11°39'E | 25 m |

4.2.1.2.1 Versuchsaufbau und Ergebnisse

Die Sämlinge wurden in zwei klimatisierten Gewächshauskammern bei normalem CO₂-Gehalt der Luft (350 ppm CO₂) und bei erhöhtem CO₂-Gehalt (650 ppm CO₂) kultiviert. Die beiden Gewächshauskammern wurden zur Variation des Lichtgenusses in jeweils 3 Abteilungen unterteilt. Eine Abteilung erhielt die volle Einstrahlung (Lichtstufe 1), die hier gemessene photosynthetisch aktive Strahlung entspricht der eines 120jährigen Buchenwaldes vor dem Kronenschluß. In den Lichtstufen 2 und 3 wurden die Pflanzen unter einem grünen Gewebe mit unterschiedlichem Schattierwert kultiviert. Die in diesen beiden Lichtstufen gemessene photosynthetisch aktive Strahlung entspricht der eines 120jährigen Buchenwaldes nach dem Kronenschluß. Da in den beiden Lichtstufen 2 und 3 offenbar wegen zu großer Beschattung während der dreijährigen Versuchsdauer zahlreiche Pflanzen ausgefallen waren und zwischen den Werten der verbliebenen Pflanzen keine signifikanten Unterschiede auftraten, wurden die Buchen dieser Lichtstufen für die Auswertungen zusammengefaßt.

Der Lichtgenuß beeinflußt die untersuchten Parameter deutlich. Unter der Schattierungsfolie ist das Wachstum stark eingeschränkt. In der hellsten Lichtstufe trieben die Pflanzen besonders früh aus. Blattanzahl, -fläche und -trockengewicht je Einzelblatt und je Pflanze nehmen mit sinkendem Lichtgenuß signifikant ab. Die erhöhte CO₂-Konzentration der Luft führt im ersten Jahr ebenfalls zu einer Zunahme der Blattanzahl, der -fläche und des -trockengewichtes je Einzelblatt bzw. je Pflanze. Diese Reaktionen waren, wie der frühe Blattaustrieb nur bei dem höchsten Lichtangebot zu beobachten, während bei eingeschränkter Strahlung der Lichtstufen 2 und 3 der CO₂-Gehalt der Luft keine Wirkung auf diese Blattparameter hat. Die spezifische Blattfläche wird bei der erhöhten CO₂-Konzentration in keinem Fall verändert.

Nach drei Beobachtungsjahren ist festzuhalten, daß die Blattparameter Blattzahl, Blattfläche und Blatttrockengewicht pro Einzelblatt sowie spezifische Blattfläche nur bei voller Strahlung auf eine erhöhte CO₂-Konzentration der Luft reagieren. Die Unterschiede zwischen den durchschnittlichen Blattzahlen bei normalem bzw. bei erhöhtem CO₂-Gehalt werden dabei von Jahr zu Jahr deutlicher. Entgegengesetzt verhalten sich Blattfläche und Trockengewicht pro Einzelblatt, bei denen die Unterschiede nach dem ersten Versuchsjahr 1997 hochsignifikant sind, 1999 dagegen keine Unterschiede mehr auftreten. Wie bei den Blattparametern treten auch bei dem Gesamttrockengewicht der Bäumchen signifikante Unterschiede zwischen den CO₂-Behandlungen nur bei hoher Strahlung auf. Erstaunlich ist jedoch, daß das Spross-Wurzelverhältnis weder durch den Lichtgenuß noch den CO₂-Gehalt der Luft beeinflußt.

Wird die Gesamtbiomasse pro Pflanze getrennt für die einzelnen Provenienzen betrachtet, so zeigt sich ein differenzierteres Bild (Abbildung 10). Es fällt zunächst auf, daß die Biomasse pro Pflanze nach 3-jähriger Versuchsdauer bei den verschiedenen Herkünften sehr unterschiedlich hoch ist. Die schwedische Herkunft zeichnet sich durch besonders niedrige Werte aus. Darüber hinaus haben nur vier (Deutschland, Frankreich, Polen und Schweden) der sieben Herkünfte bei erhöhtem CO₂-Gehalt der Luft signifikant erhöhte Biomassewerte bei hoher Einstrahlung. Lichtmangel nivelliert die Unterschiede in den Pflanzentrockengewichten zwischen den

Herkünften ebenso wie die CO₂-Wirkung. In der Schattenstufe treten nur bei zwei Herkünften (Polen und Schweden) Unterschiede auf.

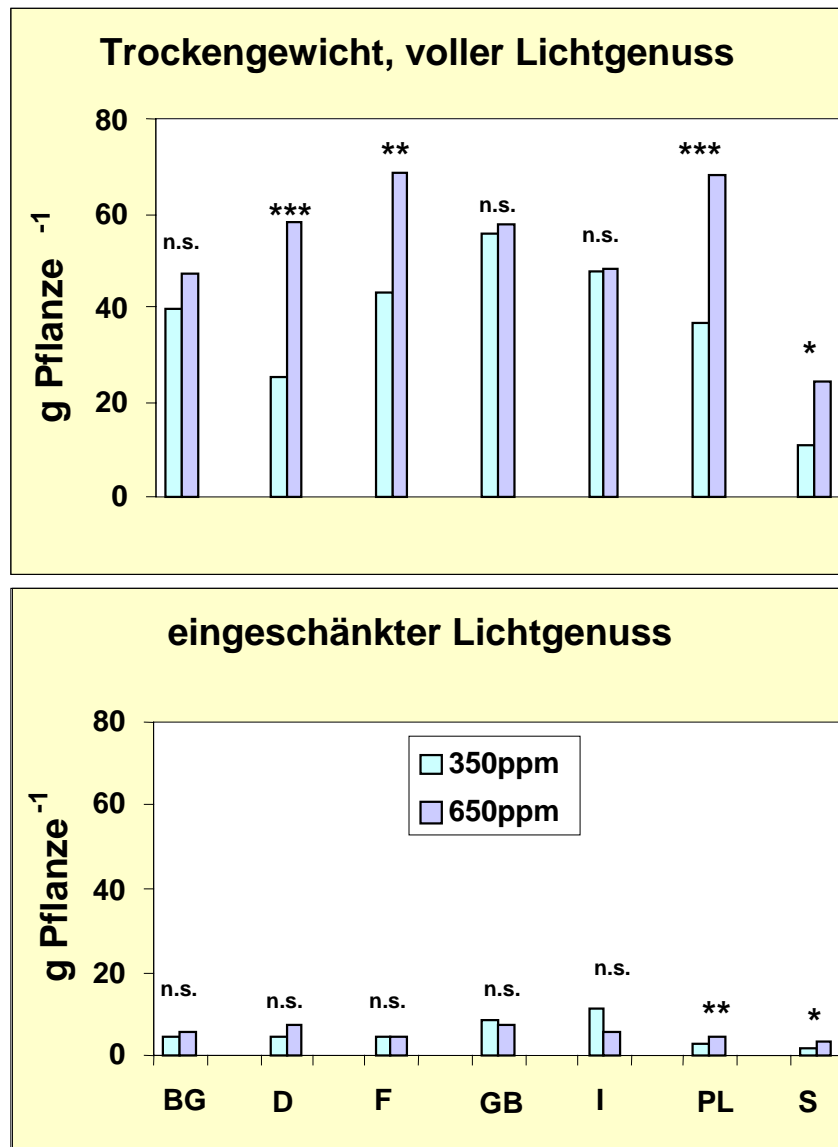


Abbildung 10: Mittlere Gesamttrockenmasse pro Pflanze der sieben Herkünfte nach dreijähriger Behandlung bei vollem (oben) bzw. eingeschränktem (unten) Lichtgenuß und normalem (350 ppm, jeweils linke Säule) bzw. erhöhtem (650 ppm, jeweils rechte Säule) CO₂-Gehalt der Luft. (KRIEBITZSCH et al., in Vorbereitung).

In beiden Lichtstufen führt eine erhöhte CO₂-Konzentration im Mittel über alle Pflanzen zu steigender maximaler Photosynthese-Kapazität. Dieses Ergebnis entspricht den Erwartungen, da die Beziehung zwischen der Photosynthese und dem CO₂-Gehalt der Luft – entsprechend der Beziehung zwischen Photosynthese und Licht – sich als Sättigungsfunktion gestaltet. Bei CO₂-Konzentrationen, die hier verwendet wurden, ist die Sättigung noch lange nicht erreicht, so daß eine Erhöhung auf 650ppm sich deutlich auswirken sollte. Bei der experimentellen Erhöhung des CO₂-Gehaltes wird eine Abnahme der Transpiration beobachtet, da sich die Stomata verengen. Dieser Effekt ist auch bei LARCHER⁶ (1994) und LYR et al.⁷ (1992) beschrieben.

4.2.1.2.2 *Schlußfolgerung*

Eine gesteigerte Blattproduktion bei erhöhtem CO₂-Gehalt führt zu erhöhten Blattflächenindices der Bestände. Damit verschlechtert sich der Lichtgenuss in der unteren Baumkrone (Schattenkrone) und am Waldboden. Ungünstigere Lichtbedingungen in der Schattenkrone reduzieren die Stoffgewinne in diesem Kronenbereich. Diese Reduktion kann u. U. durch eine gesteigerte Anpassung an schattige Bedingungen ausgeglichen werden. Schattige Bedingungen am Waldboden verschärfen die Konkurrenz zwischen der Buche und anderen Baumarten und können zu einer weiteren Stärkung der Buche in ihrem Verbreitungsgebiet führen. Ein steigender Blattflächenindex der Bestände infolge erhöhter Stoffproduktion bedeutet eine gesteigerte transpirierende Oberfläche des Bestandes, das heißt, der Wasserverbrauch der Bestände steigt an.

4.2.2 Fichten-Provenienzversuche

Erste Ergebnisse aus Fichten-Provenienzversuchen zeigen, daß es bei einer ‘Kontinentalisierung’ (Temperaturanstieg, Rückgang der Niederschläge) des Klimas zwischen den Herkünften Unterschiede im Wachstum an einem Standort gibt. Herkünfte aus deutschen Hochlagen (über 1000 m) zeichnen sich durch ein deutlich geringeres Höhenwachstum aus als deutsche Herkünfte aus tieferen Lagen (unter 750 m). In Abbildung 11 ist das Höhenwachstum von 3 bayerischen Provenienzen am Versuchsort Holzerode / Niedersachsen dargestellt. Mit zunehmender Höhenlage des Ursprungsortes weisen die Provenienzen ein geringeres Höhenwachstum und eine größere Höhenstreuung innerhalb der Herkunft auf. Im vorliegenden Beispiel ist eine zunehmende Höhenlage mit abnehmenden Mitteltemperaturen (im Jahr bzw. in der Vegetationszeit) und zunehmenden Niederschlägen (im Jahr bzw. in der Vegetationszeit) korreliert.

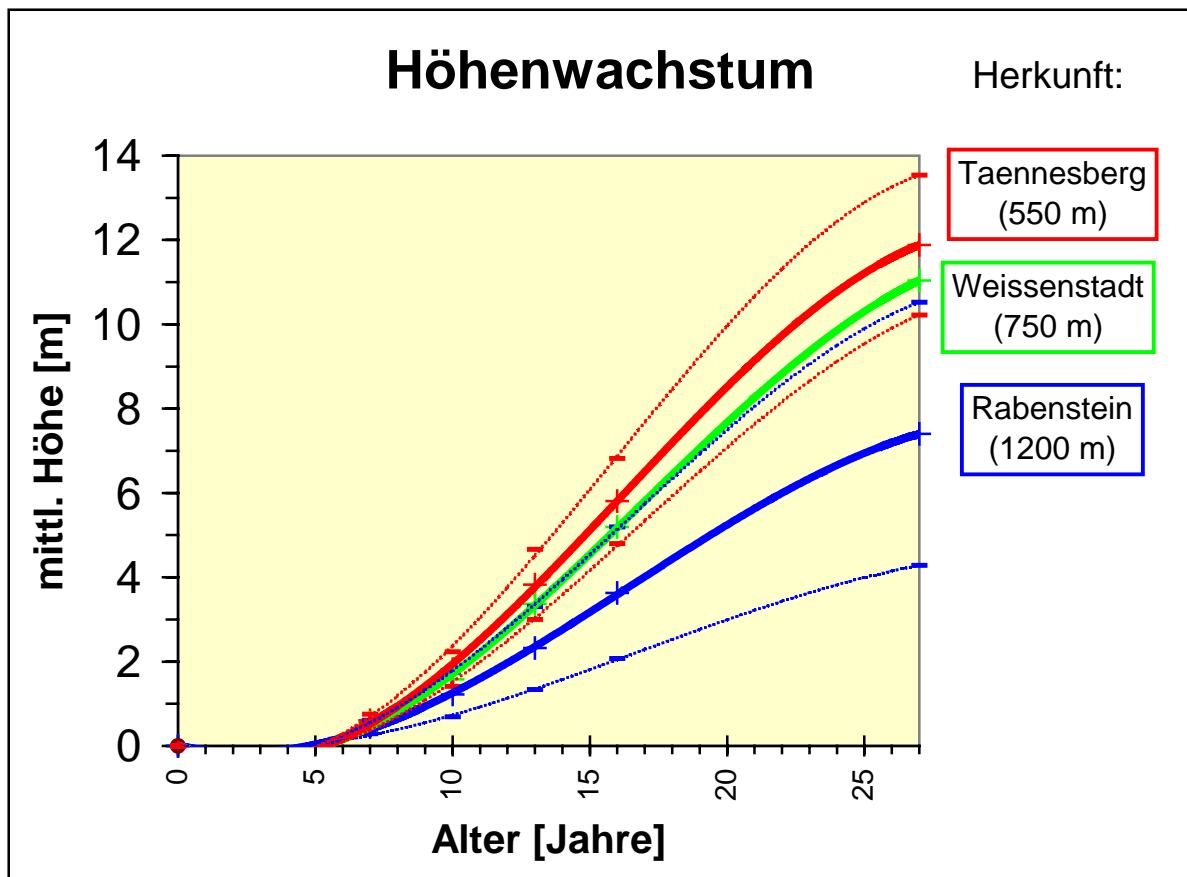


Abbildung 11: Höhenwuchs von 3 bayerischen Fichten-Provenienzen am Versuchsort Holzerode (Niedersachsen, 255 m ü. NN).

4.2.2.1 Angaben zu den untersuchten Fichten-Provenienzversuchen

Im weiteren sind mehrere Versuche des Internationalen IUFRO Provenienzversuchs von 1964/68 mit Fichte ausgewertet (LIESEBACH et al., im Druck). Der Versuch enthält in der Summe 1100 Versuchsglieder, überwiegend Herkunftsabsaaten aber auch einige Mischproben aus einer geographischen Region sowie Einzelbaumabsaaten. Das Saatgut wurde 1964 in der Baumschule des Instituts für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung ausgesät und angezogen. 1968 wurden 20 Feldversuche in 13 Ländern angelegt. Aus versuchstechnischen Gründen wurde das Versuchsmaterial in 11 Blöcke zu je 100 Herkünften aufgeteilt. Jeder Block enthält Herkünfte aus dem gesamten Verbreitungsgebiet und kann daher als eigener Herkunftsversuch angesehen werden. Der überwiegende Teil der Feldversuche wurden als Ein-Baumparzellen mit 20 bzw. 25 Wiederholungen angelegt. In Deutschland wurden 3 komplette Versuche angelegt und einer in Ungarn. Für die vorliegende Untersuchung wurde der Block 7 ausgewählt, da die Bodenbedingungen (verschiedene Braunerden) auf den 4 Versuchsflächen relativ ähnlich sind, die Versuchsorte sich in der Jahresmitteltemperatur unterscheiden und Meßwerte für das Alter 29 vorliegen. Für die Versuchsorte und die Einsammlungsorte der 100 Satgutproben liegen langjährige Temperatur- und Niederschlagsmittelwerte vor. Bei den Klimadaten handelt es sich um auf die Höhenlage der Versuchsorte bzw. Einsammlungsorte interpolierte Werte von

europäischen Meßstationen. Die wichtigsten geographischen und Klimawerte zu den Versuchsorte sind in Tabelle 7 zusammengestellt.

Tabelle 7: Angaben zu den Versuchsorten.

| Versuchsorte | Laasphe | Radolfshausen | Hinterweidenthal | Nyírjes |
|---------------------------------|-------------|---------------|------------------|-----------|
| Land | Deutschland | Deutschland | Deutschland | Ungarn |
| geographische Breite | 51° 00' N | 51° 40' N | 49° 11' N | 47° 56' N |
| geographische Länge | 08° 30' E | 10° 07' E | 07° 41' E | 19° 58' E |
| Höhe ü. NN | 400 m | 250 m | 305 m | 560 m |
| mittl. Durchschnittstemperatur: | | | | |
| im Jahr | 7.5 °C | 8.2 °C | 9.3 °C | 7.6 °C |
| Vegetationsperiode (Mai-Sept.) | 13.9 °C | 14.7 °C | 16.0 °C | 15.8 °C |
| Temperaturspanne (Jan.-Juli) | 17.1 °C | 17.5 °C | 17.9 °C | 22.7 °C |
| Anzahl Tage mit mind. 10 °C | 146 | 159 | 173 | 159 |
| durchshnittl. Niederschlag: | | | | |
| im Jahr | 990 mm | 730 mm | 800 mm | 780 mm |
| Vegetationsperiode (Mai-Sept.) | 390 mm | 350 mm | 370 mm | 400 mm |

Die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur ist auf der Versuchsfläche Radolfshausen um +0,7°C höher als auf der bei Laasphe und um +1,8°C höher als in Hinterweidenthal. Die ungarische Fläche Nyírjes wurde hinzugezogen, da ein Anstieg der mittleren Jahresdurchschnittstemperatur erwartet wurde. Dies trifft jedoch nur für die Durchschnittstemperatur in der Vegetationszeit (Mai – September) zu. Ein stärkerer kontinentaler Einfluß äußert sich in ausgeprägteren Sommer- und Wintertemperaturen. Auf der anderen Seite fällt während der Vegetationszeit auf der ungarischen Fläche etwas mehr Niederschlag als auf den deutschen Versuchsflächen.

Die Baumhöhen und die Durchmesser wurden in mehr oder weniger regelmäßigen Intervallen aufgenommen (Tabelle 8). Mit Ausnahme der Messungen im Alter von 29 Jahren wurden die Messungen auf den deutschen Versuchen zu andern Zeitpunkten erhoben als auf der ungarischen Fläche. Daher stützen sich die folgenden Untersuchungen hauptsächlich auf das Alter 29. Für die in Tabelle 8 aufgelisteten Alter wurden jeweils die Überlebensraten berechnet. Mit Ausnahme der Versuchsfläche Hinterweidenthal sind die Flächen einmalig vor der letzten Messung durchforstet worden. Nach DIETRICHSON und SKRØPPA² (1977) wurden 20 Zonen mit vergleichbarer Geographie und vergleichbarem Klima ausgewiesen. Einige der Zonen wurden detaillierten Betrachtungen unterzogen.

Tabelle 8: Pflanzenalter zum Zeitpunkt der Höhen- bzw. Durchmessermessung.

| Versuch | Laasphe | Radolfshausen | Hinterweidenthal | Nyírjes |
|-------------|------------------|---------------|------------------|--------------|
| Höhe | 5, 7, 10, 13, 16 | 7, 10, 13, 16 | 5, 7, 10, 13, 16 | 5, 9, 14, 20 |
| Durchmesser | 16, 21, 29 | 16, 21, 29 | 16, 21, 29 | 14, 20, 29 |

4.2.2.2 Überlebensrate und Wachstumsentwicklung aller Herkünfte des Blocks 7

Die Entwicklung des Versuchsmittels für Überleben sowie Höhen- und Durchmesserwachstum sind in Abbildung 12 dargestellt. Im Alter 29 beläuft sich die Überlebensrate auf 92% auf der ungarischen Flächen Nyírjes und variiert zwischen 78% (Laasphe) und 85% (Radolfshausen und Hinterweidenthal) auf den deutschen Flächen. Die mittlere Baumhöhe im jüngeren Alter war auf der ungarischen Fläche höher als auf den deutschen Flächen. Dies ist auch im Alter 29 beim Durchmesser der Fall: Nyírjes 17,0 cm Laasphe 15,6 cm, Radolfshausen 13,0 cm und Hinterweidenthal 10,6 cm. Aus Abbildung 2 wird auch ersichtlich, daß der Zuwachs zwischen den beiden letzten Messungen im Vergleich zu der vorherigen Periode besonders auf den Flächen Radolfshausen und Hinterweidenthal abgenommen hat. Für die Versuche Hinterweidenthal und Radolfshausen beträgt der Variationskoeffizient beim Merkmal BHD (Alter 29) 32%, für Laasphe 24% und für Nyírjes 20%. Im Alter von 29 Jahren ist die Korrelation der Überlebensraten der Herkünfte zwischen den Versuchsflächen nur gering (zwischen $r_p=0,31$ und $r_p=0,45$). Die Durchmesser sind stärker miteinander korreliert (zwischen $r_p=0,66$ und $r_p=0,74$). Durchmesser und Überlebensraten sind auf den einzelnen Versuchsflächen nur schwach korreliert (zwischen $r_p=0,36$ Radolfshausen und $r_p=0,53$ Nyírjes).

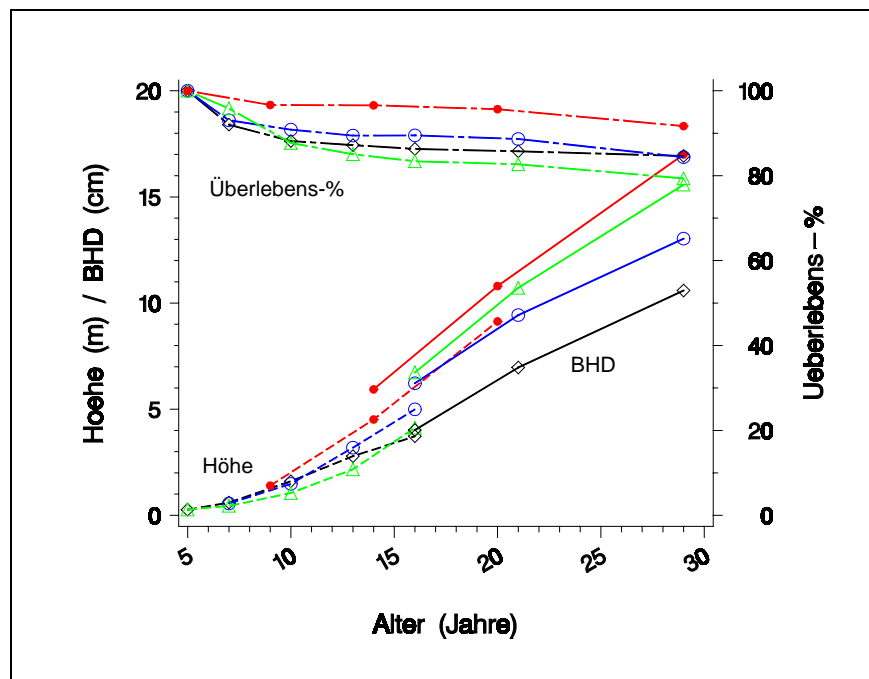


Abbildung 12: Entwicklung der Überlebensprozente (unterschiedlich gestrichelte Linien), des Höhenwachstums (gestrichelt) und des Durchmesserwachstums (durchgezogen) über alle Herkünfte auf den Versuchsflächen Laasphe (grünes Dreieck), Radolfshausen (blauer Kreis), Hinterweidenthal (schwarze Raute) und Nyírjes (roter Punkt).

4.2.2.3 Einfluß von Herkunftsverfrachtungen

Um den Einfluß der Versuchsflächen, der Herkünfte und der Interaktionen zu quantifizieren wurde eine Varianzanalyse für das Merkmal BHD im Alter 29 durchgeführt. Das Ergebnis ist in Tabelle 9 aufgeführt. 38% der Varianz werden durch die Unterschiede zwischen den Versuchsorten (Standorteinflüsse) erklärt, 9% durch die Herkünfte und etwa 1% durch die Versuchsort-Herkunfts-Interaktion.

Tabelle 9: Varianzanalyse und Varianzkomponentenschätzung für das Merkmal Durchmesserwachstum im Alter 29.

| Varianzursache | FG | MS | F-Wert | Varianzkomponente |
|------------------------|------|-------|------------|-------------------|
| Versuchsort | 3 | 10405 | 884,06 *** | 38 % |
| Herkunft | 99 | 118 | 9,99 *** | 9 % |
| Versuchsort * Herkunft | 297 | 16 | 1,32 *** | 1 % |
| Rest | 5554 | 12 | | 52 % |

Die klimatischen Unterschiede zwischen dem Einsammlungsort des Saatgutes und den Versuchsorten sind entscheidend, um die Anpassungsfähigkeit einer Provenienz an veränderte Klimabedingungen zu beurteilen. Dazu sind für die Versuchsfläche Laasphe in Abbildung 13 die Klimaunterschiede zwischen Herkunfts- und Versuchsort ins Verhältnis zum Durchmesserwuchs gesetzt. Auf der x-Achse sind die Unterschiede bei der Jahresdurchschnittstemperatur zwischen Versuchsfläche und Einsammlungsort abgetragen, auf der y-Achse ist das Verhältnis der Niederschlagsmenge zwischen Einsammlungsort und Versuchsort dargestellt. In Abbildung 13 sind rechts der vertikalen Linie Herkünfte, die aus kälteren Gegenden kommen als der Versuchsort, unterhalb der horizontalen Linie sind die Herkünfte abgetragen, die ursprünglich in trockeneren Gegenden wachsen. Es zeigt sich, daß für die Mehrheit der Herkünfte ein Transfer auf die Versuchsfläche Laasphe einem Transfer an einen Ort mit höherer Jahresdurchschnittstemperatur entspricht, etwa die Hälfte der Herkünfte stammt vom trockeneren Standorten.

Die 25% wüchsigsten Herkünfte sind als grüne Punkte in der Darstellung eingezeichnet, die 25% matt wüchsigsten Herkünfte als rote Kreise und Herkünfte aus dem mittleren BHD-Bereich mit blauen Sternen. In Hinblick auf die Temperatur stammen die wüchsigeren Herkünfte von Orten mit Temperaturunterschieden zwischen $-0,6$ und $+1,7^{\circ}\text{C}$. Hinsichtlich des Niederschlags kommen die wüchsigen Provenienzen von Orten mit 60 bis 135% des Niederschlags am Versuchsort. Die weiteren 4 grünen Punkte stellen Herkünfte dar, die aus Höhenlagen zwischen 940 und 1410 m mit vergleichbaren oder höheren Niederschlägen stammen. Die am schlechtesten wachsenden Provenienzen (rot) stammen von Orten mit größeren Unterschieden in

der Jahresdurchschnittstemperatur und in der jährlichen Niederschlagsmenge. Die Kreise finden sich überwiegend im rechten unteren Teil und im oberen Teil der Abbildung. Unter den am schlechtesten wachsenden Provenienzen sind einige schwedische Herkünfte mit sehr geringen Überlebensraten.

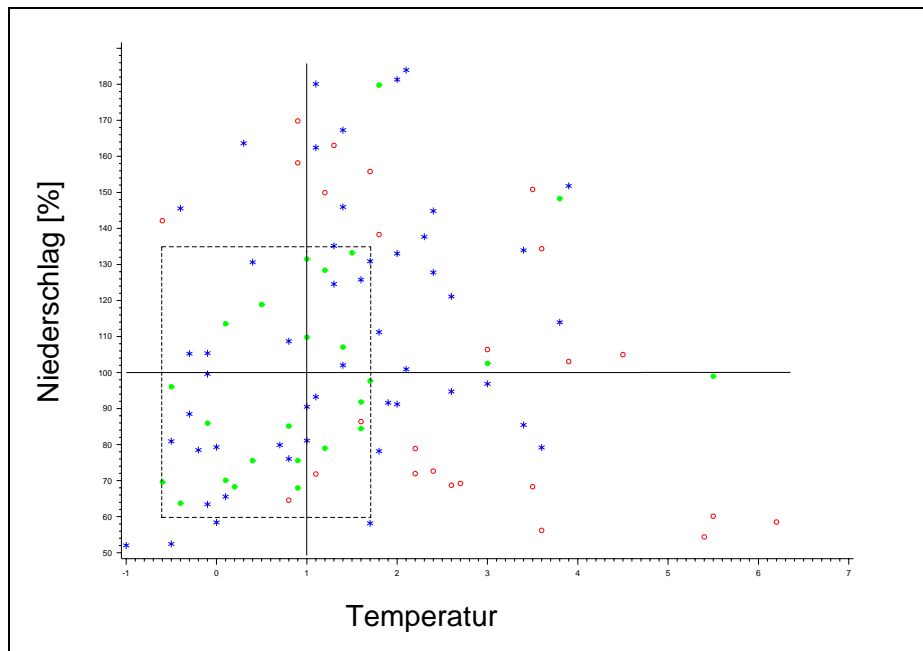


Abbildung 13: Angepaßtheit an den Standort Laasphe: Darstellung der Unterschiede in der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur und im Jahresniederschlag zwischen dem Einsammlungs- und dem Versuchsstandort der Provenienzen. Die Provenienzen sind entsprechend ihres Durchmesserwuchses angefärbt (grüne Punkte = 25% bestwüchsige, blaue Sterne = mittlerer Bereich, rote Kreise = mattwüchsige).

Die weiteren 3 Versuchsorte sind in den Abbildungen 14 bis 16 dargestellt. In den Abbildungen 13 bis 15 sind die Provenienzen entsprechend ihres Durchmesserwuchses angefärbt (grüne Punkte = 25% bestwüchsige, blaue Sterne = mittlerer Bereich, rote Kreise = mattwüchsige). Die in Tabelle 10 zusammengestellten Korrelationskoeffizienten (r_p) zeigen, daß zwischen den Merkmalen Überlebensrate bzw. BHD im Alter 29 und ausgewählten Klimaparametern sehr differenzierte Abhängigkeiten bestehen. Die temperaturbezogenen Klimaparameter zeigen häufiger Abhängigkeiten als die niederschlagsbezogenen.

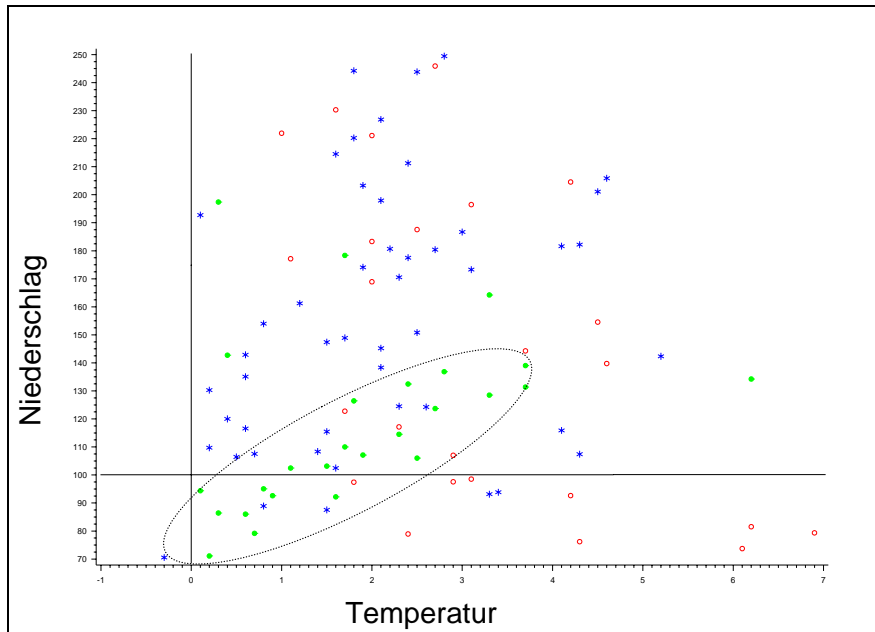


Abbildung 14: Angepaßtheit an den Standort Radolfshausen. Darstellung der Unterschiede in der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur und im Jahresniederschlag zwischen dem Einsammlungsort der Provenienzen und der Versuchsfläche Radolfshausen.

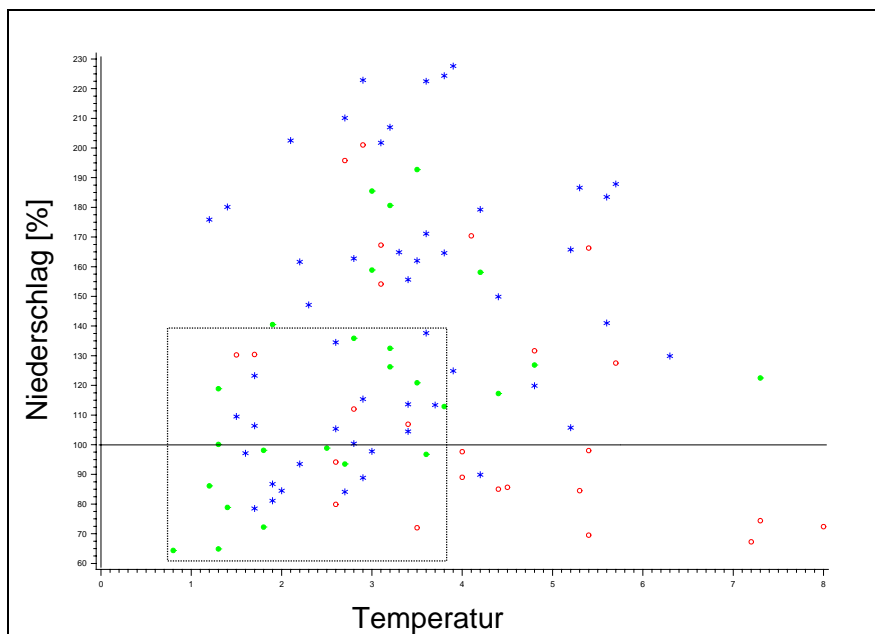


Abbildung 15: Angepaßtheit an den Standort Hinterweidenthal. Darstellung der Unterschiede in der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur und im Jahresniederschlag zwischen dem Einsammlungsort der Provenienzen und der Versuchsfläche Hinterweidenthal.

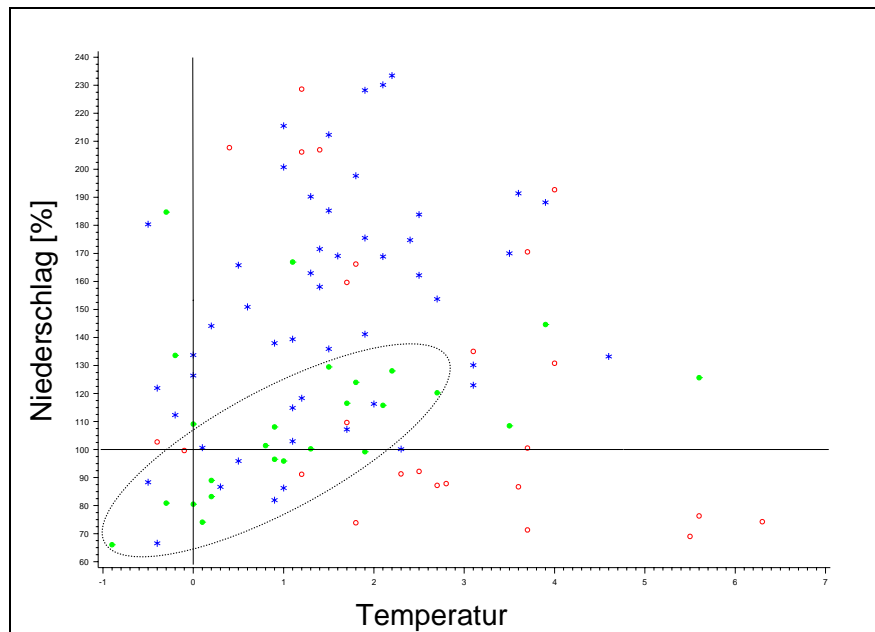


Abbildung 16: Angepaßtheit an den Standort Nyírjes. Darstellung der Unterschiede in der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur und im Jahresniederschlag zwischen dem Einsammlungsort der Provenienzen und der Versuchsfläche Nyírjes.

Tabelle 10: Korrelationskoeffizienten zwischen den Merkmalen Überlebensrate sowie BHD im Alter 29 an den 4 Versuchsorten und ausgewählten Klimaparametern

| Versuchsort | Merkmal | Durchschnitts- | durchschnittl. | durchschnittl. | Temperatur- |
|------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | temperatur | Niederschlag | Niederschlag | |
| | | im Jahr | im Jahr | Mai - Sept. | (Jan. - Juli) |
| Laasphe | Überlebensrate | -0,28** | 0,30** | -0,37*** | 0,20 |
| | BHD | -0,54*** | 0,03 | -0,03 | 0,39*** |
| Radolfshausen | Überlebensrate | -0,21* | 0,15 | -0,15 | 0,34*** |
| | BHD | -0,41*** | -0,12 | 0,09 | 0,28** |
| Hinterweidenthal | Überlebensrate | -0,35*** | 0,25* | -0,24* | 0,34*** |
| | BHD | -0,52*** | 0,09 | -0,12 | 0,49*** |
| Nyírjes | Überlebensrate | -0,28** | 0,16 | -0,20 | 0,12 |
| | BHD | -0,42*** | -0,03 | -0,04 | 0,23* |

4.2.2.3 Entwicklung ausgewählter Herkünfte der Zone "Vorberge der Alpen"

Im Block 7 sind in der Zone "Vorberge der Alpen" sechs Herkünfte zusammengefaßt. Die Einsammlungsorte dieser Herkünfte unterscheiden sich nur wenig in ihren klimatischen Bedingungen (Tabelle 11). Trotzdem zeigen die Herkünfte eine unterschiedliche Reaktion in den Merkmalen Überlebensrate und Durchmesserwachstum im Alter von 29 Jahren an den vier

Versuchsorten. In Abbildung 17 sind Boxplots für die sechs Herkünfte für jede der 4 Versuchsfelder dargestellt. Zwischen der oberen und unteren horizontalen Linien eines Boxplots befinden sich 50% der Bäume, die gestrichelten Linien oberhalb bzw. unterhalb der Box deuten die Spannweite der stärksten bzw. schwächsten 25% Bäume an.

Tabelle 11: Informationen zu den 6 deutschen Herkünften der Zone "Vorberge der Alpen".

| Herkunft | Königs- bronn | Tussen- hausen | Burg- hausen | Ipsheim | Landsberg | München- Süd |
|--------------------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------------|
| Herkunfts-Nr. | 0701 | 0715 | 0721 | 0771 | 0780 | 0782 |
| geographische Breite | 48° 44' N | 48° 06' N | 48° 10' N | 49° 32' N | 48° 02' N | 48° 05' N |
| geographische Länge | 10° 08' E | 10° 35' E | 12° 49' E | 10° 30' E | 10° 53' E | 11° 35' E |
| Höhe ü. NN | 500 m | 500 m | 500 m | 400 m | 800 m | 580 m |
| Durchschnittstemperatur: | | | | | | |
| im Jahr | 7,6 °C | 7,8 °C | 7,8 °C | 8,1 °C | 6,7 °C | 7,6 °C |
| von Mai - Sept. | 14,6 °C | 15,0 °C | 15,3 °C | 15,2 °C | 13,5 °C | 14,8 °C |
| Spanne (Jan. - Juli) | 18,9 °C | 19,3 °C | 20,2 °C | 19,1 °C | 18,3 °C | 19,4 °C |
| Tage mit >10 °C | 153 | 156 | 159 | 158 | 139 | 154 |
| mittl. Niederschlag: | | | | | | |
| im Jahr | 850 mm | 880 mm | 1040 mm | 690 mm | 1080 mm | 1040 mm |
| von Mai - Sept. | 420 mm | 530 mm | 580 mm | 350 mm | 620 mm | 610 mm |

Die Boxplots vermitteln einen Eindruck über die Variation zwischen den Herkünften und innerhalb der Herkünfte. Im allgemeinen ist eine große Spannweite bei den Merkmalen Durchmesserwachstum und auch bei der Überlebensrate auf den Versuchsfeldern zu beobachten. Von besonderem Interesse sind die Herkünfte Nr. 0721 (Burghausen) und 0771 (Ipsheim) auf den Versuchsfeldern Laasphe und Radolphshausen. In Laasphe gibt es nahezu keine Überlappung der Boxen dieser zwei Herkünfte, während in Radolphshausen die Boxen mehr oder weniger den gleichen Durchmesserbereich beinhalten. Für das Merkmal Überlebensrate wird ein ähnliches Muster beobachtet.

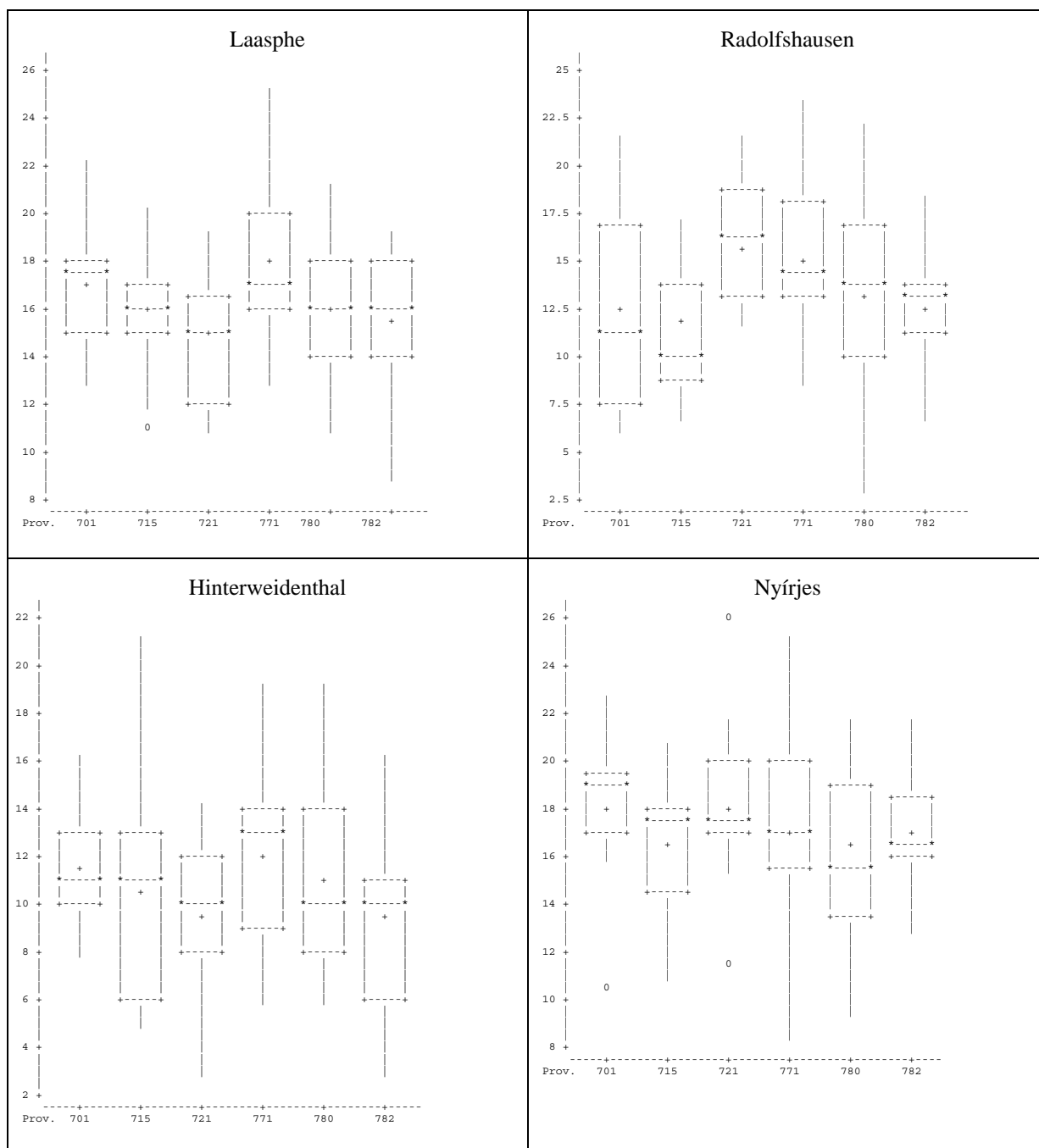


Abbildung 17: Boxplots mit Lage- und Streuparametern des Merkmals Durchmesserwachstum im Alter 29 von 6 Herkünften der Zone "Vorberge der Alpen" auf den Versuchsflächen Laasphe (oben links), Radolfshausen (oben rechts), Hinterweidenthal (unten links) und Nyírjes (unten rechts). Die Null (0) steht für Extremwerte (besonders dünne bzw. dicke Bäume).

In Abbildung 18 ist das unterschiedliche Wachstum der 6 Herkünfte an den 4 Versuchsorten dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, daß bei 5 der Herkünfte das Durchmesserwachstum bei einer Zunahme der durchschnittlichen Jahresmitteltemperatur abnimmt. Nur die Herkunft Nr.

0721 (Burghausen) reagiert anders: während sie die mattwüchsichste in Laasphe ist und die zweit schlechteste in Hinterweidenthal, ist sie die wüchsigste in Radolfshausen. Die Spanne zwischen dem geringsten und dem größten mittleren BHD beträgt in Radolfshausen 4,1 cm und in Nyírjes nur 1,9 cm.

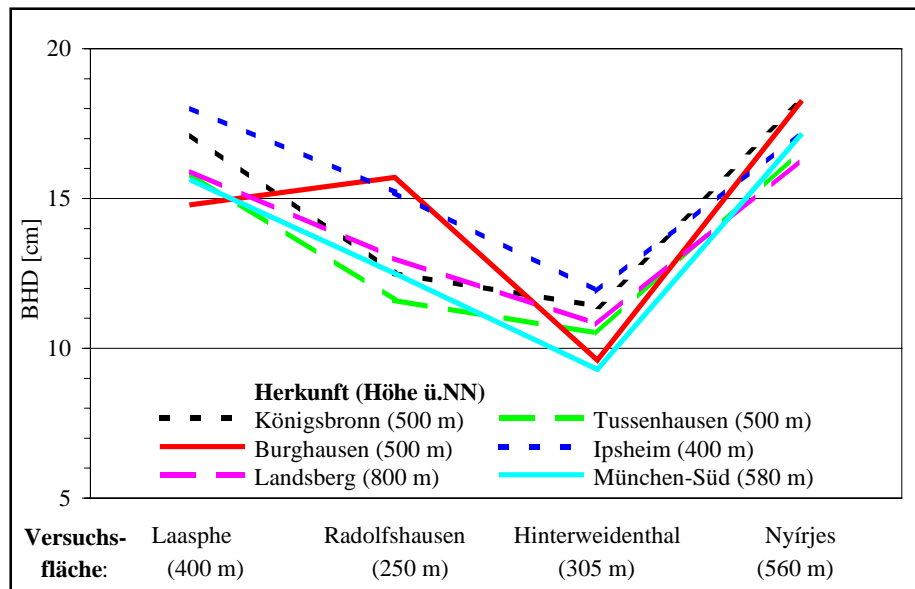


Abbildung 18: Rangänderungen beim Merkmal BHD der 6 Herkünfte der Zone „Vorberge der Alpen“ zwischen den 4 Versuchsfächen

4.2.2.4 Wertung

Auf allen Versuchsfächen, insbesondere den drei deutschen, gibt es große Unterschiede zwischen und innerhalb der Herkünfte, auch wenn nur Herkünfte einer geographischen Zone aus vergleichbarer Höhenlage und ähnlichen klimatischen Bedingungen betrachtet werden. Die Varianzkomponentenschätzung zeigt, daß der Herkunftsanteil an der Variation wichtig ist und daß die Herkunfts-Umwelt-Interaktion gering ist. Dennoch ist aus den Abbildungen 17 und 18 zu ersehen, daß bei verschiedenen Herkünften Rangwechsel zwischen den Testorten auftreten, das heißt, Genotyp-Umwelt-Interaktionen vorliegen. Besonders markant sind die Rangwechsel bei der Provenienz Burghausen.

Die Ergebnisse machen es schwer, generelle Schlußfolgerungen zu ziehen. Es ist möglich, daß die interpolierten Klimaangaben nicht mit den realen kleinräumlichen Standortsgegebenheiten übereinstimmen. Außerdem ist bekannt, daß viele der untersuchten Herkünfte nicht autochthon am Einsammlungsort sind, so daß die beobachtete Reaktion von der erwarteten abweicht, da die Herkunft eine Generation zuvor verbracht wurde.

4.3 Abschätzung möglicher Genverarmung bei Verschiebung von Vegetationszonen

Für die Abschätzung der möglichen Genverarmung und damit der Reduzierung von adaptiven genetischen Potentialen bei den zu erwartenden Verschiebungen der Vegetationszonen wurde aus institutseigenen Datensätzen der Fichte ein 25jähriger Modellbestand generiert. Für die einzelnen Bäume lagen sowohl Wachstumsdaten als auch Isoenzymdaten von sechs Genorten vor. Mit dem Waldwachstumssimulator SILVA 2.2 (Teilprojekt 3) wurde das Wachstum unter unterschiedlichen Standortbedingungen über 75 Jahre bis zum Alter von 100 Jahren simuliert. Für die am Ende eines Simulationslaufs jeweils vorhandenen Bäume wurden populationsgenetische Maße mit dem Macro-Paket MacGen berechnet. Abschließend erfolgten multiple Mittelwertsvergleiche sowohl der Wachstumsdaten als auch der populationsgenetischen Maße zwischen den einzelnen Standorten. Methodische Details und Ergebnisse sind dem anhängenden Manuskript (Anhang 1: LIESEBACH: On the adaptability of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) to the projected change of climate in Germany) zu entnehmen.

4.4 Einschätzung der evolutionären Anpassungsfähigkeit

Für die Einschätzung der evolutionären Anpassungsfähigkeit wurde von B. DEGEN das Simulationsmodell ÖKO-GEN fertiggestellt. Das populationsgenetische Simulationsmodell ÖKO-GEN ist in der Programmiersprache PowerBasic 4.0 programmiert worden. Das Modell ÖKO-GEN ist mit einem Benutzerhandbuch und Beispieldatensätzen im Internet (<http://www.uni-hamburg.de/OekoGenetik/software.htm>) abrufbar.

Das Modell ÖKO-GEN enthält die wesentlichen populationsgenetischen Prozesse (Abbildung 19). Es ist ein modular aufgebautes Modell, das in Anlehnung an die klassische Modellierung in der Populationsgenetik die räumliche und zeitliche Dynamik von Multilocus-Strukturen simulieren kann. Den Simulationen liegen drei allgemeine Modellannahmen (Diploidie, obligatorisch generative Reproduktion, endliche Populationsgröße), die für jede Simulation von Bedeutung sind, zugrunde. Das Modell arbeitet mit separierten sowie mit überlappenden Generationen. Der Nutzer kann die Prozesse des Modells steuern, d.h. die Anzahl der integrierten populationsgenetischen Prozesse und Faktoren sowie die jeweils eingestellte Parameterkonstellation spezifizieren. In Tabelle 12 sind die allgemeinen und prozeßspezifischen Parameter zusammengestellt.

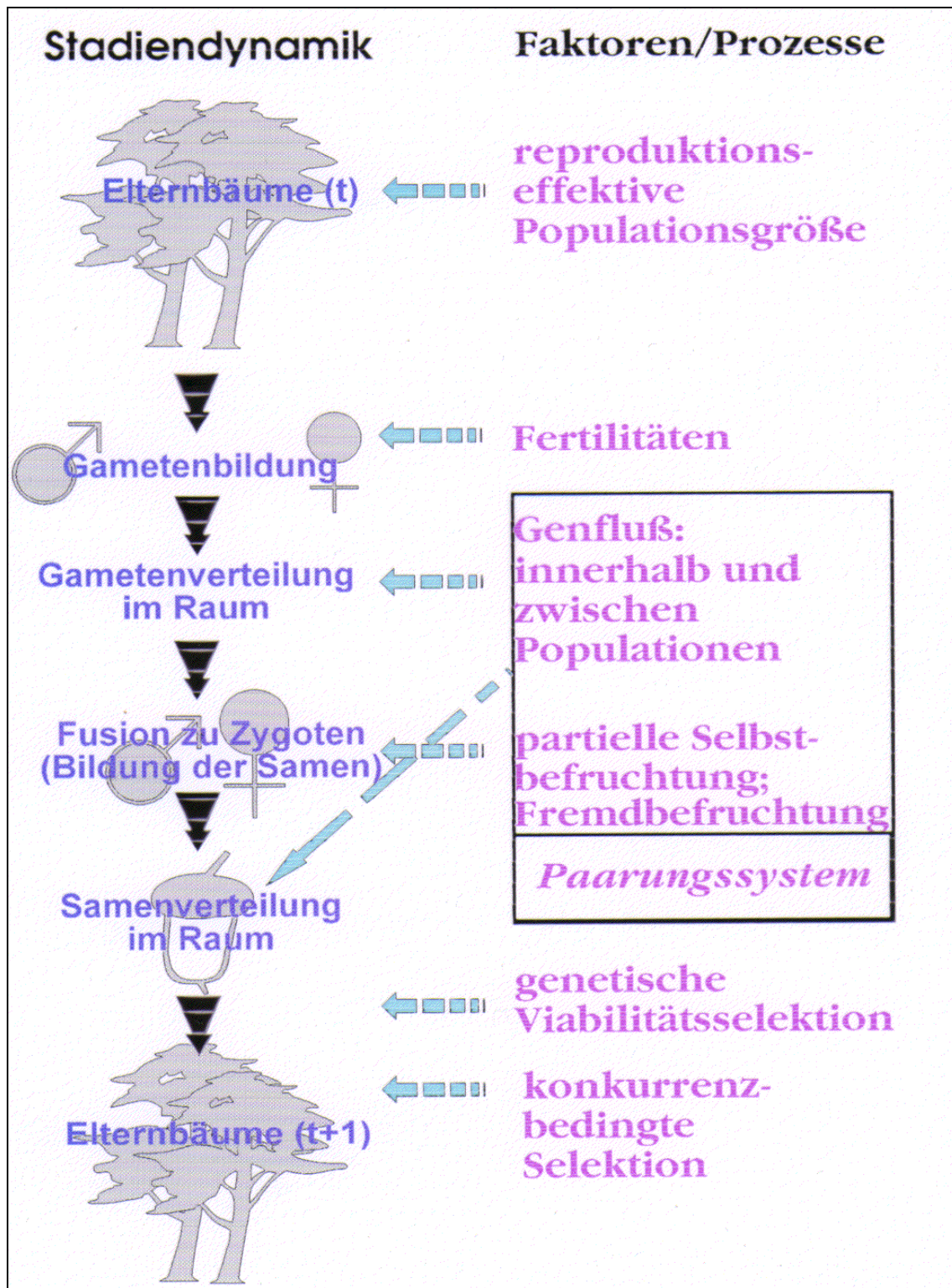


Abbildung 19: Populationsgenetisches Simulationsmodell ÖKO-GEN.

Tabelle 12: Zusammenstellung der allgemeinen und prozeßspezifischen Parameter des Simulationsmodells ÖKO-GEN

| Allgemeine Parameter | | Parameter steuert / beeinflusst |
|------------------------------------|---|---|
| 1 | Maximale Populationsgröße der Altbäume | genetische Drift, Verwandtschaftspaarung |
| 2 | Anzahl blühender Bäume | reproduktionseffektive Populationsgröße, genetische Drift, Verwandtschaftspaarung |
| 3 | Anzahl Pollen / Eizellen pro Baum | reproduktionseffektive Populationsgröße, genetische Drift, Sexualfunktionen |
| 4 | Verteilungsfunktion der Pollen (Pollennahtransport) | Exponentielle Verteilung der Pollen (Genfluß, Verwandtschaftspaarung) |
| 5 | Kronenradius | reproduktionseffektive Populationsgröße, Genfluß, Verwandtschaftspaarung |
| 6 | Verteilungsfunktion der Samen | exponentielle Verteilung der Samen (Genfluß) |
| 7 | Radius der Konkurrenzwirkung | konkurrenzbedingte Selektion |
| 8 | Maximale Anzahl Konkurrenten in diesem Radius | konkurrenzbedingte Selektion |
| 9 | Überlebenswahrscheinlichkeit von Selbstungen | Viabilitätsselektion gegen Selbstungen, Inzucht |
| 10 | Hauptwindrichtung | Genfluß |
| Prozeßspezifische Parameter | | |
| 11 | Genotypische Anzahl an Pollen und Eizellen (Fertilitätsparameter) | Sexualsystem / Fertilitäten |
| 12 | Anteil Fremdpollen | Genfluß zwischen Populationen, Anteil Selbstungen / Fremdbefruchtungen, Randeffekte |
| 13 | Viabilitätsparameter (Gesamtzahl an Parametern ist vom Selektionsregime abhängig) | genetische Viabilitätsselektion |

Ein Simulationszyklus, d.h. eine Generation, besteht aus 11 Simulationsschritten:

- 1 Einlesen der Multilocus-Genotypen und der räumlichen Position der Elternbäume
- 2 Einlesen der allgemeinen und spezifischen Parameter
- 3 Auswahl der Bäume, die an der Gametenbildung beteiligt sind
- 4 Zuweisung der Fertilitäten an die ausgewählten Bäume
- 5 Bildung und räumliche Verteilung der Pollen bei der Befruchtung und Zygotenbildung
- 6 Postzygotale Viabilitätsselektion gegen Selbstungen
- 7 Räumliche Verteilung der Samen
- 8 Genetische Viabilitätsselektion unter den Nachkommen
- 9 Selektion (natürliche [konkurrenzbedingte Mortalität], künstliche [Pflegetechniken])
- 10 Ausgabe der Simulationsergebnisse
- 11 Ende oder Fortfahren mit Punkt 3

Ein Flußdiagramm ist in Abbildung 20 dargestellt.

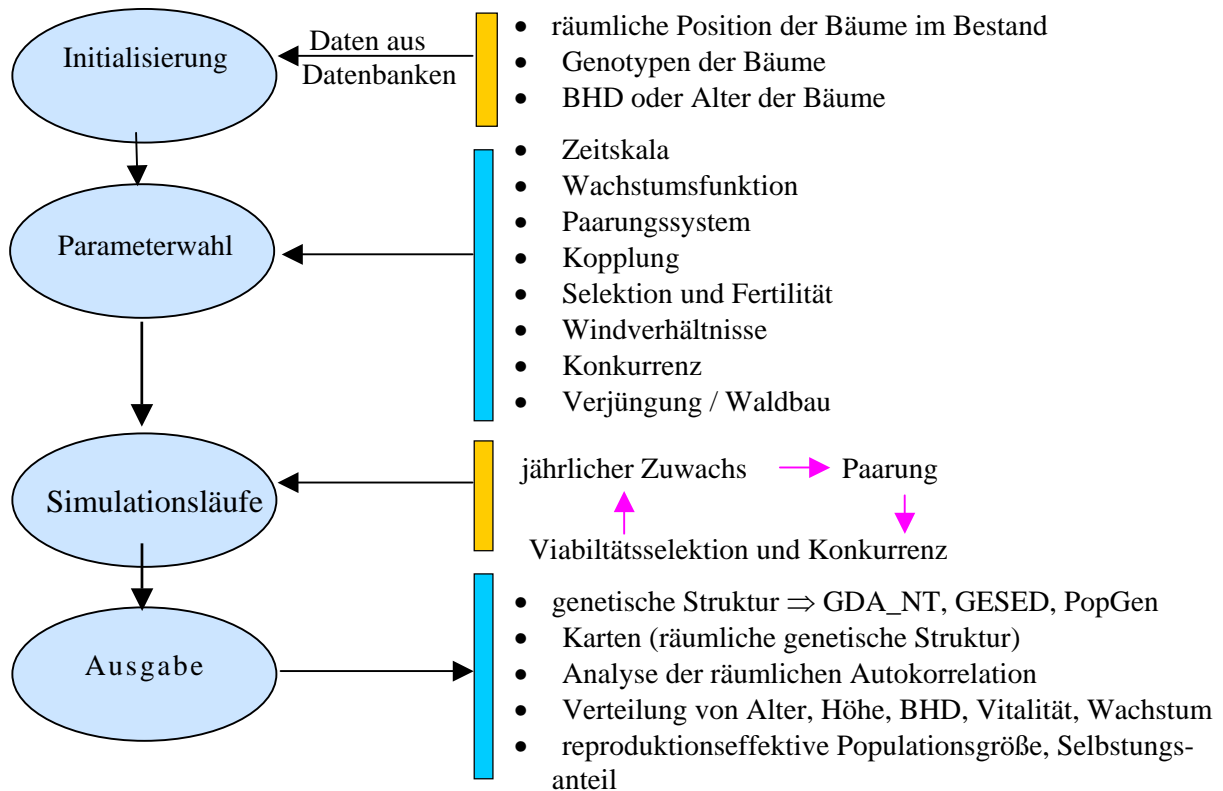


Abbildung 20: Flußdiagramm zum populationsgenetischen Simulationsmodell ÖKO-GEN

Das populationsgenetische Simulationsmodell ÖKO-GEN wurde anhand experimentell in zwei Modellbeständen erhobenen Daten von DEGEN und LLAMAS-GÓMEZ⁸ zur Einschätzung und Charakterisierung der Anpassungsfähigkeit von Buche und Eiche zur Erarbeitung von Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Forstwirtschaft zum Schutz der genetischen Vielfalt von Waldbaumarten (BML-Forschungsauftrag “Biodiversität in Wäldern”) eingesetzt.

Mit dem populationsgenetischen Simulationsmodell ÖKO-GEN lassen sich für Bestände, deren Wachstum mit dem differenzierten Wachstumsmodell SILVA simuliert wurden, populationsgenetische Maße für Folgegenerationen abschätzen. Die für das Initialisierung von ÖKO-GEN müssen für diese Bestände genetische Inventuren anhand von Isoenzym-Genmarkern vorliegen. Die weiterhin erforderlichen Parameter räumliche Position der Bäume im Bestand sowie deren Durchmesser (BHD) werden vom Wachstumssimulator SILVA bereitgestellt.

5. Verwertungshinweis

Prognosen zur globalen Erwärmung der gemäßigten Breiten lassen regional differenzierte Klimaänderungen erwarten. Für Deutschland wird insgesamt eine Erwärmung erwartet. Im Rahmen einer Abschätzung der Folgen von Klimaänderungen für Waldökosysteme ergibt sich die Notwendigkeit, die Anpassungsfähigkeit der Baumarten zu bewerten, nach Möglichkeit zu bewahren und bei waldbaulichen Maßnahmen zu berücksichtigen.

Über Auswirkungen, die von Klimaänderungen auf die genetische Vielfalt von Waldbäumen zu erwarten sind, liegen in Deutschland nur wenige Forschungsergebnisse vor. Die internationale Literatur konzentriert sich im Wesentlichen auf die Auswertung von phänologischen Merkmalen. Eine mögliche Verringerung der genetischen Vielfalt wird bei diesen Betrachtungen nicht oder nur untergeordnet betrachtet.

In dem am Institut für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft durchgeführten Vorhaben wurden am Beispiel der Baumarten Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) Aussagen im Hinblick auf die prognostizierten Klimaänderungen zur Angepaßtheit und Anpassungsfähigkeit erarbeitet. Beide Baumarten sind in weiten Teilen Deutschlands verbreitet und von großer wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Aufgrund ihrer großen geographischen Verbreitung sind die einzelnen Populationen der beiden Baumarten an unterschiedliche Klimabedingungen angepaßt bzw. unterscheiden sich in ihren klimatischen Ansprüchen. Mit den Daten von Versuchsflächen des Institutes wurden die geographische Variation und die genetische Determination verschiedener Merkmale ermittelt, und für anpassungsrelevante Merkmale, wie Mortalität, Phänologie, Wuchsdynamik oder Gesundheitszustand, können Genotyp-Umwelt-Interaktionen geschätzt, die Reaktionsnormen von Herkünften beschrieben und die Anpassungsfähigkeit analysiert.

Die Ergebnisse des Vorhabens sind in Form von Vorträgen, Postern und Publikationen zugänglich gemacht worden. Die Verwertung erfolgt durch Nutzung der Ergebnisse durch Anwender im Bereich von Wissenschaft und forstlicher Praxis. Im wissenschaftlichen Bereich lassen sich durch die Einbeziehung der genetischen Variation Ertragsmodelle differenzierter parametrisieren. Sukzessionsmodelle lassen sich naturnäher parametrisieren als bei der Verwendung von Ertragstafelwerten oder zufällig gewählten Einzelwerten. In der forstlichen Praxis dienen die Ergebnisse Entscheidungen über die Anbaueignung von Provenienzen u.a. beim Waldumbau. Die Ergebnisse dienen zudem der Politikberatung zu Maßnahmen angesichts der prognostizierten Klimaänderungen.

5.1 Publikationen

- DEGEN, B. (1998): ÖKO-GEN. <http://www.rrz.uni-hamburg.de/OekoGenetik/index.htm>
- LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F. (1998): Variation in flushing of beech provenances: Evaluation of greenhouse experiment and outdoor observations. (Abstract). In: IUFRO 18th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems. Forest Growth Responses to the Pollution Climate of the 21st Century. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 21-23rd September 1998, S. 96.
- KRIEBITZSCH, W.U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F. (1998): Variation of growth parameters among beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances grown under different CO₂ and light conditions. (Abstract). In: IUFRO 18th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems. Forest Growth Responses to the Pollution Climate of the 21st Century. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 21-23rd September 1998, S. 70.
- KRIEBITZSCH, W.U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F. (1998): Einfluß eines erhöhten CO₂-Gehaltes in der Luft auf Wachstumsparameter verschiedener Rotbuchen-Provenienzen (*Fagus sylvatica* L.) bei unterschiedlichem Lichtgenuß. Forstw. Cbl., Berlin 118, S. 51-65.
- SCHOLZ, F.; LIESEBACH, M. (1999): Klima und Forstwirtschaft – Beiträge der Waldökosystemforschung. Berichte über Landwirtschaft, Münster 77, 1, S. 59-64.
- KRIEBITZSCH, W.U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F. (1999): Wechselwirkungen von CO₂-Gehalt und Licht auf Wachstumsparameter verschiedener Rotbuchen-Provenienzen (*Fagus sylvatica* L.). Berichte über Landwirtschaft, Münster 77, 1, S. 65-76.
- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; SCHOLZ, F. (1999): Zur genetischen Anpassungsfähigkeit der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Berichte über Landwirtschaft, Münster 77, 1, S. 128-133.
- LIESEBACH, M.; KÖNIG, A.; UJVÁRI-JÁRMAY, E. (1999): Provenance-environment interactions of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) on German and Hungarian test sites. In: Genetic response of forest systems to changing environmental conditions – analysis and management, Book of abstracts, University of Munich, Freising, Germany, September 12-17, 1999, S. 20.
- LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Genetic studies by isozyme gene loci on climate change in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) field trials.
- LIESEBACH, M.; KÖNIG, A.; UJVÁRI-JÁRMAY, E. (2000): Provenance-environment interactions of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) on German and Hungarian test sites. (Im Druck).
- KRIEBITZSCH, W.U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F. (2000): Wechselwirkungen von CO₂-Gehalt und Licht auf Wachstumsparameter verschiedener Rotbuchen-Provenienzen (*Fagus sylvatica* L.). S. 98.
- KRIEBITZSCH, W.-U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Einfluß eines mehrjährig erhöhten CO₂-Gehaltes in der Luft auf das Wachstum verschiedener Rotbuchen-Provenienzen (*Fagus sylvatica* L.). I. Entwicklung von Blattparametern in den Jahren 1997 bis 1999. (In Vorbereitung)

5.2 Vorträge

- KRIEBITZSCH, W.-U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Zur ökologischen Amplitude von Buche (*Fagus sylvatica*) hinsichtlich Klimafaktoren. Klimawirkungsforschung im Bereich des BML, 2. Statusseminar des Arbeitskreises "Klimaänderung", in Braunschweig am 5. und 6.5.1998.
- SCHOLZ, F.: Klima und Forstwirtschaft - Beiträge der Waldökosystemforschung. Klimawirkungsforschung im Bereich des BML, 2. Statusseminar des Arbeitskreises "Klimaänderung", in Braunschweig am 5. und 6.5.1998.

- LIESEBACH, M.: Variation im Austrieb bei Buchenherkünften im Gewächshaus und im Freiland. Freising, 11.5.1998.
- LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Variation in flushing of beech provenances: Evaluation of greenhouse experiment and outdoor observations. IUFRO 18th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems. Forest Growth Responses to the Pollution Climate of the 21st Century, in Edinburgh/Vereinigtes Königreich vom 20. bis 23.9.1998.
- LIESEBACH, M.: Genetische Anpassungsfähigkeit: Verschiebung genetischer Einheiten in andere Klimate. Göttingen, 22.10.1998.
- LIESEBACH, M.; KÖNIG, A.; UJVÁRI-JÁRMAY, E.: Zum Wachstum ausgewählter Herkünfte des IUFRO-Fichten-Provenienzversuchs von 1964/68 an verschiedenen Standorten. Großhansdorf, 21.06.1999.
- LIESEBACH, M.; KÖNIG, A.; UJVÁRI-JÁRMAY, E.: Provenance-environment interactions of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) on German and Hungarian test sites. Freising, 13.09.1999.
- SCHOLZ, F.; LIESEBACH, M.: Genetische Anpassungsfähigkeit der wichtigsten Waldbaumarten in Deutschland. Freising, 27.01.2000.
- LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.; KÖNIG, A.; UJVÁRI-JÁRMAY, E.: Zur genetischen Anpassungsfähigkeit ausgewählter Waldbaumpopulationen im Hinblick auf prognostizierte Klimaänderungen. Freising, 27.01.2000.
- LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Genetic studies by isozyme gene loci on climate change in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) field trials. Houghton/ U.S.A., 30.05.2000.
- LIESEBACH, M., SCHOLZ, F.: Eine neue Methode zur Analyse des Einflusses unterschiedlicher Standorte auf die genetische Struktur von Waldbaumpopulationen. Grainau, 17.11.2000.

5.3 Poster

- LIESEBACH, M.; DEGEN, B.; SCHOLZ, F.: Genetische Anpassungsfähigkeit der wichtigsten Waldbaumarten in Deutschland. Klimawirkungsforschung im Bereich des BML, 2. Statusseminar des Arbeitskreises "Klimaänderung", in Braunschweig am 5. und 6.5.1998.
- VOLLRATH, B.; DEGEN, B.; KRUSCHE, D.; SCHOLZ, F.: Ökologisch-genetische Untersuchungen an Fichtenklonen zur Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Klimabedingungen verschiedener Höhenstufen am Wank. Klimawirkungsforschung im Bereich des BML, 2. Statusseminar des Arbeitskreises "Klimaänderung", in Braunschweig am 5. und 6.5.1998.
- LIESEBACH, M.: Zur Anpassungsfähigkeit von Waldbäumen an Klimaänderungen. Großhansdorf, 19.09.1998.
- KRIEBITZSCH, W.U.; LIESEBACH, M.; SCHOLZ, F.: Variation of growth parameters among beech (*Fagus sylvatica* L.) provenances grown under different CO₂ and light conditions. IUFRO 18th International Meeting for Specialists in Air Pollution Effects on Forest Ecosystems. Forest Growth Responses to the Pollution Climate of the 21st Century, in Edinburgh/Vereinigtes Königreich vom 20. bis 23.9.1998.
- LIESEBACH, M.: Zur Anpassungsfähigkeit von Waldbäumen an Klimaänderungen. Hamburg, 26./27.09.1998.
- BARTELHEIMER, P.; BONK, S.; CRAMER, W.; DEGEN, B.; DIETER, M.; DÖBBELER, H.; DURSKEY, J.; DUSCHL, C.; FRÖDLING, D.; GUNDERMANN, E.; HÖLZER, W.; LASCH, P.; LIESEBACH, M.; LINDNER, M.; POMMERENING, A.; POTT, M.; PRETZSCH, H.; SCHLOTT, W.; SCHOLZ, F.; SPELLMANN, H.; SUDA, M.; WOLFF, B.: The German Forest Sector under Global Change. Joensuu / Finnland, 5.-13.8.1999.

LINDNER, M.; CRAMER, W.; PRETZSCH, H.; SCHOLZ, F.; SUDA, M.; WOLFF, B.; BARTELHEIMER, P.; BONK, S.; DEGEN, B.; DIETER, M.; DÖBBELER, H.; DURSKEY, J.; DUSCHL, C.; FRÖDLING, D.; GUNDERMANN, E.; HÖLZER, W.; LASCH, P.; LIESEBACH, M.; POMMERENING, A.; POTT, M.; SCHLOTT, W.; SPELLMANN, H.: Concept of an integrated assessment of global change impacts on forests and the forest sector in Germany. Reading / Vereinigtes Königreich, 20.-23.9.1999.

-
- ¹ DEGEN, B. (1997): Supplement zum Abschlußbericht Ökologische Genetik. S. 483-521. In UBA (Hrsg.): Auswertung der Waldschadensforschungsergebnisse (1982-1992) zur Aufklärung komplexer Ursache-Wirkungsbeziehungen mit Hilfe systemanalytischer Methoden. E. Schmidt Vlg., Berlin.
- ² DIETRICHSON, J.; SKRØPPA, T. (1977): Skadene på granskogen i vinter og valg av provenienser. Skogeieren (6-7): 10-12.
- ³ MITSCHERLICH, G. (1963): Das Wachstum der Fichte in Europa. Allg. Forst- u. Jagdztg. 134: 29-45, 61-72, 93-110, 125-146.
- ⁴ SCHMIDT-VOGT, H. (1974): Das natürliche Verbreitungsgebiet der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Eurasien. Allg. Forst- u. Jagdztg. 145: 185-197.
- ⁵ Felbermeier, B. (1993): Der Einfluß von Klimaänderungen auf die Areale von Baumarten - Methodenstudie und regionale Abschätzung für die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) in Bayern. Forstl. Forschungsberichte Münch., Nr. 134, 214 S.
- ⁶ LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen. Ulmer, Stuttgart, 5. Aufl., 394 S.
- ⁷ LYR, H.; FIEDLER, H.-J.; TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. G. Fischer, Jena, Stuttgart, 620 S.
- ⁸ DEGEN, B.; LLAMAS-GÓMEZ, L. (1999): Erarbeitung von Entscheidungshilfen für eine nachhaltige Forstwirtschaft zum Schutz der genetischen Vielfalt von Waldbaum- und Waldstraucharten. S. 1-139. In SCHOLZ, F., DEGEN, B. (Red.): Wichtige Einflußfaktoren auf die Biodiversität von Wäldern. Mitt. der BFH, Nr. 195.