

# Rheinland-Pfalz



**Mitteilungen  
aus der Forstlichen Versuchsanstalt  
Rheinland-Pfalz**

**Nr. 34/95**

**Autorenkollektiv**

**Genetik und Waldbau**

**unter besonderer Berücksichtigung**

**der heimischen Eichenarten**



**Genetik und Waldbau**  
**unter besonderer Berücksichtigung**  
**der heimischen Eichenarten**

*Tagungsbericht über die*  
*22. Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft*  
*für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung*  
*vom 18. bis 20. Oktober 1994*  
*in Neustadt an der Weinstraße*  
*(Hambacher Schloß)*

**Herausgeber:** Werner Maurer und Uwe Tabel

**Genetics and Silviculture**  
**with Special Emphasis on**  
**the Indigenous Oak Tree Species**

*Proceedings of the*  
*22nd International Meeting of the Working Party*  
*of Forest Genetics and Forest Plant Breeding*  
*October 18 - 20, 1994*  
*in Neustadt an der Weinstraße*  
*(Hambach Castle)*

**Editors:** Werner Maurer and Uwe Tabel

Genetik und Waldbau  
unter besonderer Berücksichtigung  
der heimischen Nadelarten

Vortrag über die

32. Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft

ISSN 0931 - 9662 Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 34/95

vom 18. bis 20. Oktober 1994

in Neustadt an der Weinstraße

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber: Walter Maurer und Uwe Tappe

Herausgeber: Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

Verantwortlich: Der Leiter der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

Dokumentation: Mitt. FVA, Trippstadt  
Nr. 34/95, 349 S.

Zu beziehen über die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Schloß, D-67705 Trippstadt,  
Telefon: ++49 (0)6306-911-0; Telefax: ++49 (0)6306-2821.

Proceedings of the

32nd International Meeting of the Working Party

of Forest Genetics and Forest Plant Breeding

October 18 - 20, 1994

in Neustadt an der Weinstraße

(Limbach Castle)

Editors: Walter Maurer and Uwe Tappe

## *Der Tagungsort*

### *- Das Hambacher Schloß -*

*malerisch gelegen am Haardtrand bei Neustadt an der Weinstraße  
zwischen pfälzischer Reben- und Waldlandschaft*

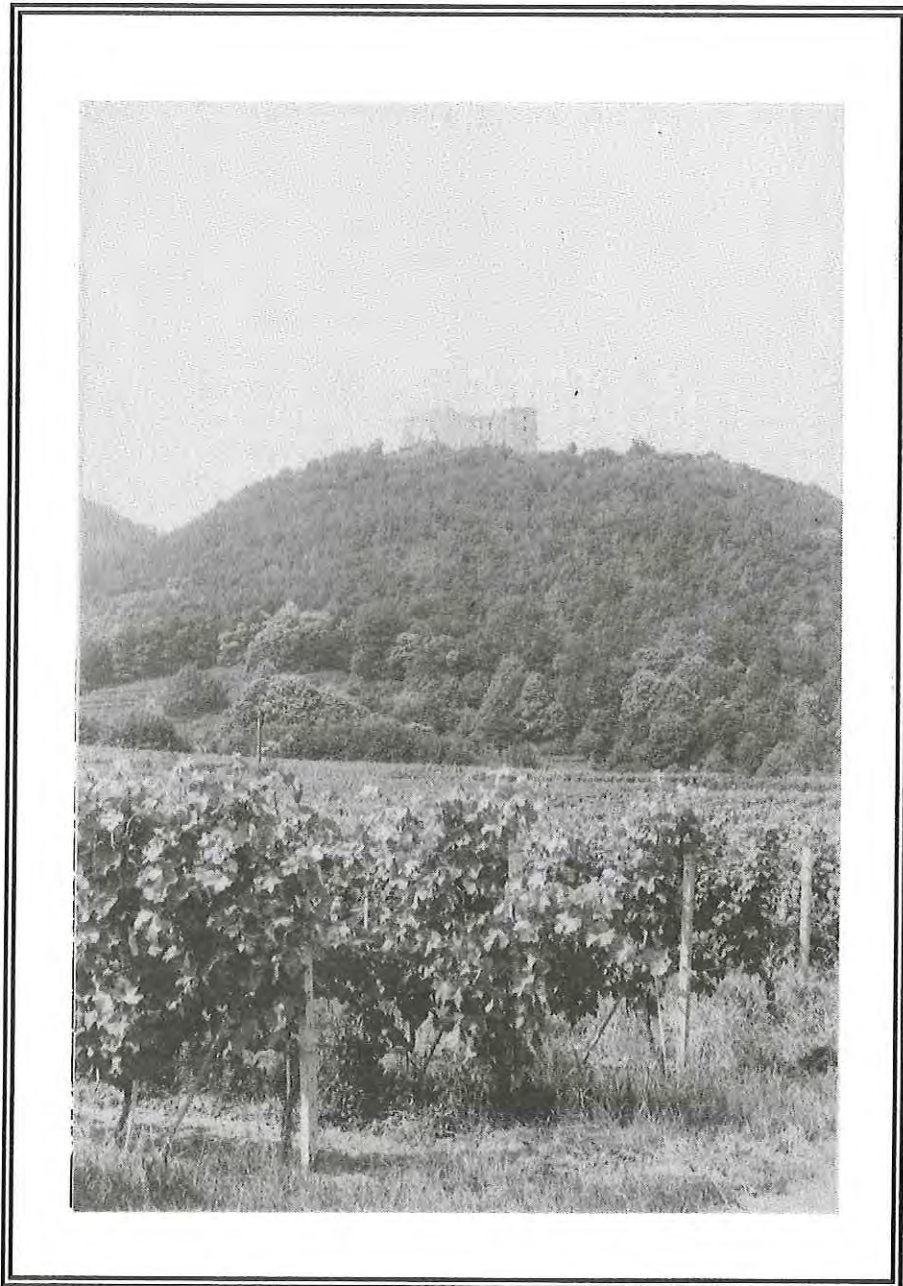


Foto: W. Maurer

Der Jagdplatz

- Das Hamburger Schloss -

ausgeführt von dem Architekten bei der Restauration des Schlosses  
ausgeführt von dem Architekten bei der Restauration des Schlosses

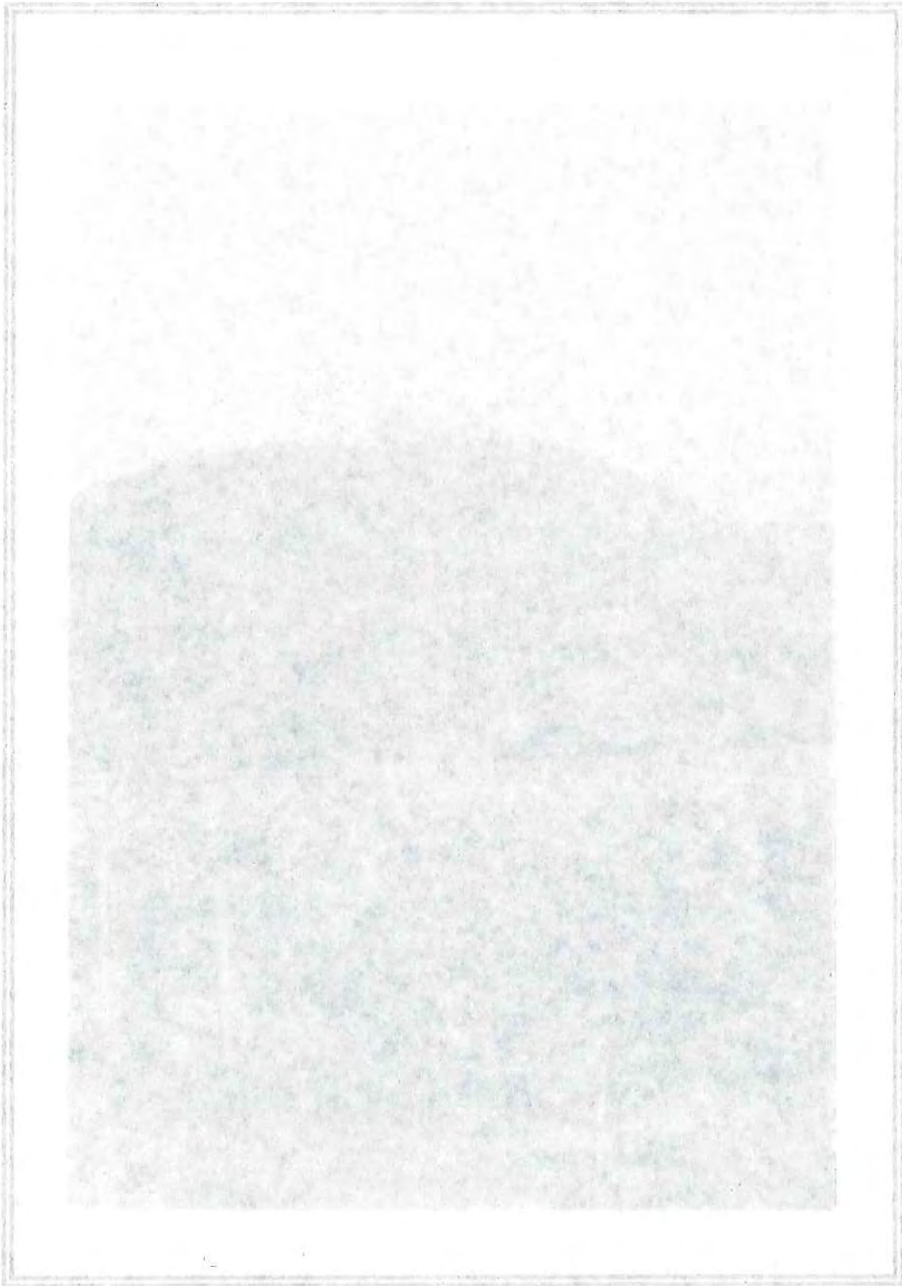


Foto: W. Altmann

2



Forstliche  
Versuchsanstalt  
Rheinland-Pfalz

## 22. Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung

18. - 20. Oktober 1994 in Neustadt an der Weinstraße (Hambacher Schloß)

### Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten

- Vortragstagung mit Exkursion -

#### Vortragsschwerpunkte:

- Genetische Differenzierung der heimischen Eichenarten
- Verjüngungsverfahren und angepaßte genetische Vielfalt
- Genressourcen-Erhaltungsmaßnahmen für heimische Eichenarten
- Vermehrungs- und Konservierungsmethoden
- Aktueller Stand der Untersuchungen zur Artenidentifizierung mittels morphologischer und genetischer Merkmale

#### Exkursion:

- Die Traubeneiche im Pfälzerwald von der Begründung bis zur Hiebsreife
- Erstaufforstungen mit Laubbaumarten in der Nordpfalz

#### Eiche (*Quercus L.*)

- Baumartenanteil in der BRD: 9 %
- zweitwichtigster Laubbaum nach der Buche
- ökologisch sehr wertvoll für vielfältige Waldlebensgemeinschaften
- mit Pfahl- und Herzwurzelsystem, hohe Stabilität
- 45 % der Eichen waren 1993 in der BRD deutlich geschädigt (Schadstufen 2 - 4, Waldzustandsbericht der Bundesregierung)
- äußerst langlebige Bäume, bis mehrere hundert (bis 1000) Jahre alt
- erreicht Durchmesserstärken bis zu 2 m
- oft in Mischung mit Buche, Hainbuche, Winterlinde und anderen Laubbaumarten sowie mit Kiefer

#### Überwiegende Vorkommen in Mitteleuropa:

##### Traubeneiche:

Hügel- und Bergland  
der Mittelgebirge

trockenere Standorte

##### Stieleiche:

Tiefland, grundwasser-  
beeinflusste Flußauen  
und Niederungen

frischere Standorte

##### *historische Nutzungsformen:*

Bauholz  
Schweinemast  
Lohrinde für die Gerberei (Mittelwald)  
Brennholz (Niederwald)

##### *heutige Nutzungsform:*

Erzeugung starken Qualitäts-  
holzes im Zeitraum bis zu 300 J. (Hochwald)  
überdurchschnittliche Rohholz-  
erlöse, Rekordpreise bis weit  
über 10.000 DM/m<sup>3</sup> für Furnierholz

##### *Holzeigenschaften:*

ausgesprochen dauerhaft und fest

##### *Holzverwendung:*

Furnier, Massivmöbel, Innenausbau,  
Wasserbauten, Landschaftsbau,  
Schiffs- und Fahrzeugbau, Faß- und  
Werkzeugbau

Die *Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung* ist eine freie Fördergemeinschaft von Fachpersonen, die forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalten sowie Hochschulinstituten angehören und die sich - auch unter Berücksichtigung privater Initiativen - mit Fragen der Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung befassen.

Die *Förderaufgaben* betreffen insbesondere: - die fachspezifische Aussprache und Information,  
- die gegenseitige Unterstützung,  
- die Veranstaltung von Tagungen.





# Inhaltsverzeichnis | Contents

Seite

**Tagungsort: Das Hambacher Schloß**

**Conference locality: The Hambach Castle**

**Tagungsposter | Conference Announcement Poster**

**Inhaltsverzeichnis | Contents** ..... i

**Vorwort** ..... v

**Preface** ..... ix

**Teilnehmerliste | List of participants** ..... xiii

## **Einführung / Introduction**

**Walter Eder und Bernd Rose:**

Waldbauliche Bedeutung der heimischen Eichenarten in Rheinland-Pfalz

*Silvicultural relevance of the indigenous oak species in Rhineland-Palatinate* ..... 1

## **Genetische Differenzierung der heimischen Eichenarten**

### **Genetic differentiation of the indigenous oak species**

**Rémy J. Petit, Brigitte Demesure, Emmanuel Pineau und Antoine Kremer:**

Genetische Differenzierung in lokalem und kontinentalem Ausmaß bei

europäischen Eichenarten: die Bedeutung geschichtlicher Faktoren

*Genetic differentiation at a local and continental scale in European*

*oak species: the importance of historical factors* ..... 22

**Gunar Schüte:**

Kontrollierte Kreuzungen und Entwicklung der Hybriden von Stiel- und

Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)

*Controlled crosses and development of hybrids from pedunculate*

*and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea**

*[Matt.] Liebl.)* ..... 38

**Bruno R. Stephan, Armin König, Klaus Liepe und Heiner Venne:**

Klimakammer- und Freilandversuche zur Frosthärte und Phänologie

von Herkünften der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.)

*Growth chamber and field trials on frost hardiness and phenology of*

*provenances of sessile oak (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.)* ..... 50

**Jochen Kleinschmit und Josef Svolba:**

Intraspezifische Variation von Wachstum und Stammform bei *Quercus robur*  
und *Quercus petraea*

*Intraspecific variation of growth and stem form in Quercus robur  
and Quercus petraea* ..... 75

**Albrecht Franke:**

Die Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung Baden-Württemberg 1992

- Erste Ergebnisse der Anzuchtphase -

*Progeny test of pedunculate oak from Baden-Württemberg 1992*

*- First results of seedling measurements -* ..... 100

**Gérard Nepveu:**

Die genetische Kontrolle der Holzqualität bei *Quercus robur* und  
*Quercus petraea* (Interspecies- und Intraspecies-Ebenen): eine Übersicht

*The genetic control of wood quality in Quercus robur and*

*Quercus petraea (interspecific and intraspecific levels): a review* ..... 114

**Verjüngungsverfahren und angepaßte genetische Vielfalt*****Regeneration methods and adapted genetic diversity*****Rudolf Grimm:**

Nachzucht und Kulturpflege von Werteichenbeständen in den Buntsandstein-  
gebieten Unterfrankens - also im wesentlichen im Spessart, Bayer. Odenwald  
und Vorrhön

*Regeneration and tending of high-quality oak stands in the new red  
sandstone regions of Lower Franconia - particularly in the Spessart,*

*Bavarian Odenwald and Vorrhön* ..... 136

**Burghard von Lüpke:**

Überschirmungstoleranz von Stiel- und Traubeneichen als Voraussetzung für  
Verjüngungsverfahren unter Schirm

*Sheltering tolerance of pedunculate and sessile oaks as a requirement for*

*methods of regeneration under shelter* ..... 141

**Heinrich Spiecker:**

Ein Vergleich natürlicher und pflegebedingter Selektionsprozesse

*A comparison of natural selection processes and selection by management* ..... 161

**Martin Ziehe, Hans-Rudolf Gregorius und Sven Herzog:**

Populationsgröße, genetische Variation und Anpassung - Betrachtungen zu  
Risiken für die forstliche Praxis bei der Bestandesbegründung

*Population size, genetic variation and adaptation - reflections on*

*risks associated with the establishment of forest stands* ..... 180

## **Genressourcen-Erhaltungsmaßnahmen für heimische Eichenarten**

### ***Measures for the conservation of the genetic resources of indigenous oak species***

#### **Günter Hartmann:**

Zum Gesundheitszustand der Eichen im norddeutschen Raum im Hinblick auf „Eichensterben“ und Immissionsbelastung

*On the health status of oaks growing in northern Germany in view of oak decline and pollution load* .....202

#### **Uwe Tabel:**

Erhaltungsmaßnahmen für Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) in der Bundesrepublik Deutschland

- eine Übersicht -

*Conservation measures for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) in the Federal Republic of Germany*

*- a survey -* .....207

### **Gastbeitrag / Guest contribution**

#### **Valeriu Enescu:**

Genetische Ressourcen der Eichenarten in Rumänien:

Durchführung, Aussichten und Überwachung

*Genetic resources of oak species in Romania:*

*Achievement, prospects and its monitoring* .....219

### **Einstieg zur Exkursion: Erstaufforstungen mit Laubbaumarten in der Nordpfalz**

***Lead-in to the excursion: Afforestation using broad-leaved tree species in the northern Palatinate region***

#### **Werner Maurer:**

Isoenzymatische und morphologische Untersuchungen zur Linde

*Isozymatic and morphological investigations on linden* .....234

## Vermehrungs- und Konservierungsmethoden *Propagation and preservation methods*

### **Wolfgang Spethmann:**

Optimierung der Eichen-Saatgutbehandlung bei Ernte und Lagerung  
*Optimizing the treatment of oak seeds during crop and storage* ..... 244

### **Andreas Meier-Dinkel und Gerhard Elsner:**

Möglichkeiten und Probleme bei der vegetativen Vermehrung der Eiche  
*Practicability of and problems in the vegetative propagation of oak*..... 256

### **Karl Gebhardt und Ursula Frühwacht-Wilms:**

Langzeitlagerung von Eichen-Sproßkulturen  
*Long-term storage of oak shoot tip cultures*..... 275

## Aktueller Stand der Untersuchungen zur Artendifferenzierung mittels morphologischer und genetischer Merkmale *Present state of the investigations on species differentiation by using morphological and genetic traits*

### **Gregor Aas:**

Die Behaarung der Blätter von Traubeneiche und Stieleiche (*Quercus petraea*  
und *Quercus robur*): Variabilität und taxonomische Bedeutung  
*Leaf pubescence of sessile oak and pedunculate oak (Quercus petraea  
and Quercus robur): variability and taxonomic relevance* ..... 297

### **Michaela Rommel, Gunter Rothe, Werner Maurer und Uwe Tabel:**

Artbestimmung bei Stiel- und Traubeneichen  
*Species classification for pedunculate and sessile oaks*..... 310

### **Sabine Löchelt:**

Isozymenanalysen im Rahmen der Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung  
Baden-Württemberg 1992  
*Isozyme analysis concomitant the progeny test of pedunculate oak  
from Baden-Württemberg 1992* ..... 321

### **Jörg R.G. Kleinschmit:**

Vergleich morphologischer und genetischer Unterscheidungsmerkmale bei  
Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)  
*Comparison of morphological and genetic discrimination characteristics  
in pedunculate oak (Quercus robur L.) and sessile oak  
(Quercus petraea [Matt.] Liebl.)* ..... 327

# Vorwort

Die **Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung** wird getragen von den forstlichen Züchtungsinstitutionen und entsprechenden Hochschulinstituten der Bundesrepublik Deutschland. Ausländische Institute beteiligen sich temporär. Seit 1950 veranstaltet die Arbeitsgemeinschaft in ein- bis dreijährigen Abständen Tagungen zu schwerpunktmäßigen Fachfragen. Ein besonderes Anliegen ist dabei, nach der Erörterung wissenschaftlicher Erkenntnisse deren Umsetzung in die forstliche Praxis zu fördern.

Die **22. Internationale Tagung der Arbeitsgemeinschaft** wurde durch die Abteilung „Forstliche Ökologie und Forstpflanzenenerzeugung“ der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz organisiert und fand am 18. - 20. Oktober 1994 auf dem Hambacher Schloß bei Neustadt an der Weinstraße unter dem Thema „**Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten**“ statt.

Die Tagung wurde durch die sehr hilfreiche materielle Unterstützung des Ministeriums für Bildung und Kultur Rheinland-Pfalz gefördert, welches die Nutzung des Hambacher Schlosses als anspruchsvollen Rahmen ermöglichte.

Das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gewährleistete durch seine finanzielle Unterstützung die für die Tagung wertvolle Teilnahme einiger Forstwissenschaftler aus Osteuropa.

Bei der organisatorischen Vorbereitung und Durchführung dieser internationalen Veranstaltung (mit Teilnehmern aus 16 Nationen) war die engagierte Betreuung durch den Geschäftsführer des Hambacher Schlosses, Herrn Reinhard Hechel, eine große Hilfe.

Für alle diese wertvollen Unterstützungen wird an dieser Stelle besonders gedankt.

Zur **Tagungseröffnung** überbrachte Ministerialrat Dr. Walter EDER die Grüße der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz. In seinem anschließenden Referat zur waldbaulichen Bedeutung der heimischen Eichenarten in Rheinland-Pfalz wird die Wichtigkeit standörtlicher Grundlagen hervorgehoben, die Entwicklung, der Stand und die weitere Zielsetzung des Eichenanbaus dargestellt sowie insbesondere die wirtschaftliche Bedeutung der Werteichen herausgestellt.

Der erste Vortragsblock behandelt die „*Genetische Differenzierung der heimischen Eichenarten*“ und wurde eröffnet durch PETIT, der aufgrund gefundener geographischer Variation der Chloroplasten-DNA an Eiche deren Rückzugsgebiete während der letzten Vereisungsperiode und nacheiszeitliche Wanderungsrouten nachvollzieht. Aus den von SCHÜTE dargestellten Ergebnissen kontrollierter Kreuzungen von Stiel- und Traubeneiche erweist sich die Traubeneiche als mit der Stieleiche nur in geringem Maße kreuzbar, während die Stieleiche mit der Traubeneiche erfolgreicher ist. Herkunftsabhängige phänologische Unterschiede bei Traubeneichen werden von STEPHAN erläutert, wobei die Frostresistenz ruhender Knospen gegenüber den folgenden Entwicklungsstadien deutlich wird. Die Entwicklung des 1950 von KRAHL-URBAN mit 65 Herkünften der Traubeneiche und 52 Herkünften der Stieleiche angelegten Herkunftsversuches trägt SVOLBA vor. Neben anderen Merkmalen ist die Variation in der Stammform extrem groß, kann aber bei der Eiche erst relativ spät (Alter 40) signifikant nachgewiesen werden. Der 1984 mit französischen und deutschen Herkünften begründete Herkunftsversuch läßt bisher nur sehr begrenzte Schlüsse zu. Über die baden-württembergische Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung aus der Mast 1992 berichtet FRANKE, wobei sich seine Ergebnisse auf die Saatgutanalyse und Kampaufnahme beziehen. Schließlich hat NEPVEU die Literatur und eigene Untersuchungen zur genetischen Kontrolle qualitativer Merkmale am Eichenholz ausgewertet und gibt Hinweise für Auswahlkriterien zur Holznutzung sowie für entsprechende Bestandesbehandlungen.

Im zweiten Vortragsblock wird der Komplex „*Verjüngungsverfahren und angepaßte genetische Vielfalt*“ angesprochen. Die Nachzucht und Pflege von Werteichenbeständen in der forstlichen Praxis trägt GRIMM aus bayerischer Sicht vor und betont, daß ein hoher Anspruch an schmale Jahrringbreiten und lange astfreie Schäfte stets realisiert werden soll. Die bestehenden Waldbaukonzepte berücksichtigen die grundsätzliche Vermeidung von Kahlschlägen wie auch die Eiche als Mischbaumart in anderen Produktionszielen, was in jedem Falle Wissen über die Übershirmungstoleranz von Stiel- und Traubeneichen erfordert, worüber v. LÜPKE mit seinen Untersuchungsergebnissen berichtet. Der Vergleich der natürlichen mit pflegebedingten Selektionsprozessen wird von SPIECKER in einer aus ertragskundlicher Sicht unkonventionellen Weise und unter besonderer Berücksichtigung drohender Klimaveränderungen behandelt, wobei die Erhaltung einer genetischen Vielfalt besondere Bedeutung zukommt. Im Hinblick auf die vielfach diskutierte und als Kostenersparnis betrachtete Minimierung von Pflanzanzahlen bei

der künstlichen Bestandesbegründung zeigt ZIEHE die Komplexität der Voraussetzungen für die genetische Struktur und Anpassungsfähigkeit der neuen Population auf, welche nennenswerte Risiken beinhalten können.

Der vorstehende Vortragsblock ist auch gleichzeitig als Einführung in den ersten Teil der Exkursionsveranstaltung „*Die Traubeneiche im Pfälzerwald von der Begründung bis zur Hiebsreife*“ zu sehen, ebenso die ergänzende Führung in einer Traubeneichen-Versuchsfläche der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz durch ROEDER sowie in einer Jungbestandspflegefläche durch DONG. Den Einstieg in den zweiten Teil der Exkursion „*Erstaufforstungen mit Laubbaumarten in der Nordpfalz*“ gibt MAURER mit den Ergebnissen isoenzymatischer und morphologischer Untersuchungen an Linde, was die zentrale Bedeutung der Herkunft demonstriert.

„*Genressourcen-Erhaltungsmaßnahmen für heimische Eichenarten*“ ist das Oberthema der folgenden Beiträge. Das vor allem im norddeutschen Raum beobachtete Phänomen „Eichensterben“ wird von HARTMANN vielseitig beleuchtet, wobei Primärfaktoren wie insbesondere Winter-Spätfröste, Sommer-Trocknis, Immissionseinflüsse und Insektenkahlfraß angesprochen und diskutiert werden, schließlich aber auch die Feststellung betont wird, daß aus der geschichtlichen Betrachtung heraus Eichensterben-Episoden nicht neu sind. Über die in der Bundesrepublik Deutschland laufenden Erhaltungsaktivitäten für die heimischen Eichenarten gibt TABEL einen Überblick. Zusätzlich trägt ENESCU zu dieser Thematik mit einer Beschreibung der wesentlich größeren Eichenartenvielfalt in Rumänien, deren Verbreitung und der derzeitigen Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Ressourcen dieser Eichenarten bei.

Der vierte Vortragsblock „*Vermehrungs- und Konservierungsmethoden*“ behandelt neuere Erhaltungstechniken. Die Langzeitlagerung von Eicheln unterliegt besonderen Problemen, wobei SPETHMANN einen Weg über eine sachgerechte Vorbehandlung und eine künstlich erreichte höhere Frosttoleranz aufzeigt, nach der eine längerfristige Lagerung durchaus möglich erscheint. Die vegetative Vermehrung der Eiche durch Stecklinge und Gewebekulturen ist im Rahmen der Erhaltungsmaßnahmen ein zusätzlicher Weg, dessen gegenwärtige Möglichkeiten und Grenzen von MEIER-DINKEL aufgezeigt werden. In diesem Zusammenhang wird auch die Langzeitlagerung von Eichen-Sproßkulturen von GEBHARDT bearbeitet und hier vorgestellt.

Der abschließende Vortragsblock „*Aktueller Stand der Untersuchungen zur Artendifferenzierung mittels morphologischer und genetischer Merkmale*“ beinhaltet zwei besondere Aspekte, nämlich einmal die grundsätzliche Frage nach einer Artenunterscheidung und zum zweiten die Leistungsfähigkeit der Identifizierungstechniken. Über seine vielseitigen morphologischen Untersuchungen berichtet AAS und betont im Vergleich der Merkmale die taxonomisch große Bedeutung des Vorhandenseins von Behaarungen auf den Blattunterseiten für die Unterscheidung von Stieleiche und Traubeneiche. Anhand einer ebenfalls umfangreichen Untersuchung zur Identifizierung von Stiel- und Traubeneichen unter Verwendung der üblicherweise herangezogenen morphologischen Blattmerkmale einerseits und mittels der für solche Bestimmungen erstmalig in größerem Umfang hinzugezogenen Aktivitätsbestimmung des Enzyms Phosphoenolpyruvat Carboxylase in Winterknospen andererseits kommt ROTHE zu dem Schluß, daß es wesentlich mehr Arthybriden gibt als bisher angenommen. JÖRG KLEINSCHMIT berichtet über seinen eingehenden Vergleich morphologischer und genetischer Unterscheidungsmerkmale bei Stiel- und Traubeneiche, wonach er keine zweifelsfreie Artunterscheidung anhand eines einzelnen Merkmales fand; demgegenüber sind Parallelen bei den verschiedenen Methoden deutlich, nach denen alle für die Traubeneiche eine größere Variabilität aufweisen. Anhand der Isoenzymanalyse im Rahmen der vorgenannten baden-württembergischen Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung 1992 weist LÖCHELT nach, daß die Maße, welche die genetische Vielfalt und Diversität der Herkünfte beschreiben, erhebliche Unterschiede zwischen den Herkünften aufzeigen.

Aus der Schlußdiskussion ergibt sich die Empfehlung, die Tagungen der Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung auch in Zukunft eng an die forstliche Praxis zu binden.

Ein besonderer Dank gilt schließlich den an der Organisation und Durchführung beteiligten Mitarbeitern der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, wobei die Umsicht und das Engagement von Dr. Werner Maurer, der auch die Durchsicht und Zusammenstellung aller Beiträge sowie die Formgestaltung dieses Berichtsbandes übernommen hat, besonders zu würdigen sind.

Trippstadt,  
im August 1995

Uwe Tabel  
(Tagungsleiter)



## Preface

The **Arbeitsgemeinschaft für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung (Working Party of Forest Genetics and Forest Plant Breeding)** is maintained by forest breeding institutions and related institutes of further education of the Federal Republic of Germany. Foreign institutes participate temporarily. Since 1950 the working party has organized symposia every one to three years on central themes of interest. A special matter of concern after discussing scientific findings is to promote their transfer into forestry practice.

The **22nd International Meeting of the Working Party** was organized by the Department of Forest Ecology and Tree Breeding of the Forest Research Institute of Rhineland-Palatinate and was held at Hambach Castle near Neustadt an der Weinstraße from October 18 to 20, 1994 under the theme „*Genetics and silviculture with special emphasis on the indigenous oak tree species*“.

The meeting was kindly supported by the very generous grant of the State Ministry of Education and Culture Rhineland-Palatinate (Ministerium für Bildung und Kultur Rheinland-Pfalz) which made it possible to use Hambach Castle with its proper atmosphere for the meeting.

The Federal Ministry of Food, Agriculture and Forestry (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) ensured, through its financial support, the participation of some Eastern European forest scientists, which was important for the meeting.

Mr. Reinhard Hechel, the managing director of Hambach Castle, was a great help organizing this international meeting which was attended by participants from 16 nations.

We are especially grateful for all this valuable support.

In **opening the symposium** Ministerialrat Dr. Walter EDER welcomed the participants on behalf of the State Forestry Administration. In his following lecture on the silvicultural relevance of the indigenous oak tree species in Rhineland-Palatinate, the importance of stand basic factors are emphasized, the development, the present state and the further aims of oak cultivation are presented and furthermore the economic significance of high-quality oak is stressed.

The first session of lectures deals with „*Genetic differentiation of the indigenous oak species*“ and was opened by PETIT who studied, on the basis of geographic variation of chloroplast DNA found in oak, their refugia during the last glacial period and postglacial migration routes. From the results on controlled crosses of pedunculate and sessile oak as presented by SCHÜTE, sessile oak proves to form crosses only at a low extent, whereas pedunculate oak is more successful with sessile oak. Phenological differences in oak resulting from differing provenances are explained by STEPHAN who makes clear the frost hardiness of dormant buds in contrast to the following developmental stages. The development of the provenance test established in 1950 by KRAHL-URBAN and using 65 sessile oak provenances and 52 pedunculate oak provenances, is reported by SVOLBA. Besides other traits, the variation in the bole form is extremely high, but it cannot be confirmed at a significant level in oak until comparatively late (at the age of 40). So far the provenance test established in 1984 using French and German provenances allows only rather limited conclusions. FRANKE reports on the progeny test of pedunculate oak in Baden-Württemberg from the harvest 1992 by presenting results which refer to seed analysis and seedling measurements. Finally NEPVEU has evaluated literature and his own investigations on the genetic control of qualitative traits in oak wood, and he comments on selection criteria for wood utilization as well as for adequate stand treatments.

In the second lecture session the complex „*Regeneration methods and adapted genetic diversity*“ is addressed. The cultivation and tending of high-quality oak stands in forest practice is reported by GRIMM from the Bavarian point of view. He emphasizes that narrow annual ring widths as well as long branchless boles should always be strived for. The existing silvicultural concepts consider the fundamental avoidance of clear cuttings and oak as a mixed tree species in different production targets which in any case requires knowledge on the sheltering tolerance of pedunculate and sessile oak. This is reported by VON LÜPKE who presents his own results. The comparison of natural selection processes and selection by management is treated by SPIECKER in an unconventional way from the view of growth and yield and under special consideration of impending climatic changes, whereby conservation of genetic diversity has special significance. With regard to the frequently discussed minimization of the quantities of plants in the artificial establishments of stands, which is assumed to be cost-saving, ZIEHE demonstrates the

complexity of the prerequisites for the genetic structure and adaptability of the new population which in particular may include significant risks.

The above lecture session may be also regarded as an introduction to the first part of the excursion „*The Palatinate Forest sessile oak from its establishment to its exploitation*“ as well as the supplemental tour of an experimental plot of the Forest Research Institute of Rhineland-Palatinate guided by ROEDER and the tour of a young stand tending plot by DONG. The lead-in to the excursion „*Afforestation using broad-leaved tree species in the northern Palatinate region*“ is given by MAURER who presents his results of isozymic and morphological investigations on linden, demonstrating the central significance of the origin of the trees.

„*Measures for the conservation of the genetic resources of indigenous oak species*“ is the subject of the following contributions. Different aspects of the phenomenon „oak decline“, which is observed particularly in northern Germany, are examined by HARTMANN. He states and discusses primary factors like, in particular, late winter frosts, summer drought, impact of imissions and insect defoliation, finally pointing out the observation that, from a historical view, oak decline episodes are not a new thing at all. A survey on the current conservation activities in the Federal Republic of Germany for the indigenous oak species is given by TABEL. In addition ENESCU contributes to this subject with a description of the much greater variety of oak species in Romania, their distribution and the measures presently applied to conserve the genetic resources of these oak species.

The fourth lecture session „*Propagation and preservation methods*“ deals with more recent preservation techniques. The long-term storage of acorns is a particular problem, but SPETHMANN shows a way to overcome this problem by applying a proper pre-treatment and an artificially obtained higher frost tolerance, which makes storage over a longer period of time possible. The vegetative propagation of oak using cuttings and tissue cultures is an additional measure in the framework of conservation methods, and MEIER-DINKEL demonstrates its present applicability and limitations. In this context the long-term storage of oak shoot tip cultures is dealt with by GEBHARDT and presented here.

The final lecture session „*Present state of the investigations on species differentiation by using morphological and genetic traits*“ includes two important aspects, first the fundamental question about species discrimination, and secondly the efficiency of the identification techniques. AAS reports on his various morphological investigations with an emphasis on the pubescence present on the abaxial surfaces of the leaves; this observation is of great taxonomic significance for the differentiation of pedunculate and sessile oak when traits are compared. ROTHE draws his conclusions from an extensive investigation on the identification of pedunculate and sessile oak that considerably more species hybrids are existent than has been assumed so far. In this study, the common morphological leaf traits are used on the one hand, and on the other hand the activity of the enzyme phosphoenolpyruvate carboxylase in dormant buds which has been applied for such determinations for the first time in a larger extent, is included. JÖRG KLEINSCHMIT reports on his detailed comparison of morphological and genetic differentiation traits in pedunculate and sessile oak. He, however, was unable to unequivocally differentiate the oak species on the base of only one trait, but parallels are evident in the different methods which all exhibit a generally higher variability for sessile oak. Using isozyme analysis in the above-mentioned Baden-Württemberg progeny test for pedunculate oak in 1992, LÖCHELT proves that the measures describing genetic multiplicity and diversity of the provenances, make clear significant differences between the provenances.

From the concluding discussion, the recommendation was made to tie in the future meetings of the working party more closely to forestry practice.

Finally our gratitude goes to all those from the Forest Research Institute of Rhineland-Palatinate involved in the organization of the symposium. Particular thanks are also due to Dr. Werner Maurer for his commitment and diligence in revising and compiling the various contributions and determining the format of this report.

Tripstadt  
August 1995

Uwe Tabel  
(Chairperson)

## *Teilnehmerliste / List of participants*

- Aa van der Beatrijs**, KU Leuven, Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, B-3001 Leuven (Belgien)
- Aas Gregor**, Eidgen. Technische Hochschule Zürich, ETH-Zentrum, Dept. für Wald- und Holzforschung, Professur für Forstschutz und Dendrologie, CH-8092 Zürich (Schweiz)
- Balcar Patricia**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. B - Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung, D-67705 Trippstadt
- Bauer Hans**, Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz, Forstdirektion, D-67433 Neustadt/Weinstr.
- Behm Albrecht**, Bayerische Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, D-83317 Teisendorf
- Bonfils Patrick**, Eidgen. Technische Hochschule Zürich, ETH-Zentrum, Institut für Waldbau, CH-8092 Zürich (Schweiz)
- Braun Hubert**, Sächsische Landesanstalt für Forsten, D-01827 Graupa
- Breitenbach-Dorfer Margarethe**, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Forsttimmissionsforschung und Forstchemie, A-1130 Wien (Österreich)
- Bungart Rolf**, Technische Universität Cottbus, Lehrstuhl für Bodenschutz und Rekultivierung, D-03013 Cottbus
- Burianek Václav**, Forestry and Game Management, Research Institute, VULHM, 15604 Jiloviste-Strnady (Tschechische Republik)
- Büttner Carmen**, Institut für Angewandte Botanik, Abt. Pflanzenschutz, Labor Virologie, D-20355 Hamburg
- Closen Bernd**, Forstamt Neupfalz, D-55442 Stromberg
- Dame Günter**, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, D-40476 Düsseldorf
- Degen Bernd**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf
- Dietrich Peter**, Forstamt Cochem, D-56812 Cochem
- Dörflinger Helmut**, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Referat 613, D-53123 Bonn

**Dong Phan Hoang**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. A - Waldwachstum, D-67705 Trippstadt

– **Edelhoff Alfred**, Höhere Forstbehörde, D-48135 Münster/Westf.

**Eder Walter**, Ministerium für Umwelt und Forsten, Abt. Forsten, D 55022 Mainz

**Eicke Gisela**, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Amtliche Prüfstelle für forstliches Saatgut, D-85354 Freising

**Eisenhauer Dirk-Roger**, Amt für Forstwirtschaft Hangelsberg, Versuchsreviere Schwenow-Tschinka, D-15518 Hangelsberg/Spree

**Enescu Valeriu**, Forest Research and Management Institute, ROM-72904 Bucharest 11 (Rumänien)

**Fellenberg Ute**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode, Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg

**Fluch Silvia**, Österr. Forschungszentrum, Abt. LA, A-2444 Seibersdorf (Österreich)

**Franke Albrecht**, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abt. Botanik und Standortkunde, Arbeitsbereich Forstpflanzenzüchtung, D-79100 Freiburg i. Br.

**Fürst Ernst**, Beratungsstelle für Forstliches Vermehrungsgut, c/o WSL, CH-8903 Birmensdorf (Schweiz)

**Fürst Susanna**, Beratungsstelle für Forstliches Vermehrungsgut, c/o WSL, CH-8903 Birmensdorf (Schweiz)

**Gebhardt Karl**, Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, Abt. Genressourcen, D-34346 Hann. Münden

**Geiger Fritz**, Staatl. Forstamt Maulbronn, D-75433 Maulbronn

**Gonzales Molina José**, Escola Tecnica Superior d'Enginyeria, Agraria de Lleida, E-25006 Lleida (Spanien)

**Grigull Klaus**, Forstamt Lauterecken, D-67742 Lauterecken

**Grimm Matthias**, Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde e. V., Abt. Angewandte Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsieversdorf

**Grimm Rudolf**, Bayerische Oberforstdirektion Würzburg, D-97070 Würzburg

**Günzl Leopold**, ARGE für Waldveredelung Wien, A-1180 Wien (Österreich)

**Haase Bolko**, Forstamt Annweiler, D-76855 Annweiler

- Hanisch Bernhard**, Staatl. Forstamt Nagold, D-72202 Nagold
- Hartmann Günter**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Abt. B - Waldschutz,  
D-37079 Göttingen
- Hattemer Hans H.**, Georg-August-Universität Göttingen, Abt. für Forstgenetik und  
Forstpflanzenzüchtung, D-37077 Göttingen
- Hertel Heike**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf
- Herzog Sven**, Georg-August-Universität Göttingen, Abt. für Forstgenetik und  
Forstpflanzenzüchtung, D-37077 Göttingen
- Heyder Joachim**, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten  
Nordrhein-Westfalen, Forstgenbank, D-59821 Arnsberg
- Horvat-Marolt Sonja**, Biotechnische Fakultät, Forstabteilung, 61111 Ljubljana  
(Slovenien)
- Jacoby Hermann**, Bezirksregierung Koblenz, Forstdirektion, D-56068 Koblenz
- Jehle Georg**, Staatl. Forstamt Riedlingen, D-88499 Riedlingen
- Jensen Jan Svejgaard**, Royal Agricultural University, Arboretet, Hoersholm  
(Dänemark)
- Keßler Karin**, Technische Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissen-  
schaften, Institut für Allgem. Ökologie und Umweltschutz, D-01737 Tharandt
- Kim Jonghan**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Kim Tae Su**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Kleinschmit Jochen**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Kleinschmit Jörg**, Forstamtsstr. 1 D-34355 Staufenberg
- Klumpp Raphael**, Universität für Bodenkultur, Institut für Waldbau,  
A-1190 Wien (Österreich)
- Kohlstock Norbert**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf
- König Armin**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft,  
Institut für Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf

- Konnert Monika**, Bayerische Landesanstalt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht,  
D-83317 Teisendorf
- Kulej Marian**, Zakład Nasiennictwa Szkółkarstwa, i Selekcji Drzew Lesnych,  
PL-31-425 Kraków (Polen)
- Lang Walter**, Staat. Forstamt Oberkirch, D-77704 Oberkirch
- Leis Hans**, Ministerium für Umwelt und Forsten, Abt. Forsten, D-55022 Mainz
- Leppa Peter**, Forstamt Hagenbach, D-76767 Hagenbach
- Letter Hans-Albert**, Waldbaureferat der Landesforstverwaltung des Saarlandes,  
D-66115 Saarbrücken
- Liepe Klaus**, Neckartalstraße 151, D-64743 Beerfelden
- Liesebach Mirko**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf
- Löchelt Sabine**, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,  
Abt. Botanik und Standortkunde, Arbeitsbereich Forstpflanzenzüchtung  
D-79100 Freiburg i. Br.
- Lucke Eberhard**, Thüringer Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft,  
D-99867 Gotha
- Lüpke Burghard von**, Georg-August-Universität Göttingen, Institut für Waldbau - Abt.  
I, D-37077 Göttingen
- Mátyás Gábor**, Universität für Forst- und Holzwissenschaften, Lehrstuhl für Pflanzen-  
kunde, Bajcsy-Zsilinszky, H-9400 Sopron (Ungarn)
- Maurer Werner**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. B - Forstliche Ökolo-  
gie und Forstpflanzenzüchtung, D-67705 Trippstadt
- Meier-Dinkel Andreas**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Müller Ernst**, Forstamt Eppenbrunn, D-66957 Eppenbrunn
- Müller Ferdinand**, Forstliche Bundesversuchsanstalt, A-1140 Wien (Österreich)
- Müller Walter**, Forstamt Merzalben, D-66978 Merzalben
- Müller-Starck Gerhard**, Ludwig-Maximilian-Universität München, Lehrstuhl für  
Forstbotanik, Lehrbereich für Forstgenetik, D-85354 Freising
- Natzke Ehlert**, Forstamt Haldensleben, D-39345 Bülstringen



- Nepveu Gérard**, INRA - Centre de Recherches de Nancy , Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois, F-54280 Champenoux (France)
- Niethard Brigitte**, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Allgemeine Botanik, D-55099 Mainz
- Petit Rémy**, INRA - Station de Recherches Forestières, Domaine de l'Hermitage, F-33611 Gazinet Cedex (France)
- Prescher Finnvid**, Svenska Skogsplantor AB, S-34014 Lagan (Schweden)
- Reichwaldt Günter**, Niedersächsische Forstsaatgut-Beratungsstelle, D-29633 Munster-Oerrel
- Riedl Walter**, Forstamt Langenau, D-89129 Langenau
- Roeder Axel**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, D-67705 Trippstadt
- Rogge Martin**, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten, Forstgenbank, D-59821 Arnsberg
- Rotach Peter**, Eidgen. Technische Hochschule Zürich, ETH-Zentrum, Professur für Waldbau, CH-8092 Zürich (Schweiz)
- Rothe Gunter**, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Allgemeine Botanik, D-55099 Mainz
- Sander Thomas**, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Allgemeine Botanik, D-55090 Mainz
- Schick Armin**, Forstamt Kastellaun, D-56288 Kastellaun
- Schneck Dagmar**, Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde e. V., Abt. Angewandte Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf
- Schneck Hans**, Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde e. V., Abt. Angewandte Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf
- Schröder Hubertus**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode, Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Schüte Gunar**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode, Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg
- Schultze Ulrich**, Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Forstgenetik, A-1140 Wien (Österreich)
- Spethmann Wolfgang**, Universität Hannover, Institut für Obstbau und Baumschule, D-31157 Sarstedt

**Spiecker Heinrich**, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Waldwachstum,  
D-79850 Freiburg i. Br.

**Sprute Franz-Josef**, Forstamt Bernkastel, D-54470 Bernkastel-Kues

**Staden Norbert von**, Forstamt Müllheim, D-79379 Müllheim

**Stephan Bruno R.**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstgenetik, D-22927 Großhansdorf

**Stimm Bernd**, Ludwig-Maximilian-Universität München, Lehrstuhl für Waldbau und  
Forsteinrichtung, D-85354 Freising

**Svolba Josef**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg

**Tabel Uwe**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. B - Forstliche Ökologie  
und Forstpflanzenzüchtung, D-67705 Trippstadt

**Thomann Harald**, Staatl. Forstamt Offenburg, D-77652 Offenburg

**Thomas Chris**, Advanced Technologies (Cambridge) Ltd., Cambridge CB4 4WA  
(Großbritannien)

**Uhlmann Astrid**, Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft,  
D-60322 Frankfurt/Main

**Vornam Barbara**, Georg-August-Universität Göttingen, Abt. für Forstgenetik und  
Forstpflanzenzüchtung, D-37077 Göttingen

**Vries Sven M. G. de**, Dienst Landbouwkundig Ouderzoek, Institute for Forestry and  
Nature Research, NL-6700 AA Wageningen (Niederlande)

**Wagner Iris**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. C - Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg

**Wambsganß Wolfgang**, Forstamt Landau, D-76289 Landau

**Weinreich Axel**, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Institut für Waldbau,  
D-79085 Freiburg i. Br.

**Weiser Frithjof**, Forstliche Forschungsanstalt Eberswalde e.V., Abt. Angewandte  
Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf

**Weisgerber Horst**, Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und  
Waldökologie, Abt. Genressourcen, D-34346 Hann. Münden

**Werner Martin**, Skog Forsk, The Forestry Research, Institute of Sweden, Ekebo,  
S-26890 Svalöv (Schweden)

**Werner Oliver**, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Allgemeine Botanik,  
D-55099 Mainz

**Westergaard Lars**, Afdeling for Prydplanter, DK-5792 Arslev (Dänemark)

**Wilhelm Georg Josef**, Bezirksregierung Trier, Forstdirektion, D-54290 Trier

**Wittboldt-Müller Kurt**, Scia-Baumschulen, D-27283 Verden-Eitze

**Wolf Heino**, Sächsische Landesanstalt für Forsten, D-01827 Graupa

**Womelsdorf Horst**, Forstamt Wittlich, Kurfürstenstr. 59a, D-54516 Wittlich

**Zaspel Irmtraud**, Bundesforschungsanstalt für Forst-und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Waldsiedersdorf

**Ziehe Martin**, Georg-August-Universität Göttingen, Abt. für Forstgenetik und  
Forstpflanzenzüchtung, D-37077 Göttingen

Weiner Oliver, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Institut für Allgemeine Botanik,  
D-55099 Mainz

Westergaard Lars, Abteilung for Pjyoplantier, DK-2792 Årslöv (Dänemark)

Willein Georg, Josef, Bezirksregierung Trier, Forstdirektion, D-54290 Trier

Wittboldt-Müller Kurt, Seis-Baumschulen, D-37287 Verden-Elbe

Wolff Heinz, Sächsische Landesanstalt für Forsten, D-01827 Gump

Womelsdorf Horst, Forstamt Wittlich, Kurlinstraße 29a, D-54216 Wittlich

Zapel Bruno, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für  
Forstpflanzenzüchtung, D-15377 Walsleben

Ziele Martin, Georg-August-Universität Göttingen, Abt. für Forstgenetik und  
Forstpflanzenzüchtung, D-37077 Göttingen

# Waldbauliche Bedeutung der heimischen Eichenarten in Rheinland-Pfalz

Walter Eder und Bernd Rose

Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz

Abt. Forsten

D-55022 Mainz

**Keywords:** cultivation age-class structure, growing stock structure,  
high-quality oak, seed and planting material production,  
oak reproduction procedures, research projects

## Summary

Title of the paper: Silvicultural relevance of the indigenous oak species in Rhineland-Palatinate.

The natural regional forest communities as expressed by the actual potential natural vegetation as well as the history of the distribution of the oak species in Rhineland-Palatinate is discussed.

The development of oak cultivation in the past centuries is shown and a prediction is ventured for oak cultivation.

The actual distribution of oak species in Rhineland-Palatinate as well as their structure concerning age-classes and growing stock is demonstrated.

The high-quality oak and its economic significance is dealt with.

The requirements for a successful oak reproduction, as e.g. the situation for seed and planting material are examined, and last but not least it is admitted that even in a so-called classical oak cultivation area a considerable need of research as to the subject oak is existent and a host of open questions has still to be settled.

**Schlüsselwörter:** Eichenanbau, Altersklassenstruktur, Vorratsstruktur,  
Werteichen, Saat- und Pflanzgut-Produktion,  
Verfahren der Eichennachzucht, Forschungsvorhaben

## Zusammenfassung

Auf die natürlichen regionalen Waldgesellschaften, die ihren Ausdruck in der heutigen potentiellen natürlichen Vegetation finden, und auf die Verbreitungsgeschichte der Eichenarten in Rheinland-Pfalz wird eingegangen.

Die Entwicklung des Eichenanbaus in den letzten Jahrzehnten wird verfolgt und eine Prognose des Eichenanbaus gewagt.

Die aktuelle Verteilung der Eichenarten in Rheinland-Pfalz wird dargestellt und ihre Altersklassen- und Vorratsstruktur aufgezeigt.

Die Werteiche und ihre wirtschaftliche Bedeutung wird behandelt.

Die Voraussetzungen für eine erfolgreiche Eichennachzucht, wie z. B. die Saat- und Pflanzgutsituation, werden angesprochen und nicht zuletzt bekannt, daß selbst in einem sogenannten klassischen Eichen-Anbaugebiet ein erheblicher Forschungsbedarf zum Thema Eiche besteht und eine Fülle von offenen Fragen zu klären ist.

# 1. Geschichte der Verbreitung der Eichenarten und natürliche Vegetationsgebiete

Seit etwa dem 5. Jahrtausend vor Christus bestimmt die Eiche - ab dem Subboreal zusammen mit der Buche - das Baumartenspektrum auch in Rheinland-Pfalz.

Während die Buche in überwiegend subozeanisch ausgebildeten Gebieten fast allgegenwärtig wäre, haben sich eichenreiche Waldgesellschaften von Natur aus in einigen Gebieten der planaren Stufe und in Gebieten subkontinentaler Klimatönung stärker durchgesetzt. Der Eichenanteil wird im allgemeinen umso größer, je wärmer, ärmer, toniger, trockener oder nasser der Standort ist (CHRISTMANN 1994).

Betrachtet man die hierfür bedeutsamen zonalen Leitgesellschaften, deren Ausbildung dem Regionalklima entspricht, so prägen diese rund 87% der Vegetationsgebiete in Rheinland-Pfalz.

Über diese natürliche Verbreitung der einheimischen Eichenarten hinaus hat ihre anthropogene Förderung über viele Jahrhunderte hinweg enorm zur Steigerung der Flächenanteile beigetragen. Dies gilt, vermutlich ähnlich anderer Eichengebiete, wie z.B. dem Tronçais in Frankreich, häufig verstärkt auch für die Stieleiche, die wegen ihrer besseren Frosthärte, ihrer größeren Frucht und ihrer häufigeren Fruktifikation gerne auch in Traubeneichengebiete gebracht wurde. Ohne hierauf weiter einzugehen, wird auf die Arbeiten von BECKER und LEVY (1990) über die Stieleiche („Grundwassereiche“) und Traubeneiche („Stauwassereiche“) in Frankreich verwiesen.

Bemerkenswerterweise steht auch in den „Waldbaulichen Grundsätzen und Vorschriften für den Pfälzerwald“ von 1925 über die Stieleiche:

*„Das mitunter im Pfälzerwald zu beobachtende Vordringen der Stieleiche auf die Hänge des Berglandes ist auf unbewußte Fehlgriffe beim künstlichen Anbau zurückzuführen“.*

Heimische Eichenarten sind also Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) und Stieleiche (*Quercus robur* L.). Inwieweit die einzelnen Vorkommen von *Quercus pubescens* (Flaumeiche) im Bereich der Trockenvegetation basenreicher Silikatstandorte natürlich sind, ist nach meiner Kenntnis umstritten.

## 2. Entwicklung des Eichenanbaues in Rheinland-Pfalz

MEYER (1990) konnte in einem Aufsatz über die Furniereiche im Pfälzerwald feststellen, daß der Nachzucht der Traubeneiche erst wieder in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und, durch kriegs- und nachkriegsbedingten Unterbrechungen verursacht, seit Anfang der 70er Jahre größere Aufmerksamkeit gewidmet wurde.

Insbesondere das ehrgeizige und konsequente Eichen-Nachzuchtprogramm des damaligen Leiters des Forsteinrichtungsreferates des Regierungsforstamtes Neustadt an der Weinstraße bzw. der späteren Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz, DEXHEIMER, der sich zum Ziel gesetzt hatte, die nach dem Kriege festzustellende Abnahme der Traubeneichenflächen ins Gegenteil zu verkehren, führte dazu, daß deren Flächenanteil in den letzten 20 Jahren in diesem Wuchsgebiet um rund 1.500 ha anstieg.

Gleichzeitig wurde auf der Grundlage einer intensiven Standortkartierung der Auenwälder und der pleistozänen Niederterrasse des Wuchsbezirks „Vorderpfälzische Rheinebene“ die Anteile der geplanten Stieleichen-Bestandstypen drastisch erhöht. Sowohl hier als auch mit Traubeneichen-Bestandstypen im Pfälzerwald geschah dies im wesentlichen durch den Umbau ursprünglich mit Kiefern bestockter Flächen.

Im Nordteil von Rheinland-Pfalz hatte die Erzeugung wertvollen Eichenholzes in der Vergangenheit keine nennenswerte Bedeutung besessen (NN 1966). Dennoch hatte man seit Anfang der 50er Jahre auf der Basis der praktischen Arbeiten von SCHMIEDEBACH versucht, ein Verfahren zur Bewirtschaftung der Eiche (eine Unterscheidung in Traubeneiche und Stieleiche gab es nicht) zu finden. Es fand unter dem Namen *TREISER*-Eichenwirtschaft als Durchforstungsverfahren Eingang in die Praxis (NN 1953), führte aber nicht zu einer Vermehrung der Eichenflächen.

Diese erfolgte erst nach den Windwürfen der Novemberstürme 1984 und den verheerenden Schäden der Sturmkatastrophen des Februar 1990, indem mit einem konsequenten Umbau der stauwasserbeeinflussten Standorte in der kollinen und submontanen Stufe der Bergwälder im Hunsrück, der Eifel sowie im Taunus und Westerwald begonnen wurde.

Je nach Standortgliederung entstanden so auf vielen der zuvor mit Fichten bestockten Flächen stieleichen- und traubeneichenreiche Bestandstypen mit Buchen, anderen Laubbaumarten und teilweise auch mit Weißtanne.

### **3. Aktuelle Anteile der Eichenarten an der Baumartenverteilung, Altersklassen- und Vorratsstrukturen, Nutzungen**

Aus den ständig fortgeschriebenen Daten der Forsteinrichtung im Staats- und Körperschaftswald ergeben sich die nachstehenden aktuellen Zahlen:

Beide Eichenarten zusammen haben - auf der Basis von rund 527.000 ha Wirtschaftswald - im Staats- und Körperschaftswald von Rheinland-Pfalz einen Flächenanteil von rund 14%. Der Anteil der Traubeneiche beträgt dabei etwas mehr als 87% der Eichenfläche.

Die Alterklassen-Struktur der Traubeneiche und der Stieleiche für den gesamten öffentlichen Wald in Rheinland-Pfalz (Daten aus der Forsteinrichtungsinventur 1990) läßt erkennen, daß für die beiden Waldbesitzkategorien Staats- und Gemeindewald insgesamt die Wertholzerzeugung nicht die waldbauliche Konzeption bestimmte (Abb. 1 und Abb. 2).

Im Wuchsgebiet „Pfälzerwald“ dagegen wird diese Konzeption - hier am Beispiel der altersklassenweisen Gliederung der Vorräte (Abb. 3) - sofort deutlich. Allerdings sind auch hier die Fährnisse der Zeitläufte erkennbar. Hervorragend sichtbar wird aus der Altersklassenübersicht die klare Zielsetzung einer konsequenten Eichennachzucht in diesem Gebiet.

Die Vorratsstrukturen korrespondieren mit den Altersklassenflächen. Im Werteichengebiet des Pfälzerwaldes muß vor allem in den Altersklassen XI, XII und XIII sparsam gewirtschaftet werden, da sich die Altersklassenlücke deutlich widerspiegelt. Bei den über 280jährigen Beständen dagegen bestimmt die fortschreitende Entwertung den Nutzungsgang. Daß dies tatsächlich in dieser Form umgesetzt wird, zeigt die Struktur der Gesamtnutzung für das für die Vorrats- und Altersklassendarstellung herangezogene gleiche Forstamtskollektiv des Wuchsgebietes „Pfälzerwald“ (Abb. 4). Die im übrigen auch an die Marktverhältnisse angepaßte Nutzungsstrategie geht davon aus, daß nachhaltig nicht mehr als etwa 3.500 bis maximal 5.000 fm Werteiche jährlich genutzt werden sollen.





Abb. 1: Altersklassenverhältnis der Eichenarten (Traubeneiche und Stieleiche im Jahr 1990)  
 Proportion of age-classes for the oak species (sessile oak in 1990, pedunculate oak in 1990)  
 [Blöße, clearing; Staats- und Gemeindewald, state and communal forest]

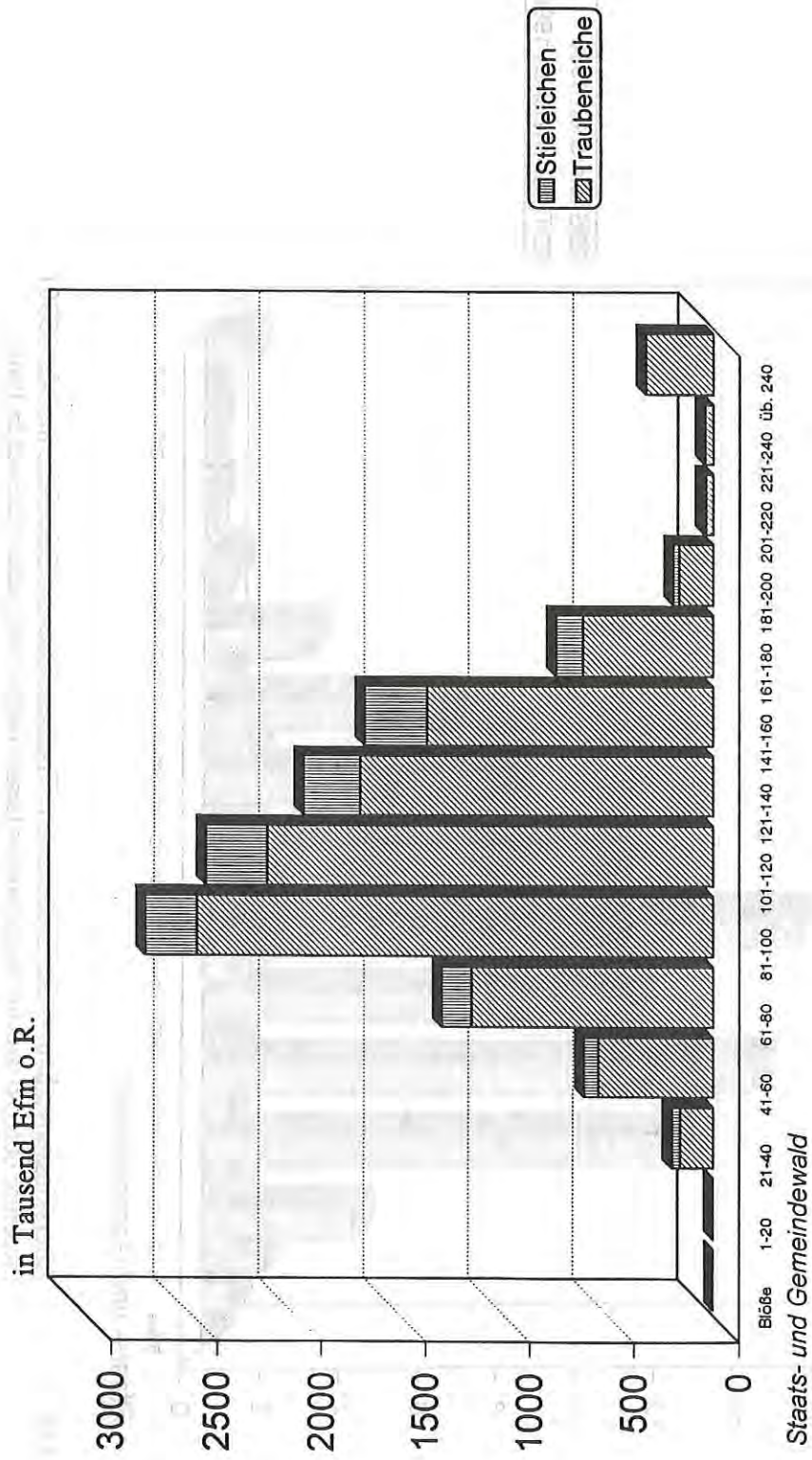


Abb. 2: Altersklassenverhältnis - Vorräte  
 Proportion of age-classes - growing stock  
 [Blöße, clearing; Staats- und Gemeindewald, state and communal forest; Efm o.R., cubic meter of timber harvested under bark]

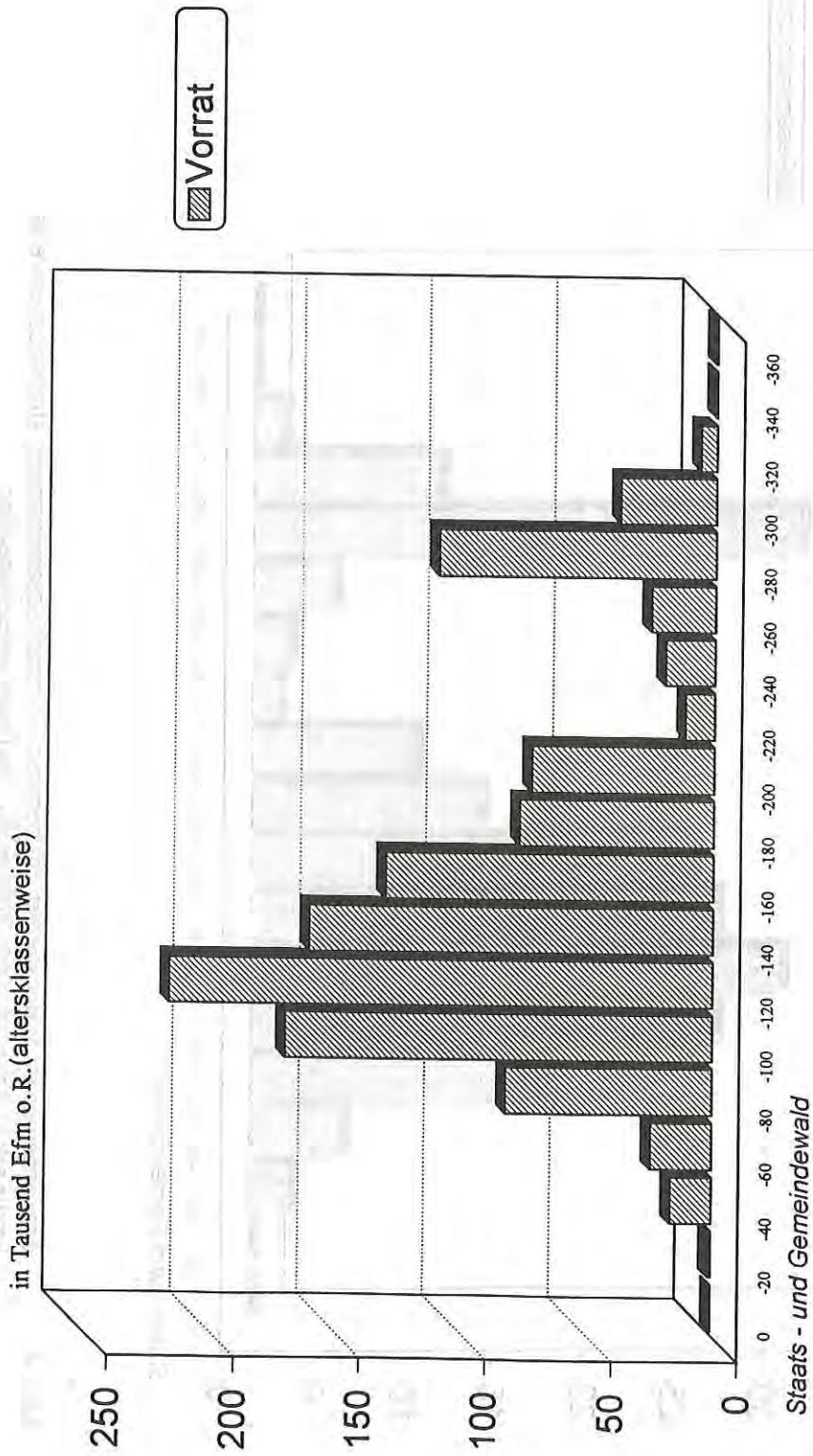


Abb. 3: Traubeneiche im Wuchsgebiet Pfälzerwald - Vorrat altersklassenweise  
 Sessile oak in the growing area Pfälzerwald - growing stock per each age-class

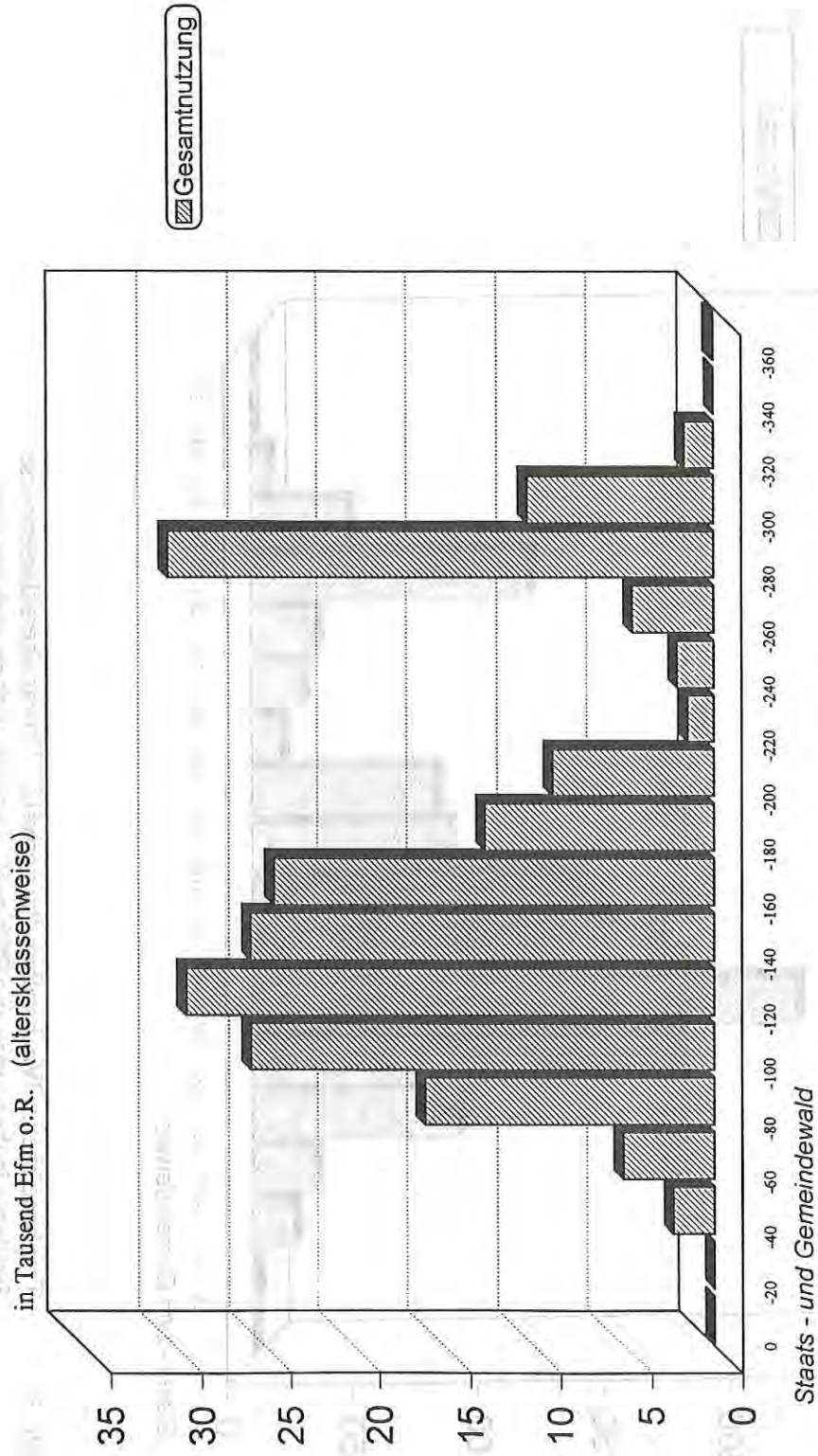
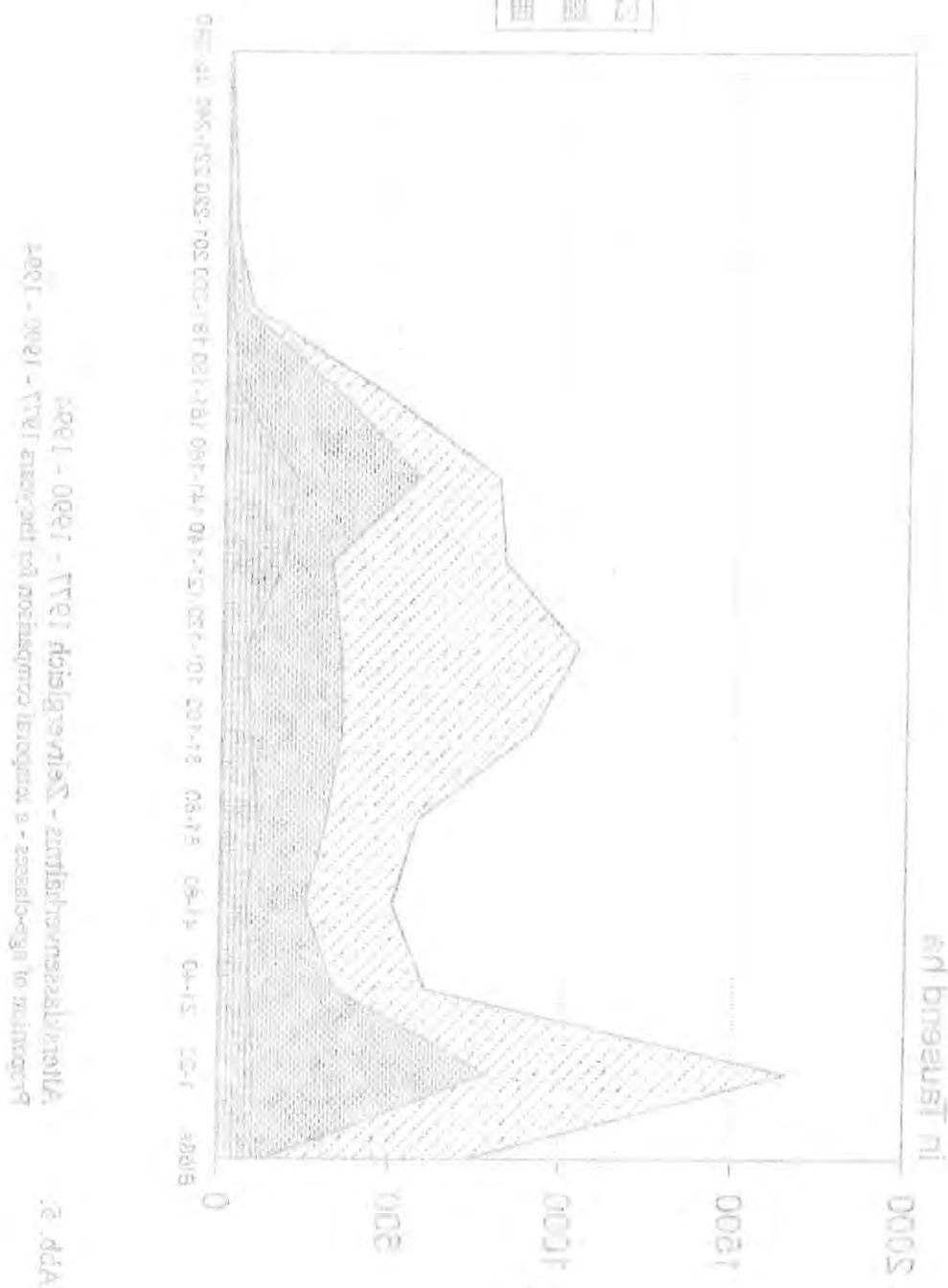


Abb. 4: Traubeneiche im Wuchsgebiet Pflzerwald - Vorrat Gesamtnutzung altersklassenweise  
 Sessile oak in the growing area Pflzerwald - total yield per each age-class

Die seit einigen Jahren durchgesetzte genauere Ansprache der Eichenarten und die Umsetzung der Umbaukonzeption auf stauwasserbeeinflussten Standorten wird aus einem hier beispielhaft für die Stieleiche aufgezeigten Zeitvergleich deutlich (Abb. 5). Die Kurven der Graphik stellen Summenkurven dar, d.h. die Kurve der StEi90 setzt auf den Werten der StEi77 auf, die der StEi94 auf dem Summenwert aus StEi77 und StEi90. Die Stieleiche erscheint durch die seit 1990 beginnende genauere Bestimmung der Eichenarten im Vergleich zu den Forsteinrichtungsergebnissen 1977 in völlig anderer Flächen-Größenordnung. Deutlich wird auch das Anwachsen der Anbaufläche der Stieleiche nach den Sturmwurfkatastrophen 1984 und 1990, was im steilen Anstieg der Flächensumme in der 1. Altersklasse deutlich wird



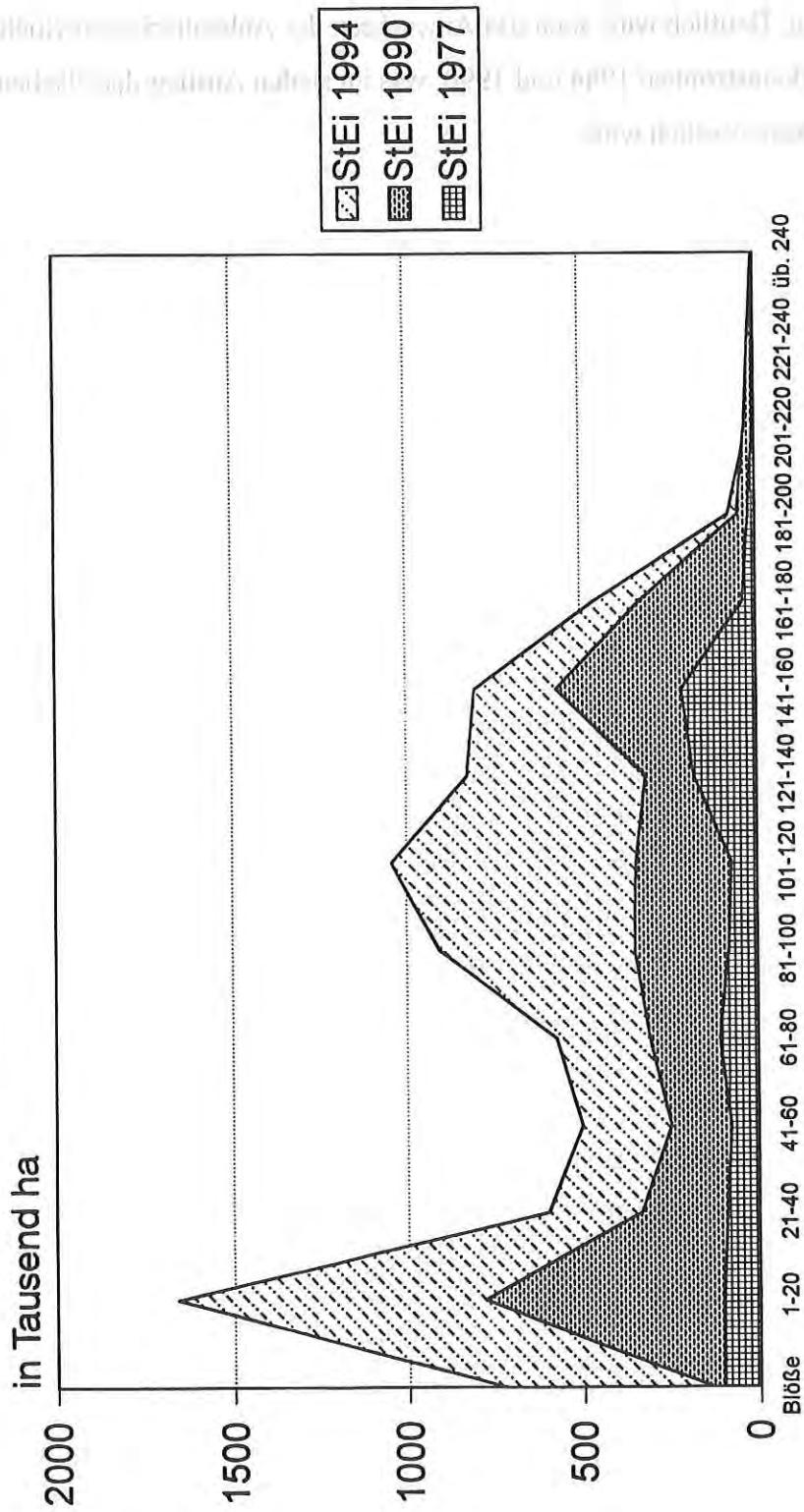


Abb. 5: Altersklassenverhältnis - Zeitvergleich 1977 - 1990 - 1994  
 Proportion of age-classes - a temporal comparison for the years 1977 - 1990 - 1994

## 4. Prognose des Eichenanbaues und Verfahren

Die waldbaulichen Konzeptionen in Rheinland-Pfalz sehen eine längerfristige konsequente Weiterverfolgung der Waldumbau-Strategien vor, da nur auf diesem Wege eine Stabilisierung der stauwasserbeeinflussten Standorte erwartet werden kann. Der Anteil der Eichen-Standorte kann nach den Auswertungen der Standortkartierung einschließlich der Pseudogleystandorte der planaren, kollinen und submontanen Wärmestufen mit rund 100.000 ha eingeschätzt werden.

Eine Erhöhung der Eichenanteile wird die gezielte Einmischung von Eichen-Trupps oder -Gruppen in Buchenbeständen nach sich ziehen. Auch bei diesem Vorgehen steht die Bestandesstabilität und die Erschließung von Nährstoffvorräten in den tieferen Mineralbodenhorizonten durch die tiefwurzelnde Eiche im Vordergrund.

Selbstverständlich wird auch die planmäßige Nachzucht von Werteichen auf allen geeigneten Standorten fortgesetzt.

Das Verfahren der Eichennachzucht wird in den Werteichengebieten, neben einem steigenden Naturverjüngungsanteile, das klassische Verfahren der Saat mit Modifikationen im waldbaulichen Vorgehen und in der Verfahrenstechnik sein. Insbesondere sollen die Saaten wieder unter Schirm erfolgen und die Bodenvorbereitung auf das Notwendigste beschränkt werden, um Befahrungsschäden durch Bodenverdichtung zu vermeiden. Die dabei verwandten Saatenmengen können nach unseren Erfahrungen auf etwa 300 bis 400 kg je Hektar vermindert werden.

Auf schweren Böden und in den Waldumbaugebieten hat die Pflanzung der Eichenarten Vorrang. Erfreuliche Ergebnisse der nach den Sturmschäden entstandenen Flächen ermutigen uns zu einer Verminderung der Pflanzenzahlen, je nach Pflanzengröße auf 3.000 bis 5.000 Pflanzen je Hektar. Die untere Grenze soll aber nicht unterschritten werden, um einem nicht zu vertretenden Verlust an genetischer Variabilität vorzubeugen. Eine mit einem %-Anteil von mindestens 20% anzusetzende Beteiligung dienender Baumarten ist selbstverständlich. Alle von Natur ankommenden sonstige Baum- und Straucharten werden als „Füllholz“ genutzt. Sie dürfen nur entnommen werden, wenn sie das waldbauliche Ziel gefährden.

Wir hoffen, daß es uns mit diesen Konzeptionen gelingt, dem Anbau der Stiel- und Traubeneiche auch im Nicht-Staatswald, dem PETRI (1970) in seiner umfassenden Darstellung über den Eichenanbau in Rheinland-Pfalz wegen der nach der damaligen Waldbaukonzeption hohen Kapitalintensität der Eichennachzucht noch skeptisch gegenüberstand, entscheidende Impulse zu geben.

## 5. Werteichen und ihre wirtschaftliche Bedeutung

Mit dem Pfälzerwald verfügt Rheinland-Pfalz neben dem hessischen und bayerischen Spessart über das größte und wertvollste zusammenhängende Eichenvorkommen in der Bundesrepublik Deutschland. Hierzu gesellen sich einzelne Eichenwertholzvorkommen an Mosel, Saar, Lahn und im Soonwald (PETRI 1970).

Auf den Pfälzerwald bezogen, nennt MEYER (1990) diese Vorkommen, die „Diamanten im Schmuckkranz der grünen Wälder des großen Wuchsgebietes Pfälzerwald“.

Welche Bedeutung dem Wert der Furniereichen in der Vergangenheit wie auch heute zugemessen wurde und wird, zeigen u. a. auch die in gewissen Zeitabständen von der jeweils zuständigen Forstverwaltung durchgeführten Furniereichen-Inventuren.

DEXHEIMER (1985) berichtet, daß die erste gesonderte Erfassung der Alteichenvorräte des Pfälzerwaldes durch „höchste Entschließung des königlich-bayerischen Staatsministeriums der Finanzen vom 02.05.1885“ angeordnet wurde. Es wurden damals alle über 120 Jahre alten „Eichenüberhälter“ aufgenommen, um sie in den sich über den gesamten Pfälzerwald erstreckenden „Eichen-Abnutzungsplan“ einfügen zu können.

Weitere Inventuren erfolgten in den Jahren 1912, 1930, 1949, 1960 und letztmalig 1990. Die letzte mit mittlerem Stichtag von 1983 von MEYER durchgeführte Inventur zeigt einen seit 1972 fortschreitenden Vorratsaufbau, vor allem auch beim Starkholz, mit einem durchschnittlichen Vorrat von rund 190 Efm o. R. je Hektar.

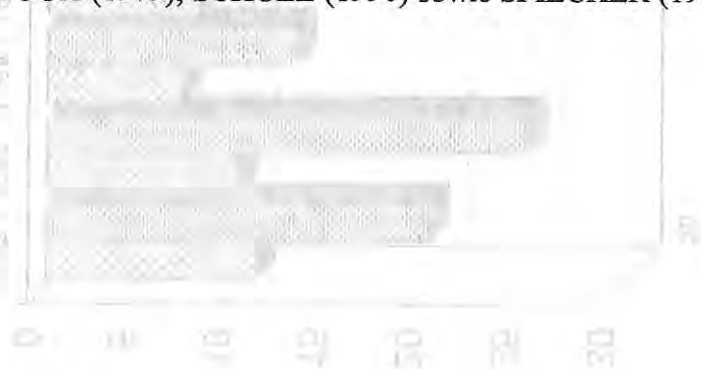


Wichtig für eine nachhaltige Nutzung wertvoller Eichen ist die Feststellung, daß sich die 60jährige Vorratslücke bei den 160 bis 220 Jahre alten Eichen langsam zu schließen beginnt, was im Hinblick auf eine kontinuierliche Marktbelieferung und ebenso kontinuierlich fließende Einnahmen von großer Bedeutung ist.

Von besonderer wirtschaftlicher Bedeutung ist auch das Ergebnis, daß mehr als 80 % der aufgenommenen Eichen der Kategorie „Eichen mit wesentlichen Furnieranteilen“ zuzurechnen sind.

Wie groß die wirtschaftliche Bedeutung der Eiche und dabei vor allem des Eichenstammholzes insgesamt ist, zeigt der Vergleich des anteiligen Stammholzeinschlages der Eiche am Gesamteinschlag mit den entsprechenden zugehörigen Erlösanteilen. Im Schnitt stehen hierbei rund 8% Einschlag 18 Erlößprozenten gegenüber (Abb. 6). Die Abb. 7 gibt einen Überblick über die Durchschnittserlöse je Festmeter Vollfurnier im Zeitraum der Jahre 1982 - 1992. Aus den Durchschnittswerten je fm wird verständlich, daß in besonders wertvollen Eichenbeständen Holzwerte von mehr als einer halben Million DM je ha stocken können und man damit ohne Übertreibung von der weltweit höchsten flächenbezogenen Holzproduktion sprechen kann.

Angesichts dieser Ergebnisse kann die waldbauliche Zielsetzung des Eichenanbaues auf allen geeigneten Standorten nur **Wertholzerziehung** heißen. Daß diese auch bei geänderten Waldbauverfahren mit modifizierten Anbau- und Bestandspflegemethoden zu erreichen ist, glauben wir, bei Beachtung aller klar definierten Restriktionen unserer Waldbaukonzeptionen, sicher zu sein. Hierbei unterstützen uns u. a. auch die Arbeiten und Forschungsergebnisse von FENKNER-VOIGTLÄNDER (1992), BECKER, HAPLA und TEUTENBURG (1990), LEIBUNDGUT (1945 und 1976), LÜPKE, v., (1991), MOSANDL, BURSCHEL und SLIWA (1988), MEYER (1990), PAUL (1989), RIEDL (1989), ROSENSTOCK (1992), SACHSSE und GRÜNEBAUM (1990), SCHÜTZ (1979), SCHÜTZ und BADOUX (1979), SCHULZ (1990) sowie SPIECKER (1991).



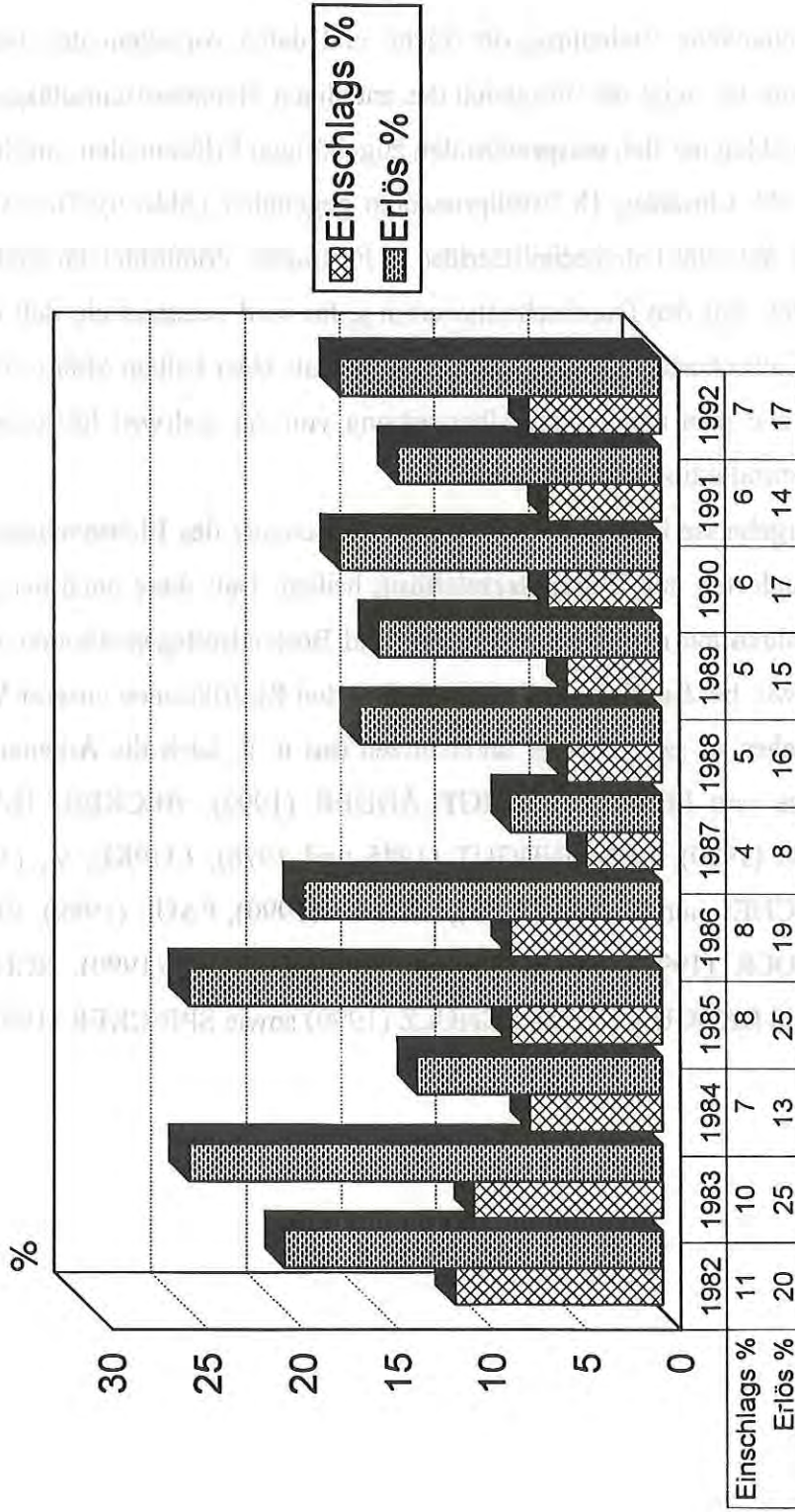


Abb. 6: Anteil der Eiche am Einschlag und am Erlös (Einschlags% und Erlös% bezogen auf den Gesamteinschlag bzw. den Gesamterlös von Stiel- und Traubeneichen)  
 Proportion of oak as to felling and proceeds (felling% and proceeds% refer to total felling and total proceeds of pedunculata and sessile oak)

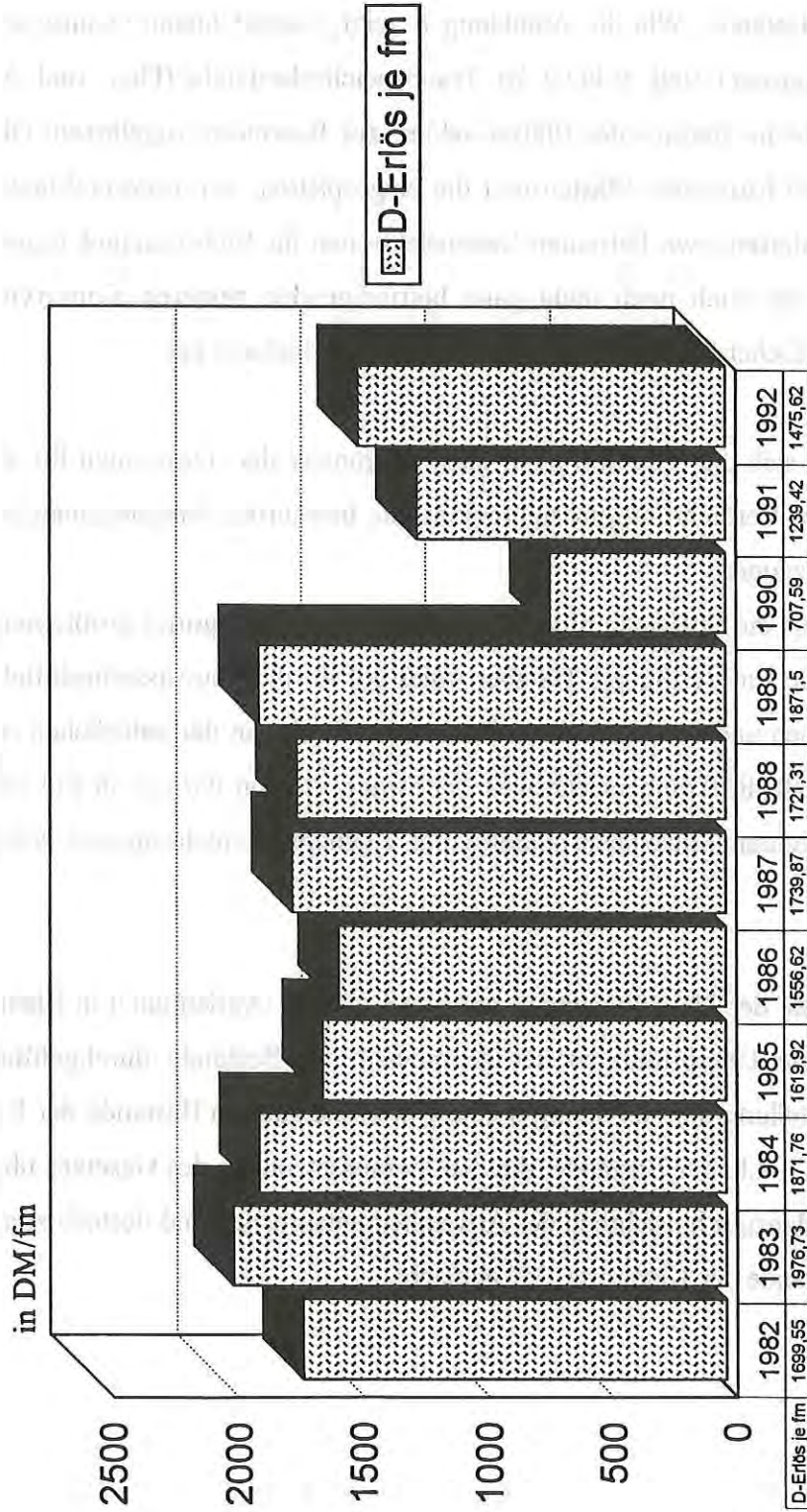


Abb. 7: Eichenwertholz - Durchschnittserlöse/fm für Vollfurniere (in DM/fm)  
 Oak high-quality timber - mean proceeds per cubic meter solid for solid veneers ( in DM per cubic meter)

## 6. Voraussetzungen für die Anbaukonzeptionen hinsichtlich Saat- und Pflanzgut

Wie bereits dargestellt, nimmt die Traubeneiche unter den Eichenarten sowohl aktuell als auch in den Planungskonzeptionen eine überragende Stellung ein. Standardverfahren der künstlichen Verjüngung der Traubeneiche ist die Saat. Dies erfordert die Bereitstellung herkunftsgesicherten Saatgutes bester Qualität aus einer möglichst großen Anzahl bewährter, zugelassener Bestände. Wie die Abbildung 8 zeigt, besteht hieran in unserem Land kein Mangel. Insgesamt sind 1.442,2 ha Traubeneichenbestände (Plus- und A-Kategorie), hauptsächlich im Bereich des Pfälzerwaldes, zur Beerntung zugelassen. Die im letzten Jahrzehnt sich häufenden Masten und die eingespielten, von unserer Staatsklänge Elmstein organisierten bzw. betreuten Sammelaktionen für Eichensaatgut tragen zusammen mit den, wenn auch noch nicht ganz befriedigenden besseren Konservierungsmöglichkeiten für Eicheln zu einer ausreichenden Bedarfsdeckung bei.

Für die Stieleiche stellt sich die Situation nicht ganz so günstig dar. Denn auch für sie wird versucht, möglichst Vermehrungsgut aus regionalem, bewährtem Ausgangsmaterial zu gewinnen bzw. zu erzeugen.

Immerhin stehen auch für die Stieleiche rund 80 ha (Plus- und A-Kategorie) größtenteils hervorragender Bestände zur Verfügung. Da aber - dies gilt für die stauwasserbeeinflussten Standorte der kollinen und vor allem der submontanen Stufe - in der natürlichen regionalen Waldgesellschaft die Traubeneiche weit überwiegt, werden wir uns in Zukunft für die verbleibenden echten Stieleichenstandorte mit eigenem Vermehrungsgut selbst versorgen können.

Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchungen von AAS (1988) wurden auch in Rheinland-Pfalz entsprechende Überprüfungen der Artreinheit der Bestände durchgeführt. Deshalb ist in der Darstellung der Abbildung 8 eine Unterscheidung in Bestände der Kategorien „Plus“ und „A“, d.h. der Bestände, die den Voraussetzungen des Gesetzes über forstliches Saat- und Pflanzgut hinsichtlich der Artreinheit entsprechen und deshalb zugelassen sind, und in Bestände der Kategorie „B“ gemacht.

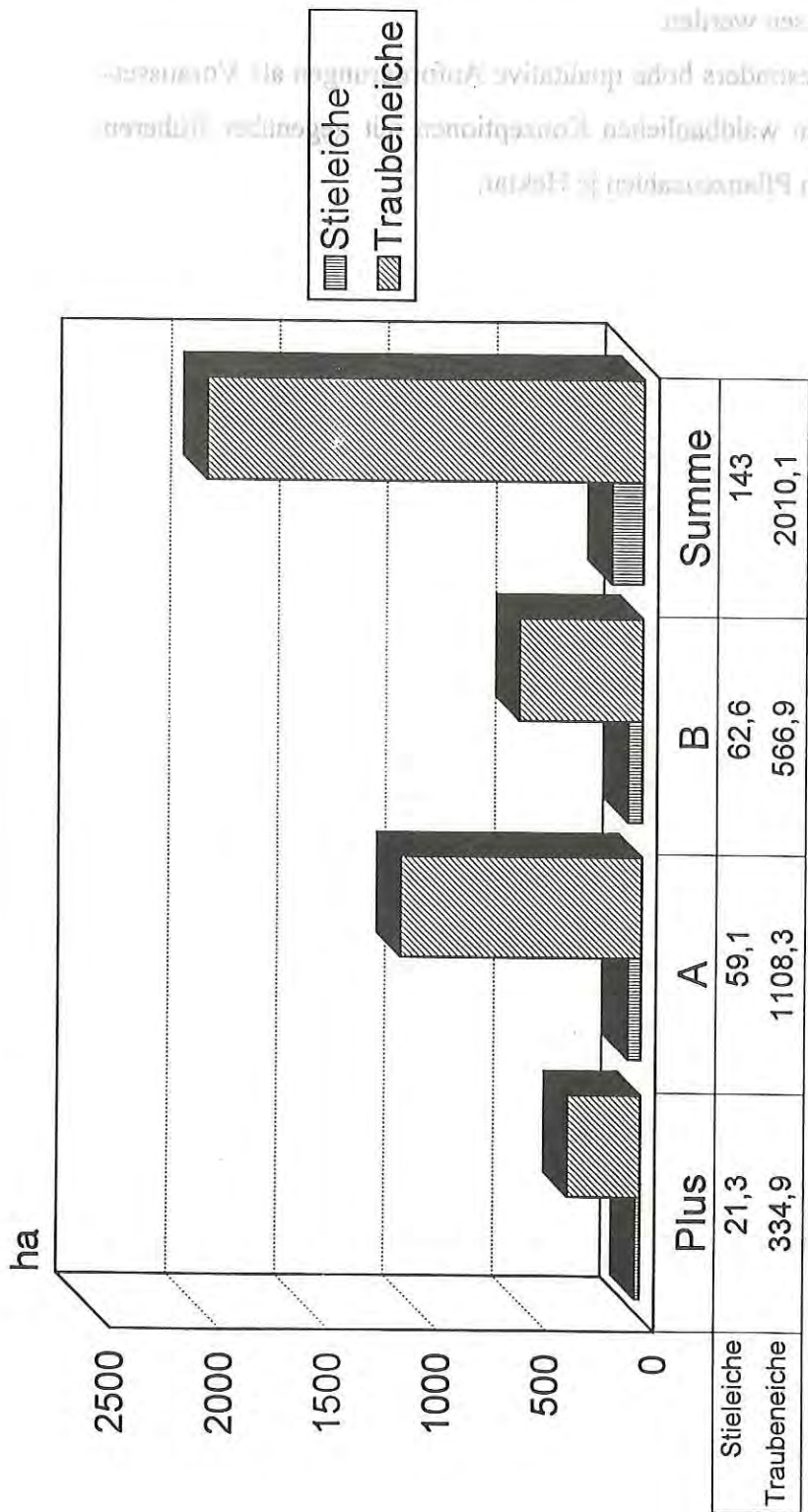
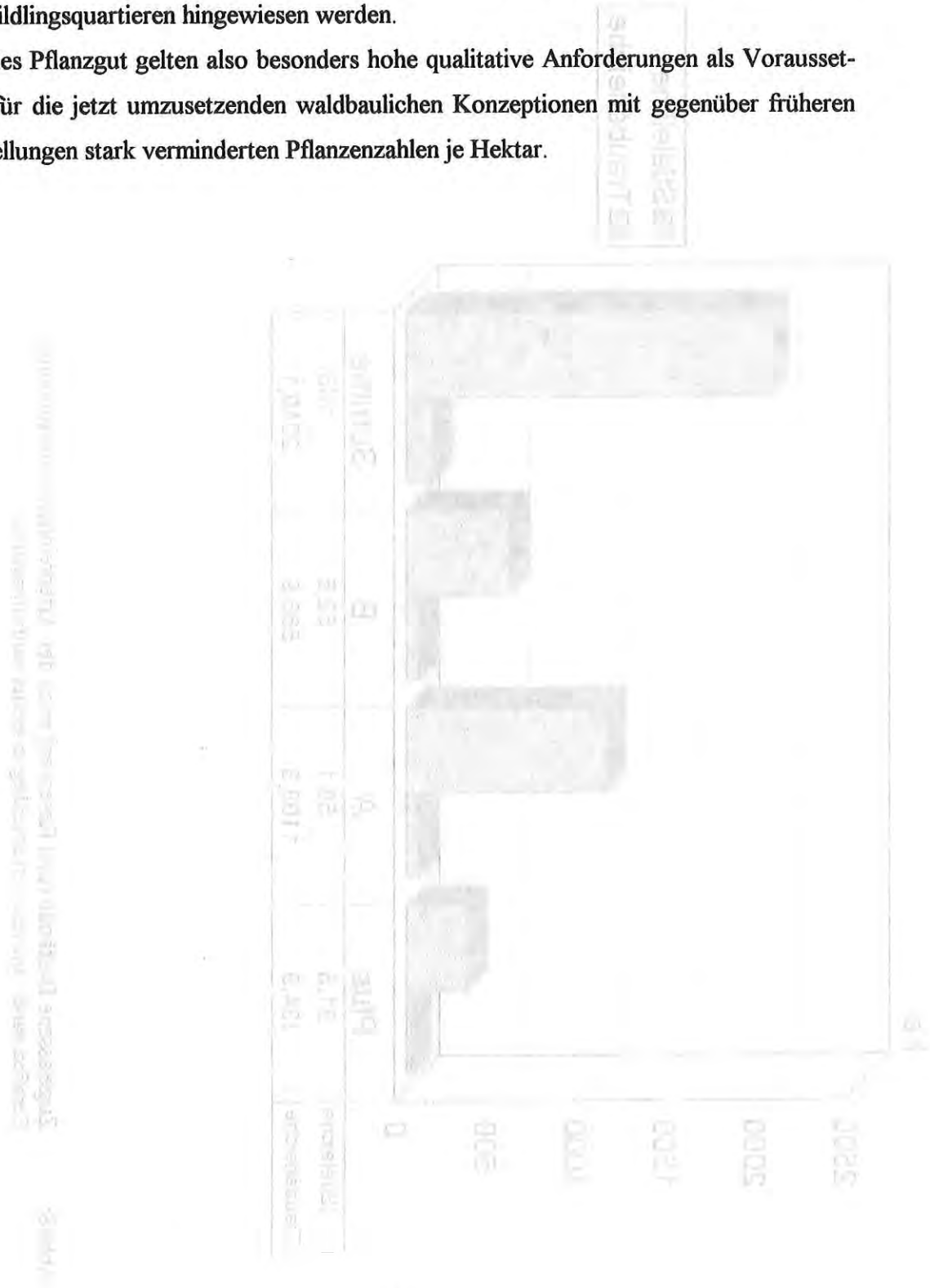


Abb. 8: Zugelassene Bestände (und Reserven) nach der Artenreinheitsuntersuchung  
 Certified stands (and reserves) according to species purity inspection

Bei letzterer handelt es sich um Bestände, die augenblicklich noch in geringem Umfang Bäume der anderen Art enthalten, die aber durch gezielte Pflegemaßnahmen entsprechend „bereinigt“ und danach zugelassen werden können. Die Bestände der B-Kategorie werden also quasi als Reservebestände betrachtet.

Was die Bereitstellung von qualitativ hochwertigem, herkunftsgesichertem Pflanzgut angeht, so kann auch auf die zunehmende Gewinnung von Pflanzen aus Saatflächen und aus Wildlingsquartieren hingewiesen werden.

Für alles Pflanzgut gelten also besonders hohe qualitative Anforderungen als Voraussetzung für die jetzt umzusetzenden waldbaulichen Konzeptionen mit gegenüber früheren Vorstellungen stark verminderten Pflanzanzahlen je Hektar.



## **7. Forschungsvorhaben zu den Eichenarten**

Auch die aktuell laufenden Forschungsprojekte und Versuchsreihen der Forstlichen Versuchsanstalt stellen heraus, welche Bedeutung den einheimischen Eichenarten zugemessen wird. Sie lassen sich grob in die **Schwerpunkte**

- *Untersuchungen zur Identifikation von Eichenarten und Herkünften innerhalb der Arten,*
- *Versuchsanlagen und Auswertungen vorhandener Daten zur Frage der Auswirkung der Bestandsbegründung auf die Bestandesqualität und von weiteren Verbänden auf Bestandesstruktur und -qualität sowie*
- *Fragen des Einflusses modifizierter Bestandspflege- und Durchforstungsstrategien auf Wachstum, Stabilität und Qualität der Stieleichen- und Traubeneichenbestände*

gliedern.

Die stark praxisorientierte Fragestellung zeigt den auch in einem klassischen Eichenanbaugebiet dringenden waldbaulichen Informationsbedarf.

Von den genetisch und biochemisch bestimmten Forschungsprojekten erwarten wir uns Hilfestellungen zur Verbesserung der Identifikationsmöglichkeiten.

## 8. Literatur

- AAS, G. (1988): Untersuchungen zur Trennung und Kreuzbarkeit von Stiel- und Traubeneiche. Dissertation der Ludwig-Maximilians Universität, München, 159 S.
- BECKER, M. und LEVY, G. (1990): Le point sur l'écologie comparée du Chêne sessile et du Chêne pédonculé. *Revue Forestière Française*, Fr. YLII-2-1990.
- BECKER, G.; HAPLA, F. und TEUTENBERG, A. (1990): Untersuchung der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48, Springer Verlag.
- CHRISTMANN, V. (1994): Natürliche Vegetationsgebiete in Rheinland-Pfalz. (Beschreibung Forstkarte 2.1 in „Forstatlas zum Landeswaldprogramm für Rheinland-Pfalz“); unveröffentlicht.
- DEXHEIMER, W. (1985): Die Traubeneiche im Pfälzerwald und ihre Bewirtschaftung. Forstliches aus Rheinhessen-Pfalz, Band 1 „Beiträge zur Forsteinrichtung“, Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz, Neustadt a. d. W.
- FENKNER-VOIGTLÄNDER, U. (1992): Forsteinrichtung und Waldbau im Elmsteiner Wald unter deutschen und französischen Einflüssen 1780-1860 - Ein Beitrag zur Forstgeschichte des Pfälzerwaldes. *Mitteilungen der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz*, 10, Mainz.
- LEIBUNDGUT, H. (1945): Über die waldbauliche Behandlung der Eiche. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 96.
- LEIBUNDGUT, H. (1976): Grundlagen zur Jungwaldpflege. *Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 52, H.4.
- LÜPKE, v., B. (1991): Einfluß der Konkurrenz von Weichlaubhölzern auf das Wachstum junger Traubeneichen. *Forst und Holz*, 7, S. 166-177.
- MEYER, K. (1990): Die Furniereiche im Pfälzerwald. *Forst und Holz*, 11, S. 289-292.
- MOSANDL, R.; BURSCHEL, P. und SLIWA, J. (1988): Die Qualität von Ausleseebäumen in Eichenjungbeständen. *Forst und Holz*, 43, 37-41.
- PAUL, C. (1989): Untersuchung von Wachstum und Qualität zweier unterschiedlich begründeter Traubeneichenbestände im Hessischen Forstamt Bad Soden-Salmünster. Diplomarbeit, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Göttingen.
- PETRI, H. (1970): Eichenanbau in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, S. 766-768.



RIEDL, W. (1989): Die Begründung und Pflege der Werteichenbetriebsklasse von Langenau. *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, Band 68.

ROSENSTOCK, A. (1992): Baggertechnologie. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 6, S. 293-295.

SACHSSE, H. und GRÜNEBAUM, M. (1990): Untersuchungen der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen - Auswirkung der Bestandsbegründung auf Holzstruktur und Furniereignung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 48, Springer Verlag.

SCHÜTZ, J.P. (1979): Leistung und Behandlung von Eichenversuchsflächen in der Schweiz. MELUF Stuttgart Hr. EM-8-80, S. 79-88.

SCHÜTZ, J.P. und BADOUX, E. (1979): Production de jeunes peuplements de chênes en relation avec station. *Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 55, H. 1, S. 1-176.

SCHULZ, H. (1990): Merkmale der Holzqualität von Eichen. Vortrag Forstliche Hochschulwoche München 1990.

SPIECKER, H. (1991): Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Trauben- und Stieleichen. *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, Band 72.

NN (1953): 25 Jahre Eichenwirtschaft im Gemeinewald Forstamt Treis, Mosel. *Mitteilungen aus dem FEA Koblenz*, Nr. 3.

NN (1966): Richtlinien für die Behandlung der Traubeneiche in den nördlichen Regierungsbezirken von Rheinland-Pfalz.

# Genetische Differenzierung in lokalem und kontinentalem Ausmaß bei europäischen Eichenarten: die Bedeutung geschichtlicher Faktoren <sup>1)</sup>

Rémy J. Petit, Brigitte Demesure, Emmanuel Pineau und Antoine Kremer

INRA

Laboratoire de génétique et amélioration des arbres forestiers  
F-33611 Gazinet-Cestas (France)

<sup>1)</sup> Die englische Originalfassung wurde von Dr. Werner Maurer, FVA Trippstadt, mit Genehmigung der Autoren ins Deutsche übersetzt.

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, postglacial recolonization, cpDNA, genetic structure, introgression

## Summary

Title of the original paper: Genetic differentiation at a local and continental scale in European oak species: the importance of historical factors.

Deciduous oak forests were restricted to southern Europe during the last glaciation. The northern European populations of these long-lived trees are therefore relatively young. We show that historical factors such as the location of the refugia from which the ancestors of a particular forest originate, or the migration route they followed can still be identified by studying the geographic variation of chloroplast DNA. This genome being maternally inherited is transmitted by acorns only and shows a high level of differentiation among populations both at a regional and a continental scale. On the other hand, differentiation is completely absent between several oak species indicating that hybridization/introgression must be considered as systematic processes occurring during recolonization. Hence, these oak species should not be studied or managed independently.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, nacheiszeitliche Wiederbesiedlung, cpDNA, genetische Struktur, Introgression

## Zusammenfassung

Laubwerfende Eichenwälder waren während der letzten Vereisungsperiode auf Südeuropa beschränkt. Die nordeuropäischen Populationen dieser langlebigen Populationen sind daher relativ jung. Wir zeigen, daß historische Faktoren wie z.B. die Lage der Refugialräume, aus denen die Vorfahren eines bestimmten Waldgebietes stammen oder die Wanderungsrouten, denen sie gefolgt sind, auch heute noch durch die Untersuchung der geographischen Variation der Chloroplasten-DNA nachvollzogen werden kann. Dieses mütterlicherseits vererbte Genom wird nur mit den Eicheln weitergegeben, und es weist ein hohes Maß an Differenzierung zwischen Populationen sowohl in regionalem wie auch in kontinentalem Ausmaß auf. Andererseits gibt es jedoch überhaupt keinerlei Differenzierung zwischen mehreren Eichenarten, was darauf hinweist, daß Hybridisierung/Introgression als systematische Vorgänge angesehen werden müssen, die während der Wiederbesiedlung stattfanden. Daher sollten diese Eichenarten nicht unabhängig voneinander wissenschaftlich untersucht bzw. bewirtschaftet werden.

## 1. Einleitung

Zu Ende der letzten Vereisung vor 13.000 Jahren war die geographische Verbreitung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) und der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) auf den Süden von Spanien und Portugal, Italien und die Balkanländer (BENNETT *et al.* 1991; HUNTLEY und BIRKS 1983) begrenzt. Daher sind die meisten, auf höheren Breitengraden liegenden Eichenwälder vergleichsweise jung und entstammen diesen sogenannten Refugialräumen. Während der langen, im Quartär vorherrschenden Vereisungszeiträume war ferner das Potential für ein genetisches Auseinandergehen zwischen Eichenpopulationen hoch. Tatsächlich waren diese Rückzugsgebiete von West nach Ost durch das Vorhandensein des Mittelmeeres voneinander isoliert. Ob die ursprüngliche genetische Substruktur bis heute fortbesteht, welche während des Wiederbesiedlungszeitraums von Europa, der von 13.000 BP (*Before Present*, Altersangabe in Jahren vor der Gegenwart mit Bezug auf 1950) bis 7.000 BP andauerte, angelegt worden sind, ist nicht bekannt. In der Tat ist dies abhängig von dem Umfang der erfolgten genetischen Vermischung, da die aus den verschiedenen Rückzugsgebieten stammenden Populationen in Nordeuropa miteinander in Kontakt kamen (HEWITT 1993). Es ist das Ziel dieses Beitrages, die Bedeutung dieser geschichtlichen Faktoren zu überprüfen mit der Einordnung der heutigen genetischen Konstitution europäischer Eichenwälder in ein kontinentales, aber auch ein regionales Ausmaß.

Die jüngere Geschichte der laubwerfenden Eichen in Europa ist in fossilen Pollenkarten gut belegt (HUNTLEY und BIRKS 1983). Diese Karten geben nicht nur nützliche Informationen über die Lage der meisten bedeutsamen eiszeitlichen Rückzugsgebiete (Abb. 1a), sondern auch über den zeitlichen Verlauf und die Lage der am meisten wahrscheinlichen Wiederbesiedlungsrouten. Desweiteren zeigen diese Daten, daß es Zeiten einer sehr schnellen Verbreitung gab, in denen sich der Eichenwald mit einer Geschwindigkeit von bis zu 500 Metern pro Jahr nach Norden bewegte (vgl. Abb. 1b und Abb. 1c). Es gibt jedoch einige Einschränkungen zu diesem paläobotanischen Ansatz. Zum einen ist es mit dieser Technik nicht möglich, die Wanderungsgeschichte einer jeden Eichenart nachzuvollziehen, da sich die Pollenkörner der laubwerfenden Eichen gewöhnlich nicht auf der Ebene der Art bestimmen lassen (insbesondere kann Traubeneichenpollen nicht vom Pollen der Stieleiche unterschieden werden). Zum anderen können, wenn Populationen

aus verschiedenen Rückzugsgebieten erst einmal miteinander in Kontakt gekommen sind, weitere Wanderungen nicht mehr mittels pollenanalytischer Techniken erkannt werden, und es bleibt ungeklärt, ob viel an genetischer Vermischung nach dem Kontakt stattfindet. Schließlich ist auch die räumliche Auflösung manchmal begrenzt, besonders in den wärmeren Niederungen aufgrund der Knappheit an Mooren und Sümpfen.

Genetische Marker sind deshalb erforderlich, um den paläobotanischen Ansatz zu ergänzen. Einige genetische Marker sind von besonderem Wert für solche „geschichtliche“ Zwecke, weil sie sich als Klone entwickeln und bei phylogenetischen Rekonstruktionen eingesetzt werden können. Dies ist der Fall bei der mütterlicherseits weitergegebenen Chloroplasten-DNA (cpDNA). Wegen ihres Vererbungsgangs (nur die in der Eianlage vorhandenen Plastiden werden an die Folgegeneration weitergegeben) ist die cpDNA ein ausgezeichneter Marker, um den Transfer von Samen zu untersuchen. Sie ist daher besonders für den Neuaufbau der nacheiszeitlichen Wiederbesiedlung angepaßt. Man vergesse nicht, daß Besiedlung im wesentlichen von der Samenverteilung abhängt (obwohl fossile Pollen dazu benutzt werden können, diese Besiedlung abzuleiten!). Schließlich ist der Grad der genetischen Unterteilung, die sich mit Hilfe der cpDNA bestimmen läßt, besonders hoch: PETIT *et al.* (1993) fanden, daß nahezu 90% der Diversität in der Chloroplasten-DNA zwischen Populationen vorherrscht, wohingegen nur 3% der Kern-Diversität Eichenpopulationen unterscheidet (KREMER und PETIT 1993). Darin spiegelt sich wohl wider: (1) der geringere Genfluß für cytoplasmische Marker verglichen mit Kern-Markern (Pollenverbreitung ist sicherlich viel effektiver als die Samenverbreitung bei Eichen, vgl. hierzu PETIT *et al.* 1993b); (2) das unregelmäßigere Samenaufkommen im Vergleich zum Pollenaufkommen: wahrscheinlich tragen mehr Bäume für die Folgegeneration als männliche denn als weibliche bei; (3) das Vorhandensein von 2 Kopien eines jeden Kern-Gens, jedoch nur einer einzigen Kopie eines jeden cytoplasmischen Gens in jeder individuellen Eiche (Eichen besitzen 12 Chromosomenpaare je Zelle) (PETIT *et al.* 1993b). Die beiden letzten Faktoren tragen zur Erhöhung der Drift (und deshalb zur Differenzierung) für einen cpDNA-Marker gegenüber einem biparental vererbten Kern-Marker bei.

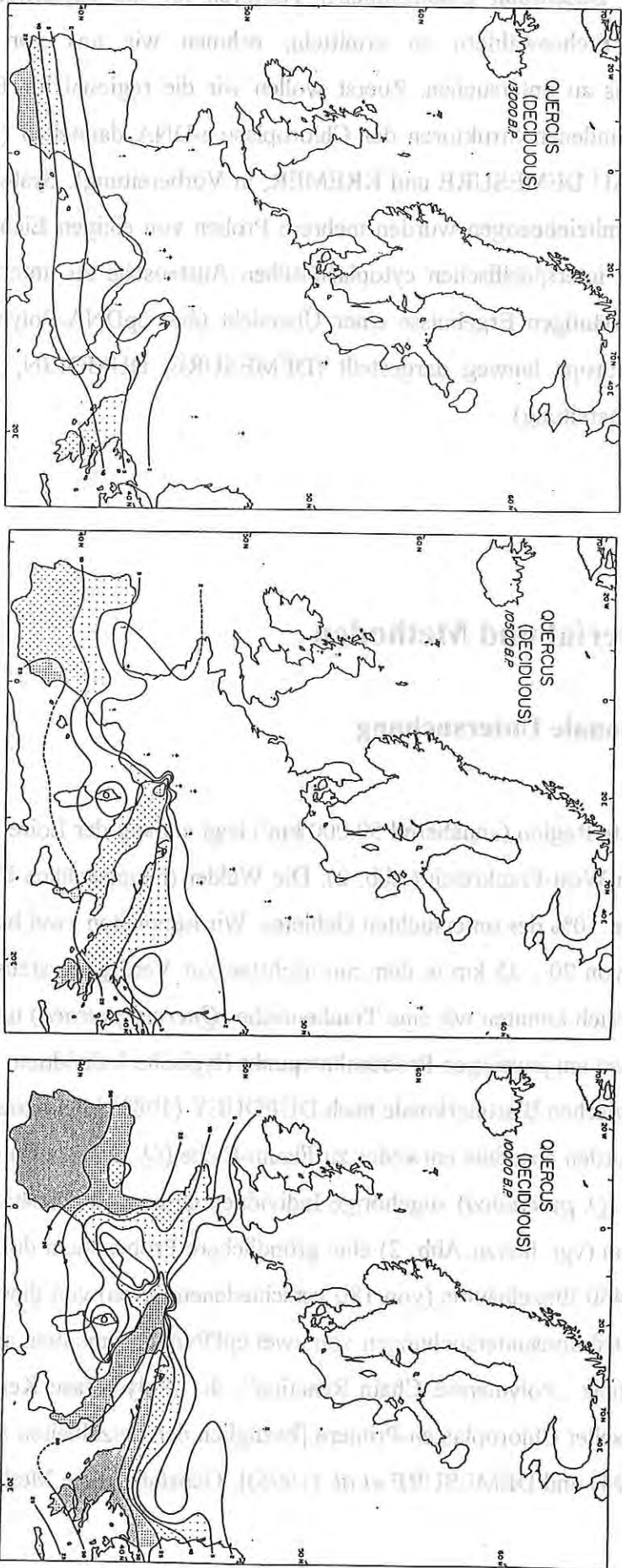


Abb. 1: Fossile Pollenkarten der laubwerfenden Eichen (nach Huntley und Birks 1983): (a) 13.000 BP, (b) 10.500 BP, (c) 10.000 BP.  
 Fossil pollen maps of deciduous oaks (according to Huntley and Birks 1983): (a) 13.000 BP, (b) 10.500 BP, (c) 10.000 BP.

Um daher die Bedeutung geschichtlicher Faktoren für die gegenwärtige genetische Struktur von Eichenwäldern zu ermitteln, nahmen wir uns vor, den cpDNA-Polymorphismus zu untersuchen. Zuerst wollen wir die regional für Eichen in West-Frankreich gefundenen Strukturen der Chloroplasten-DNA darstellen (PINEAU 1994; PETIT, PINEAU DEMESURE und KREMER, in Vorbereitung). Systematisch in diese Untersuchung miteinbezogen wurden mehrere Proben von einigen Eichenarten, um die Bedeutung der interspezifischen cytoplasmischen Austausch zu untersuchen. Danach werden die vorläufigen Ergebnisse einer Übersicht über cpDNA-Polymorphismen von Eichen über Europa hinweg dargestellt (DEMESURE, DUMOLIN, FINESCHI und PETIT, in Vorbereitung).

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Regionale Untersuchung**

Die ausgewählte Region (annähernd 50.000 km<sup>2</sup>) liegt entlang der Loire zwischen Nantes und Orléans in West-Frankreich (Abb. 2). Die Wälder (hauptsächlich Eichenwälder) repräsentieren ca. 10% des untersuchten Gebietes. Wir sammelten zwei bis drei Individuen in Abständen von 20 - 25 km in dem am nächsten zur Verfügung stehenden Forst oder Wald. Gewöhnlich konnten wir eine Traubeneiche (*Quercus petraea*) und eine Stieleiche (*Quercus robur*) am jeweiligen Probenahmepunkt (typische Individuen, die entsprechend der morphologischen Blattmerkmale nach DUPOUEY (1983) identifiziert wurden). Falls vorhanden, wurden ebenfalls entweder zu Flaum-Eiche (*Q. pubescens*) oder zu der Spanischen Eiche (*Q. pyrenaica*) zugehörige Individuen gesammelt. Zusätzlich wurde in der Charnie-Region (vgl. hierzu Abb. 2) eine gründlichere Probenahme durchgeführt. Insgesamt wurden 450 Einzelbäume (von 180 verschiedenen Orten) von diesen vier Eichenarten durch Restriktionsuntersuchungen von zwei cpDNA-Fragmenten, amplifiziert mittels der PCR-Technik „Polymerase Chain Reaction“, dt. „Polymerase Kettenreaktion“, mit Paaren universeller Chloroplasten-Primern [bezüglich der Einzelheiten zur Technik, siehe PINEAU (1994) und DEMESURE *et al.* (1995)]. Geostatistische Methoden wurden da-

zu benutzt, die Verteilung der häufigsten Cytotypen (d.h. Chloroplastentypen) nach MONESTIER *et al.* (1994) zu kartieren. Hierzu fand das Statistikpaket GEOSTAT-PC von BOIVIN (1990) Verwendung.

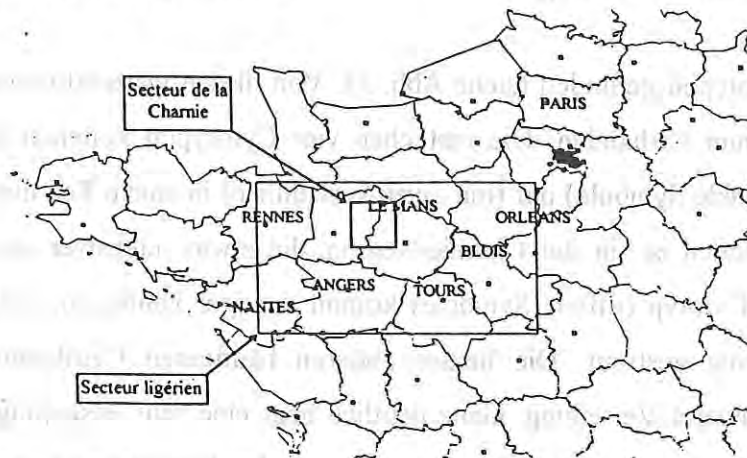


Abb. 2: Abgrenzung der Region in West-Frankreich, wo cpDNA von Eichen erfaßt wurde.  
 Delimitation of the region in western France where cpDNA of oaks was surveyed.

## 2.2 Europäische Untersuchung

Eine erste Untersuchung zur geographischen Variation der cpDNA in europäischen Eichen ist erst kürzlich veröffentlicht worden (PETIT *et al.* 1993a). Hier stellen wir vorläufige, auf einem erweiterten Kollektiv an untersuchten Populationen beruhende Ergebnisse dar, wobei die neuen, zahlreicheren PCR-Marker Verwendung fanden. Die Technik ist die gleiche wie die oben beschriebene, außer daß vier Fragmente mittels PCR amplifiziert wurden. Drei dieser Fragmente wurden mit einem einzigen Restriktionsenzym verdaut und eines mit zwei verschiedenen Restriktionsenzymen. Somit wurden für jedes Individuum 5 Restriktionsmuster erzeugt. Diese Muster wurden dazu verwendet, die Chloroplasten-Mutationen zu identifizieren (Punktmutationen bzw. Insertionen/Deletionen). Im gegebenen Falle wurde jedes Individuum einem Cytotyp entsprechend seines vollständigen Satzes an Merkmalen zugeordnet. Andere weniger nahe verwandte Eichenarten [Weiß-Eiche (*Quercus alba*); Zerr-Eiche (*Q. cerris*); Stein-Eiche (*Q. ilex*)] wurden analysiert, um so weit wie nur möglich auf den Abstammungs- und abgeleiteten Zustand für jede Mutation zu schließen. Unter Anwendung der Prinzipien der Sparsamkeit wurden die stammesgeschichtlichen Verwandtschaften zwischen allen Cytotypen abgeleitet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Regionale Untersuchung

Es wurden sieben Cytotypen gefunden (siehe Abb. 3). Von diesen waren drei nur in einem einzigen Individuum vorhanden. Die restlichen vier Cytotypen kommen häufiger vor, obgleich einer (dunkle Symbole) nur (mit zwei Ausnahmen) in einem Teil des Untersuchungsgebietes zu finden ist (in der Charnie-Region, die etwas intensiver untersucht wurde). Ein weiterer Cytotyp (offene Symbole) kommt weniger häufig vor, ist jedoch über das Gebiet hinweg gestreut. Die beiden anderen häufigeren Cytotypen haben durchweg eine fleckenweise Verteilung. Ganz deutlich liegt eine sehr ausgeprägte geographische Struktur vor, die **unabhängig von der Natur der beprobten Arten** ist, da unterschiedliche Arten (gekennzeichnet durch die verschiedenen Symbolformen, vgl. Legende zu Abb. 3) auf lokaler Ebene gewöhnlich denselben Cytotyp gemeinsam besitzen. Dieses Fleckenmuster der genetischen Struktur ist in Abb. 4 in einer Karte dargestellt, in der die abgeleiteten Häufigkeiten (0,6; 0,8 und 1,0) vom jeweiligen Cytotyp eingetragen sind. Somit sind ganze Regionen im wesentlichen auf einen einzigen Cytotyp fixiert, was unabhängig von der vorhandenen Art ist.



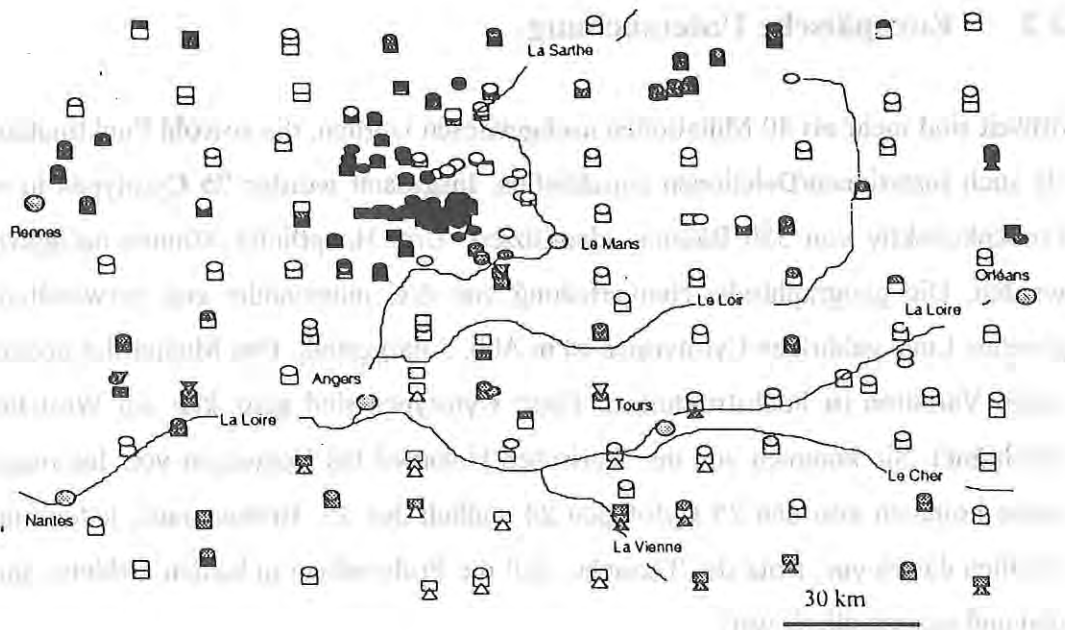


Abb. 3: Ergebnisse der Chloroplasten-DNA Regionaluntersuchung.  
 Es bedeuten: Quadrate: *Q. robur*, Kreise: *Q. petraea*, Dreiecke: *Q. pubescens*,  
 umgekehrte Dreiecke: *Q. pyrenaica*.  
 Die Farbschattierungen bezeichnen die verschiedenen Cytotypen.

Results of the chloroplast DNA regional study. Squares indicate *Q. robur*, circles *Q. petraea*,  
 triangles *Q. pubescens*, triangles pointing downwards *Q. pyrenaica*. The colors indicate the  
 different cytotypes.

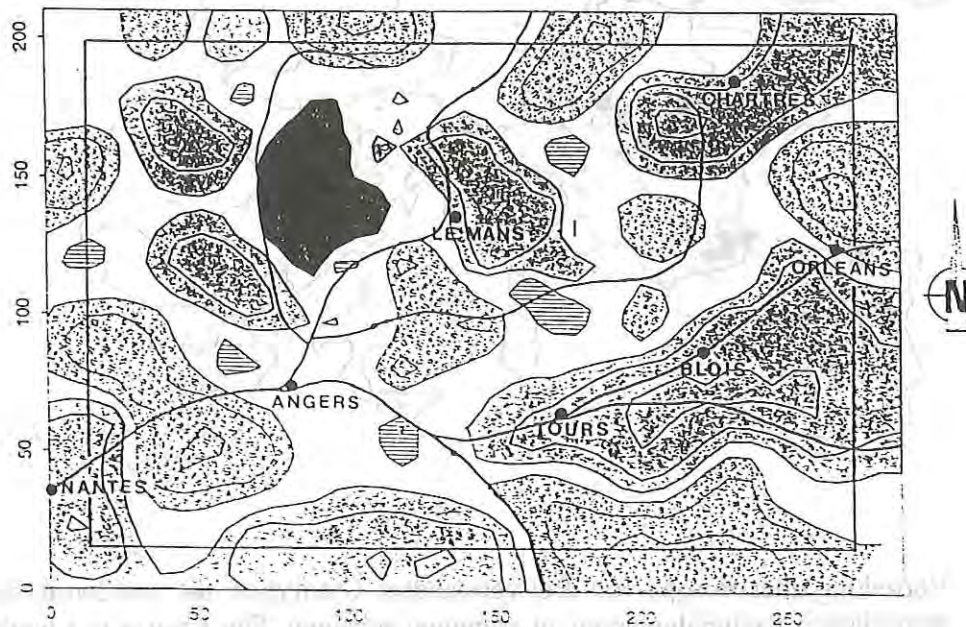


Abb. 4: Karte, erhalten durch die Anwendung von geostatistischer Methoden auf die  
 Daten von Abb. 3.

Map obtained by applying geostatistical methods to the data of fig. 3.

### 3.2 Europäische Untersuchung

Soweit sind mehr als 40 Mutationen nachgewiesen worden, die sowohl Punktmutationen als auch Insertionen/Deletionen einschließen. Insgesamt wurden 25 Cytotypen in einem Probenkollektiv von 550 Bäumen identifiziert. Drei Hauptlinien können nachgewiesen werden. Die geographische Neuverteilung von drei miteinander eng verwandten, zur gleichen Linie gehörigen Cytotyphen ist in Abb. 5 dargestellt. Das Muster der geographischen Variation ist hochstrukturiert. Diese Cytotyphen sind ganz klar auf West-Europa beschränkt. Sie kommen von der Iberischen Halbinsel bis Norwegen vor. Interessanterweise kommen von den 25 Cytotyphen 24 südlich des 45. Breitengrads, jedoch nur 10 nördlich davon vor, trotz der Tatsache, daß die Probenahme in beiden Gebieten im großen und ganzen gleich war.

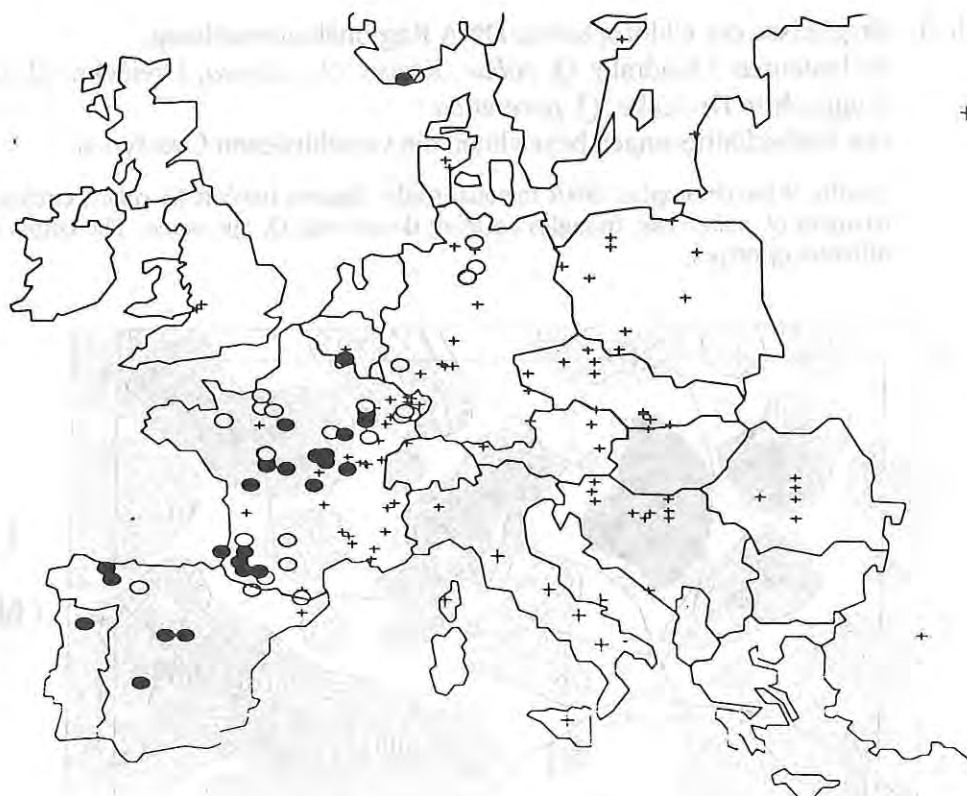


Abb. 5: Verteilung über Europa von drei verwandten Cytotyphen, die aus den iberischen eiszeitlichen Refugialgebieten zu stammen scheinen. Die Kreuze (+) markieren ausgewählte Populationen, in denen keiner dieser drei Cytotyphen zu finden war. Aus solchen Daten läßt sich die nacheiszeitliche Wiederbesiedlung ableiten.

Distribution over Europe of three related cytoypes which seem to originate from the Iberian glacial refugia. The crosses (+) indicate sampled populations where none of these cytoypes was found. The post-glacial recolonisation routes can be deduced from such data.

## 4. Diskussion

In der Untersuchung der cpDNA-Polymorphismen in West-Frankreich verdienen zwei Hauptpunkte näherer Erläuterung. Erstens nämlich, wie konnte sich eine so starke genetische Struktur einstellen? Was teilt sie uns hinsichtlich der Geschichte der Eichenwälder mit? Und zweitens, welche Bedeutung kommt den interspezifischen Genaustauschen bei Eichen zu? Wie und wann fanden diese interspezifischen Austausche statt?

Zur Erklärung der beobachteten starken geographischen Strukturierung sind mehrere Hypothesen möglich. Zum einen könnte man sich vorstellen, daß selektive Einflüsse in der Größenordnung der Flecken am Wirken sind, die dazu neigen, einen bestimmten Cytotyp in einem gegebenen Gebiet zu fixieren. Allerdings gibt es für das beobachtete Muster keine direkte Verbindung mit Umweltfaktoren wie Boden, Geologie, Niederschlag etc. (PINEAU 1994). Unterschiede in den Umweltbedingungen (Bodenwassergehalt, pH etc.) innerhalb der genetisch homogenen Flecken sind offensichtlich größer als Umweltsunterschiede zwischen Flecken. Man beachte auch, daß das Muster gleich ist für Eichenarten mit ganz unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen. Diese Beobachtungen führten dazu, daß wir hierfür geschichtliche (stochastische) Erklärungen gegenüber den ökologischen (adaptiven) favorisieren. Unter den möglichen geschichtlichen Interpretationen können wir zwischen künstlichen (aufgrund menschlicher Aktivitäten) und naturbedingten Interpretationen unterscheiden.

Rodung und somit Zerstückelung des Waldes ist die einzige wesentliche Folge von Aktivitäten des Menschen seit der jungsteinzeitlichen Revolution. In Frankreich führte die Entwaldung insbesondere in der römischen Zeit und während des Mittelalters bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts zu einem Wald mit weniger als 12% der Landesfläche. Seitdem ist der Anteil an bestocktem Land stetig angestiegen, die Waldflächen nehmen nunmehr etwa 26% des Landes ein. Diese Zunahme erfolgte entweder auf natürlichem Wege (Wiederbesiedlung von ehemaligen Kulturflächen) oder durch Pflanzung. Wir können daher annehmen, daß die meisten nicht-autochthonen Eichenwälder von vergleichsweise jungem Alter sind, doch gab es mit Sicherheit Eichel-Transfers aus weiten Entfernungen vor dem 19. Jahrhundert. Aus der fleckenartigen Verteilung der meisten Cytotypen ist zu schließen, daß ein einziger oder einige wenige genetisch verwandte Bäume am Ursprung von großen Flecken von Wäldern, die durch denselben Cytotyp charakterisiert sind, betei-

ligt war, dies infolge **maternaler Gründereffekte**. Dies läßt sich für den Beginn der nacheiszeitlichen Wiederbesiedlung, als es keine Eichenwälder gab, leichter vorstellen als für irgendeine Zeit danach. Künstliche oder natürliche Samentransfers vergleichsweise jüngeren Datums verringern wohl eher infolge der Vermischung unterschiedlicher Eichenherkünfte die vorangegangene (ursprüngliche) genetische Struktur als daß sie diese vergrößern. So haben z.B. THIÉBAUT *et al.* (1990) nachgewiesen, daß in dem Falle der Wiederbesiedlung von gerodeten Flächen durch die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) aufgrund der Samenverbreitung in mittlerer Entfernung der Verwandtschaftsgrad zwischen ansiedelnden Bäumen gleich Null ist. Die räumliche genetische Diversität wird dann in Unordnung gebracht, ganz im Gegensatz zu dem, was geschieht, wenn Besiedlungsvorgänge aus großer Entfernung in nichtbesetzte Gebiete stattfinden (NICHOLS und HEWITT 1994). Insgesamt könnten die Ergebnisse schon nahelegen, daß sehr lange (ca. 50 km, das ist die mittlere Größe der Flecken) und **seltene Verbreitungsereignisse** (durch Vögel - wahrscheinlich Rabenvögel (*Corvidae*) wie der Eichelhäher (*Garrulus glandarius* L.) (BOSSEMA 1979) - oder in größeren Fließgewässern) zur Zeit der Wiederbesiedlung vor etwa 10.000 Jahren mitbeteiligt waren (vgl. Abb. 2). Effektive Samenaustausche müssen damals begrenzt gewesen sein, da ansonsten diese ursprüngliche Struktur letztendlich verschwunden wäre. Wir haben bereits vorgeschlagen, daß die während der nacheiszeitlichen Wiederbesiedlung der Eichen angelegte ursprüngliche genetische Struktur wohl „eingefroren“ worden ist zu dem Zeitpunkt, als sich dichte Wälder gebildet hatten (PETIT *et al.* 1993a). Dies beruht auf der Beobachtung, daß bekanntlicherweise die Wanderung von Pollen, aber auch die von Samen, gewöhnlich mit der Populationsdichte negativ korreliert ist (HANSON 1983; CARTER, JOHNSON und WEBB 1989).

Das vorgestellte Szenario bezieht sich auf die erste Art, die die neuen Gebiete besiedelte (mit Sicherheit *Q. robur* infolge ihres größeren Pioniercharakters). Zur Erklärung des systematischen Vorhandenseins desselben Cytotypen in örtlichen Populationen sowohl von *Q. petraea* als auch von *Q. robur* muß ein anderer Besiedlungsmechanismus für die in der Sukzession spätfolgende, schattentolerante *Q. petraea* angenommen werden.

Eine neuerliche Untersuchung des Paarungssystems in einem Mischbestand (*Q. robur* und *Q. petraea*) hat gezeigt, daß es einen wichtigen gerichteten Genfluß von *Q. petraea*

zu *Q. robur* gibt: die Hybrid-Eicheln werden zumeist auf *Q. robur*-Bäumen gebildet (BACILIERI 1994). Zusätzlich gibt es innerhalb von *Q. petraea* ebenfalls einen gerichteten Trend hin zu typischeren *Q. petraea*-Bäumen von einer Generation zur nächsten. Schließlich erscheint es infolge der größeren Konkurrenzfähigkeit von *Q. petraea* in Mischbeständen (LÉVY *et al.* 1992) einleuchtend, daß sich die Folgegeneration aus mehr *Q. petraea*-Bäumen zusammensetzen wird als die jetzige, beides aufgrund demographischer und genetischer (d.h. Kompatibilität, Genfluß) Effekte. Man beachte, daß - wie anhand von in Deutschland durchgeführten interspezifischen kontrollierten Kreuzungen gezeigt werden konnte - höchst kompatible Kombinationen in der Tat in Richtung *Q. petraea* (männlich) x *Q. robur* (weiblich) stattfanden (STEINHOFF 1993).

Als Ergebnis sei freigestellt, daß eine passive Introgression des Cytoplasmas von *Q. robur* in *Q. petraea* ohne jegliche Veränderung der ursprünglichen cpDNA-Struktur möglich ist. Wenn wir ein solches Szenario annehmen, wonach *Q. petraea* später durch Hybridisierung mit *Q. robur* ankam und nachfolgend eine Rückkreuzung der Hybriden mit *Q. petraea* stattfand, dann ist der Schluß der, daß sich diese Art letztlich mittels Pollen verbreitet und nicht (oder nur als Randerscheinung) durch Samen.

Auf jeden Fall ist die große Ähnlichkeit zwischen dem geographischen Muster der Chloroplasten-Polymorphismen mehrerer Eichenarten von großer praktischer Bedeutung. Eine geographische Karte wie die in Abb. 4 dargestellte bezieht sich gleichzeitig auf mindestens zwei Eichenarten. Die Übereinstimmung des für unterschiedliche Eichenarten erhaltenen Musters ist ein gutes Merkmal für seinen vorfahrenhaften autochthonen Charakter. In der Tat dauert es mindestens zwei Generationen, das Cytoplasma einer Art in die andere zu übertragen. Eine Verbreitung von Eicheln oder von Sämlingen über weite Entfernung in jüngerer Vergangenheit beziehen sich wohl eher auf eine einzelne Eichenart und hat somit nicht nur intra-, sondern auch interspezifische cpDNA-Polymorphismen zur Folge.

Diese erste Untersuchung hat also den Wert von cpDNA-Polymorphismen für den Nachweis von regionalen genetischen Mustern deutlich gemacht. In der zweiten Untersuchung, in europäischem Ausmaße, wird die volle, in dem Chloroplasten-Molekül vorhandene stammesgeschichtliche Information dieses Komplexes der laubwerfenden Ei-

chenarten ausgenutzt. Die **Phylogeographie**, die Lehre von der geographischen Verteilung der stammesgeschichtlich angeordneten Verwandtschaftsgruppen, fügt populationsgenetischen Untersuchungen noch eine höchst eigene geschichtliche Dimension hinzu, da diese die nachträgliche Herstellung der Abstammung der nachgewiesenen Cytotypen ermöglicht.

Die hier aufgezeigten vorläufigen Ergebnisse lassen auf eine wahrscheinliche nacheiszeitliche Wanderungsrouten für Eichen schließen, was sich mit den Pollendaten von Abb. 1 deckt. Die Tatsache, daß die drei miteinander nahe verwandten Cytotypen eine sehr ähnliche geographische Verteilung besitzen, steht im Einklang mit der Hypothese, nach der diese vergleichsweise jungen Mutationen während der eiszeitlich bedingten Isolation in den Rückzugsgebieten auftrafen. Identische Cytotypen werden in Individuen gefunden, die von Süd- nach Nord-Europa, jedoch nicht von Ost- nach West-Europa vorkommen, was mit der bevorzugten Nordrichtung der Wiederbesiedlung ihres Verbreitungsgebietes durch Eichen übereinstimmt. Sowohl aus unseren genetischen Daten als auch aus den Pollenkarten (Abb. 1a) wird klar, daß Eichen ein westliches Refugialgebiet auf der Iberischen Halbinsel im Gegensatz zu vielen anderen Waldbäumen der gemäßigten Zonen hatten (BENNETT *et al.* 1991).

Das Vorkommen einer größeren Anzahl an verschiedenen Cytotypen im Süden Europas ist bemerkenswert. Nur ein Bruchteil dieser Variabilität ist in Nord-Europa zu finden. Auch dieses stimmt wiederum perfekt mit dem Rückzugsmodell überein, wonach jede nördliche Waldpopulation von einem Rückzugsgebiet im Süden abstammt, wo Eichen seither fortbestehen (BENNETT *et al.* 1991). Die Expansionsphase war wahrscheinlich zu kurz, um viel Diversität während der nacheiszeitlichen Ausbreitung hervorzubringen, was die langsame Mutationsrate der cpDNA verursachte. Ein ähnliches Ergebnis wurde kürzlich in einer Isozym-Untersuchung an *Q. petraea* erhalten: es gibt eindeutig eine Abnahme der mittleren Anzahl an Allelen pro Genort in den nördlichsten Populationen (ZANETTO und KREMER, im Druck).

Was auch immer das Ausmaß der geographischen Analyse sein mag, örtlich oder kontinental, die mittels der Chloroplasten-DNA-Marker beobachtete starke genetische Struktur stellt eine hervorragende Möglichkeit dar, zurückliegende geschichtliche Ereignisse

abzuleiten. Die meisten dieser Abläufe, zumindest in Nord-Europa, scheinen auf die Epoche der nacheiszeitlichen Expansion zurückzugehen, als eine Reihe von Flaschenhälsen entstand.

Eine am meisten versprechende Anwendung der in lokalem Ausmaße erzielten Ergebnisse ist die Möglichkeit, durch Vergleich mit dem erhaltenen „Referenz“-Muster das Vorhandensein von allochthonen, eingebrachten Eichenbeständen abzuleiten. Diese Möglichkeit sollte in Zukunft dahingehend überprüft werden, daß zuerst mit gut dokumentierten Fällen des Langstrecken-Transfers von Eichenpopulationen begonnen wird. Danach kann sie dann dazu eingesetzt werden, um nichtbekannte eingebrachte Populationen aufzuspüren. Die Kenntnis des geographischen Ursprungs (oder zumindest des heimischen oder eingebrachten Status und damit mögliche Angepaßtheit) der in seinem Wald stockenden Bäume sollte für den Waldbauer von Nutzen sein.

In europäischem Ausmaße haben ZANETTO und KREMER (im Druck) kürzlich unter Verwendung von Isozym-Genmarkern einen Ost-West-Trend der Differenzierung beschrieben ganz ähnlich zu dem, was hier bei Verwendung von cpDNA beschrieben wurde. Allerdings waren die mit Isozymen gefundenen Unterschiede feiner. Das mit cytoplasmischen und Kern-Markern erhaltene konvergente geographische Muster erhöht die Möglichkeit, daß die nachgewiesene genetische Struktur ebenfalls einige adaptive Merkmale (wahrscheinlicher eher vom Kern-Genom aufgrund seines größeren Umfangs kodiert) betrifft.

Das lange Auseinandergehen der Populationen in getrennten, ökologisch gegensätzlichen Rückzugsgebieten muß wohl auch eine Auswirkung auf wichtige adaptive Merkmale der Bäume gehabt haben.

Wegen der Schnelligkeit, mit der sich Variationsmuster mit cytoplasmischen Markern erstellen lassen, könnten diese von großem praktischem Nutzen sein für die Programm-erstellung zur Erhaltung der genetischen Ressourcen in internationalem wie auch nationalem Umfang sowie beim Vollzug der Verordnungen, die den Saatgut-Handel betreffen. Sie lassen auch neue Einsichten in die Evolutionsvorgänge innerhalb der Gattung *Quercus* sowie in das Geschehen des Genaustauschs von nahe verwandten Arten zu.

Obgleich genetische Untersuchungen zur Erklärung von paläoökologischen Ereignissen sehr hilfreich sind, sind diese jedoch auf die ganz direkte Untersuchung der räumlichen genetischen Diversität von Bäumen in heute existierenden Wäldern begrenzt. Zukünftig wird die Entwicklung von neuen Molekulartechniken Zugang zur Zeitdimension geben, da die genetische Struktur von datierten fossilen Materialien ebenfalls ausgewertet werden kann.

## 5. Literatur

- BACILIERI, R. (1994): Régime de reproduction et flux géniques dans un peuplement mixte de chêne sessile (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) et chêne pédonculé (*Quercus robur* L.). Thesis, University of Montpellier, France.
- BENNETT, K.D.; TZEDAKIS, P.C. and WILLIS, K.J. (1991): Quaternary refugia of north European trees. *Journal of Biogeographie*, 18, pp. 103-115.
- BOIVIN, P. (1990): GEOSTAT-PC. Logiciel interactif pour calcul géostatistique, ORSTOM, Paris.
- BOSSEMA, I. (1979): Jays and oaks: an eco-ethological study of a symbiosis. *Behaviour*, 70, pp. 1-117.
- CARTER JOHNSON, W. and WEBB, T. III, (1989): The role of blue jays (*Cyanocitta cristata* L.) in the postglacial dispersal of fagaceous trees in eastern North America. *Journal of Biogeographie*, 16, pp. 561-571.
- DEMESURE, B. SODZI, N. and PETIT, R.J. (1995): A set of universal mitochondrial and chloroplast primers for amplification of polymorphic non-coding fragments in plants. *Molecular Ecology* 4, pp. 129-131.
- DUPOUEY, J.L. (1983): Analyse multivariable de quelques caractères morphologiques de populations de chênes du Hurepoix. *Annales des Sciences Forestières*, 40, pp. 251-264.
- HANDEL, S.N. (1983): Pollination ecology, plant population structure, and gene flow, pp. 163-211. In: Pollination biology, L. Real (ed.), Academic Press, New York.



- HEWITT, G.M. (1993): Postglacial distribution and species substructure: lessons from pollen, insects and hybrid zones. *In: Evolutionary Patterns and Processes*, The Linnean Society of London (Ed.).
- HUNTLEY, B. and BIRKS, H.J.B. (1983): An atlas of past and present pollen maps for Europe 0-13000 years ago. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- KREMER, A. and PETIT, R. J. (1993): Gene diversity in natural populations of oak species. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 186s-202s.
- LÉVY, G.; BECKER, M. and DUHAMEL, D. (1992): comparison of the ecology of pedunculate and sessile oaks: radial growth in the centre and northwest France. *Forest Ecology and Management*, 55, pp. 51-63.
- MONESTIER, P.; GOULARD, M. and CHARMET, G. (1994): Geostatistics for spatial genetic structures: study of wild populations of perennial ryegrass. *Theoretical and Applied Genetics* 88, pp. 33-41.
- NICHOLS, R.A. and HEWITT, G.M. (1994): The genetic consequences of long distance dispersal during colonization. *Heredity* 72, pp. 312-317.
- PETIT, R.J.; KREMER, A. and WAGNER, D.B. (1993a): Geographical structure of chloroplast DNA polymorphisms in European oaks. *Theoretical and Applied Genetics*, 87, pp. 122-128.
- PETIT, R.J.; KREMER, A. and WAGNER, D.B. (1993b): Finite island model for organelle and nuclear genes in plants. *Heredity*, 71, pp. 630-641.
- PINEAU, E. (1994): Variabilité spatiale de l'ADN chloroplastique des chênes dans l'Ouest de la France. Mémoire d'ingénieur des Techniques Agricoles, INRA Bordeaux, Cestas, France.
- STEINHOFF, S. (1993): Results of species hybridization with *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 137s-143s.
- THIÉBAUT, B.; CUGUEN, J.; COMPS, B. and MERZEAU, D. (1990): Genetic differentiation in beech (*Fagus sylvatica* L.) during periods of invasion and regeneration. *In: Biological invasions in Europe and the Mediterranean Basin*. (di Castri, F., HANSEN, A.J. and DEBUSSCHE, M., eds.). Kluwer Academic Publication, Dordrecht, pp. 379-390.
- ZANETTO, A. and KREMER, A. (1995): Geographic structure of gene diversity in *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. I: Monolocus patterns of variation. *Heredity*, im Druck.

# Kontrollierte Kreuzungen und Entwicklung der Hybriden von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)

Gunar Schüte

Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Abt. Forstpflanzenzüchtung  
D-34355 Staufenberg-Escherode

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, controlled hybridization, selfing, seedling development

## Summary

Title of the paper: Controlled crosses and development of hybrids from pedunculate and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.).

The controlled hybridizations between pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) are described. From 1989 up to now 25.000 blossoms were isolated and pollinated under control. The self-pollination rate was very modest with only 1% and 2% of all blossoms pollinated.

The pollination rate of the intraspecific crossings was 6% higher than the interspecific rate. Especially for *Quercus petraea* the interspecific crossing rate was very modest, so it seems that there are genetic mechanisms which prevent pollination.

The development of the seedlings is described.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Hybridisierung, Selbstung, Wachstum

## Zusammenfassung

Die Versuche zur künstlichen Hybridisierung von Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) im Zeitraum 1989 - 1994 werden dargestellt. Isoliert wurden ca. 25.000 Blüten. Die Selbstungsrate erwies sich bei beiden Arten mit 1% bzw. 2% als sehr gering. Die Ausbeute an Eicheln bei den kontrolliert bestäubten Blüten lag bei 11,8%. Die intraspezifischen Kreuzungsraten lagen im Mittel 6% über den interspezifischen Raten. Die Traubeneichen erwiesen sich mit der Stieleiche als nur in geringem Maße kreuzbar im Gegensatz zu der reziproken Kreuzung.

Die Wachstumsentwicklung der Sämlinge wird beschrieben. Die sich aus den Kreuzungen unter kontrollierten Bedingungen ergebenden Rückschlüsse auf die natürliche Kreuzbarkeit der Arten werden diskutiert.

## 1. Einführung

Die Unterscheidung der Stiel- und Traubeneiche sowie die Frage der Hybridisierung der Arten ist in der Vergangenheit wie in der Gegenwart Gegenstand teilweise hitziger Diskussionen gewesen (JOVANOVIĆ und JUCOVIĆ 1975; AAS 1988; BURGER 1921; KRAHL-URBAN 1959; WIGSTON 1975; DUPOUEY 1993).

Kontrollierte Kreuzungen einiger Forschungsstellen liegen vor, allerdings in zu geringem Umfang, um abgesicherte Aussagen auf breiterer Basis treffen zu können.

Eine neue Brisanz kommt in diesen Themenkomplex durch die Regelungen zur Artreinheit bei Stiel- und Traubeneichenbeständen, die als Erntebestände zugelassen werden sollen, sowie durch die Bestimmungen zur Artreinheit beim Vertrieb von Saatgut. Nach den Richtlinien dürfen maximal 1% Früchte der anderen Art im Saatgut beteiligt sein.

Zur Klärung folgender offener Fragen wurde 1989 in Escherode mit kontrollierten Kreuzungen begonnen, die in den Jahren 1990, 1992 und 1994 fortgeführt wurden:

- *Wie hoch ist die Hybridisierungsrate zwischen Stiel- und Traubeneiche im Vergleich zur innerartlichen Kreuzbarkeit?*
- *Sind die Kreuzungen und Kreuzungsraten klonspezifisch, und wie stark ist diese klonale Divergenz?*
- *Entwickeln sich aus den Hybrideicheln Pflanzen, und wie verhalten sich diese bezüglich Wachstum und Morphologie?*

Alle Kreuzungen wurden auf der Samenplantage Berkel (Hildesheim, Anlage 1956-59) durchgeführt, auf der auch AAS (1988) seine Kreuzungen durchführte. Die Blühtermine von Stiel- und Traubeneiche sind bei den gegebenen Verhältnissen zeitgleich, wie dies auch bei sympatrischen Vorkommen in Beständen beschrieben wird. Hierauf wird bei den Rückschlüssen auf die natürliche Hybridisierung einzugehen sein.

## 2. Bestimmung der inter- und intraspezifischen Kreuzbarkeit

Im Zeitraum 1989 - 1994 wurden insgesamt 25.000 Blüten isoliert und bestäubt. Geerntet wurden 3.055 Eicheln, was einer Ausbeute von 11,8% entspricht. Ca. 3.000 Blüten wurden zur Bestimmung der Selbstungsrate isoliert. Die Bestäubungen wurden möglichst mit Frischpollen vorgenommen, nur bei divergierenden Blühterminen wurde eingelagerter Pollen verwendet. 1994 wurde ausschließlich mit eingelagertem Pollen gearbeitet, da der Pollen durch Pilze infiziert war. Der verwendete Pollen wurde vor der Bestäubung auf Vitalität getestet. Als Medium wurde eine Agarnährlösung (7%) mit 10% Saccharose verwendet. Die Pollen quellen bei diesem Verfahren in der Regel nur auf und bilden selten Pollenschläuche. Die Ergebnisse der Pollenkeimprüfungen können allerdings nur als grober Anhalt betrachtet werden, eine Abhängigkeit zwischen Pollenkeimprüfung und Kreuzungsrate wurde nicht gefunden.

Abbildung 1 gibt die Kreuzungsergebnisse der Kreuzungen 1989-1994 wider.

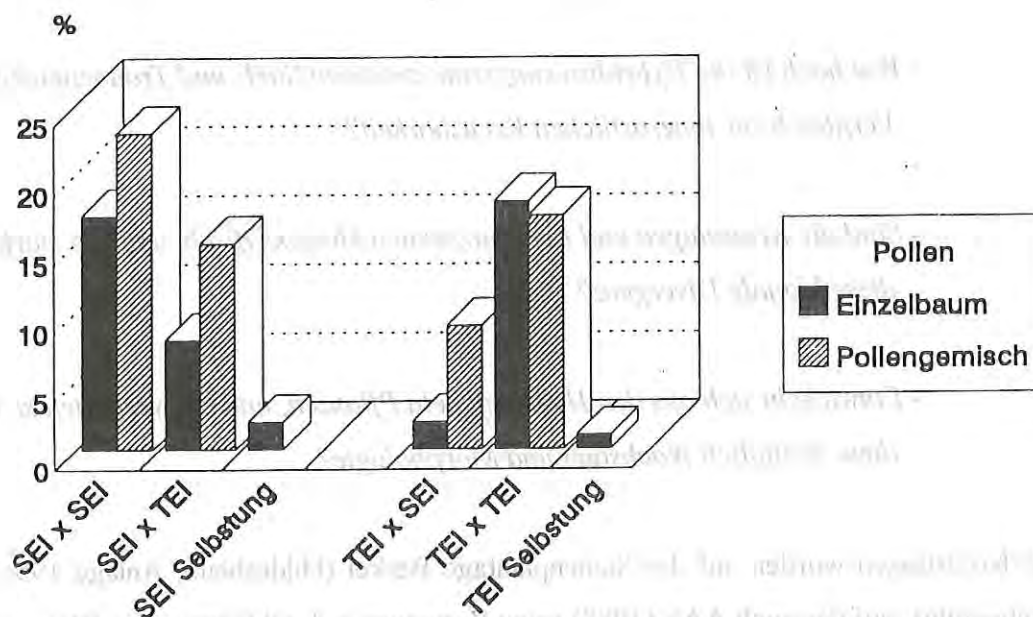


Abb. 1: Anteil erfolgreicher Kreuzungen 1989 - 1994.

Proportion of successful crosses in 1989 - 1994.

Im wesentlichen bestätigen die Ergebnisse die früheren Kreuzungsergebnisse, die von AAS (1988) beschrieben wurden, allerdings mit höheren Kreuzungserfolgen bei den Artkreuzungen, besonders bei der Traubeneiche.

Die Selbstungsrate ist bei beiden Arten mit 1% bzw. 2% sehr gering. Die Verwendung von Pollengemischen (4-6 Väter/Pollengemisch) bringt bei allen Kreuzungen mit Ausnahme der reinen Traubeneichenkreuzungen die besseren Kreuzungsraten (Mittel 6%) als die Verwendung von Einzelbaumpollen.

Die Kreuzungsraten bei intraspezifischen Kreuzungen ( $SE_i \times SE_i$ ,  $TE_i \times TE_i$ ) liegen höher als die interspezifischen Kreuzungsraten. Dies ist besonders ausgeprägt bei der Kreuzung Traubeneiche  $\times$  Stieleiche. Hier liegen die Kreuzungsraten zwischen den Arten bei 2% bei Einzelbaumkreuzungen und 9% bei Pollengemischen, während die innerartlichen Ergebnisse bei 18% bzw. 17% liegen. Für Stieleiche liegen die interspezifischen Kreuzungen bei 7% bzw. 16%, im Vergleich zu intraspezifischen von 17% bzw. 23%. Dies kann als Indiz dafür angesehen werden, daß bei den Traubeneichen stärkere Inkompatibilitäten zur Stieleiche vorliegen, die die interspezifische Kreuzung verhindern.

Die nächsten Abbildungen zeigen die Verteilung der Kreuzungsergebnisse. Auf der x-Achse sind die Kreuzungsraten in 5%-Stufen dargestellt, auf der y-Achse der Anteil der Gesamtkreuzungen, der in die jeweilige Stufe fällt.

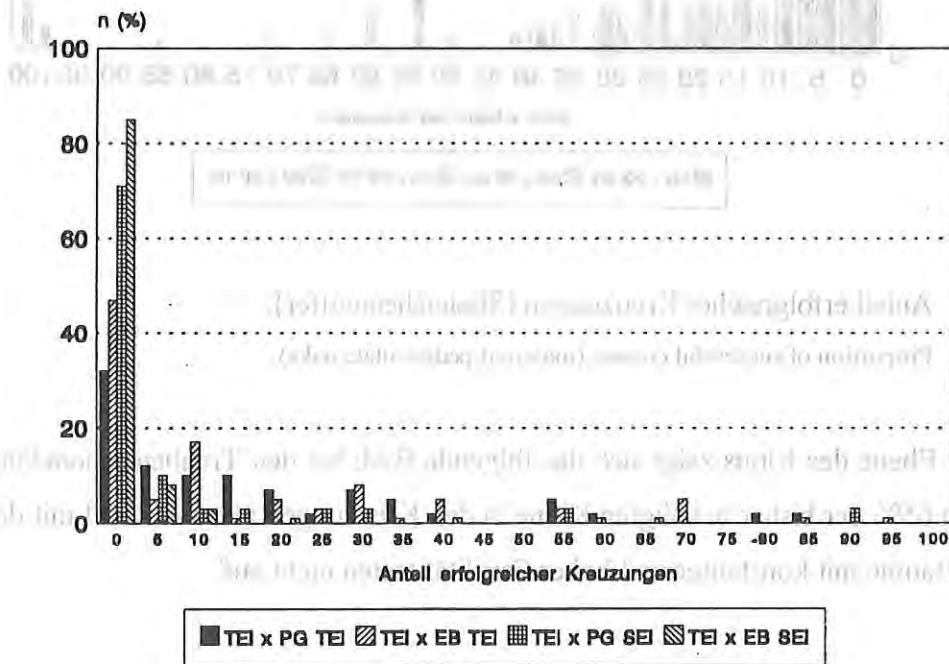


Abb. 2: Anteil erfolgreicher Kreuzungen (Traubeneichenmütter).

Proportion of successful crosses (maternal sessile oaks).

Bei den Traubeneichenmüttern wird deutlich, daß die Kreuzungsraten keine Gauß'sche Normalverteilung aufweisen, sondern daß der Anteil der Kreuzungen ohne Ausbeute weit überrepräsentiert ist. Der Anteil erfolgloser Kreuzungen ist bei den Artkreuzungen mit 79% für Einzelbaumkreuzungen und 67% für Pollengemische signifikant höher als bei Kreuzungen innerhalb der Art.

Bei der Stieleiche als Mutterbaum ist der Anteil von Kreuzungen ohne Ausbeute geringer, die Linksschiefe der Verteilung ist aber ebenso gegeben.

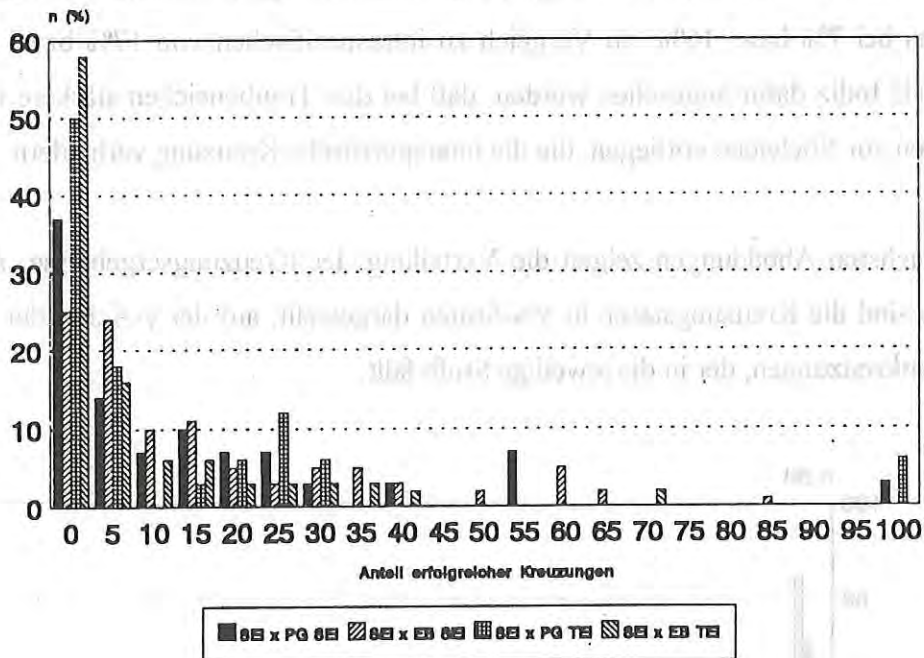


Abb. 3: Anteil erfolgreicher Kreuzungen (Stieleichenmütter).  
Proportion of successful crosses (maternal pedunculate oaks).

Auf der Ebene des Klons zeigt sich das folgende Bild: bei den Traubeneichenklonen zeigen sich 65% der bisher beteiligten Klone in den Kreuzungen als nicht fertil mit der Stieleiche. Bäume mit konstanter und hoher Fertilität treten nicht auf.

Tab. 1: Kreuzungserfolge der beteiligten Traubeneichenklone  
(Interspezifische Kreuzungen).  
Crossing success for the involved sessile oak clones (interspecific crosses).

TEi Nr	Kreuzungsrate Traubeneiche x Stieleiche (EB)						
	Diverse Stieleichen						
1	0						
2	0						
3	0						Infertile Klone
4	0						
5	0						
6	0	0					
7	0	0					
8	0	0					
9	0	0					
10	0	0	0				
11	0	0	0	0			
12	0	0	0	0	0		
13	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	1	4 4 64
17	0	0	0	0	1		
18	0	0	0	0	4	12	
19	0	1	3	4	6		
20	0	4					Fertile Klone
21	2						
22	11						
23	18	40					

Bei der Kreuzung Stieleiche x Traubeneiche ist der Anteil infertiler Klone mit 33% wesentlich geringer. Bei den fertilen Klonen waren 80% aller Kreuzungen erfolgreich.

Tab. 2: Kreuzungserfolge der beteiligten Stieleichenklone  
(Interspezifische Kreuzungen).  
Crossing success for the involved pedunculate oak clones (interspecific crosses).

SEI Nr	Kreuzungsrate Stieleiche x Traubeneiche (EB)							
	Diverse Traubeneichen							
1	0							
2	0							
3	0	0						Infertile Klone
4	0	0	0					
5	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	7	23	33	38	68	
7	0	0	35					
8	0	3	10					
9	0	2	5	7	7	13	20	28
10	0	1	7	8	13	14	30	Fertile Klone
11	0	6	25					
12	0	2	5	7				
13	1	1	9					
14	10	13						
15	21							

Im Vergleich zu den Hybridkreuzungen treten bei den Kreuzungen innerhalb der Arten bei der Traubeneiche wesentlich weniger infertile Klone auf. Die verwendeten Stieleichenklone zeigten sich innerhalb der Art alle fertil. Bei der Verwendung von Pollengemischen ist die Verteilung analog.

Tab. 3: Kreuzungserfolge der beteiligten Traubeneichenklone (Intraspezifische Kreuzungen).

Crossing success for the involved sessile oak clones (intraspecific crosses).

TEi Nr	Kreuzungsrate				Traubeneiche x Traubeneiche (EB)			
	Diverse Traubeneichen							
1	0							
2	0							
3	0							Infertile Klone
4	0	0						
5	0	0	0					
6	0	0	0	0	0	11		
7	0	0	0	0	7			
8	0	0	22					
9	0	12	12	20	54	59		
10	0	8	10	29	72			
11	0	41	68					
12	0	11	96					
13	0	42						Fertile Klone
14	0	28						
15	0	28						
16	2	6	8	25				
17	8	20	68					
18	15	31	56					
19	24	41						
20	30	85						
21	7							
22	8							
23	12							
24	33							

Tab. 4: Kreuzungserfolge der beteiligten Stieleichenklone (Intraspezifische Kreuzungen).

Crossing success for the involved pedunculate oak clones (intraspecific crosses).

SEI Nr	Kreuzungsrate				Stieleiche x Stieleiche (EB)			
	Diverse Stieleichen							
1	0	4						
2	0	10						
3	0	0	6					
4	0	0	6	58				
5	0	5	33					
6	0	6	9	15				
7	0	0	6	8	16	18		
8	0	0	7	28	32	63		
9	0	0	12	17	61	62		
10	0	0	6	6	15	16	28	
11	13	22	36	38	49			Fertile Klone
12	5	20	23	84				
13	6	6	8	40				
14	7	10	33					
15	13							
16	26							



### 3. Entwicklung der Kreuzungen

#### 3.1 Höhenentwicklung

Die Eicheln wurden einzelbaumweise gewogen, gemessen und in Container ausgesät. Die ersten 2 Vegetationsperioden standen sie im Gewächshaus und wurden dann ins Freiland verschult. Die Pflanzen sind als Demonstrationsversuche ohne Wiederholung gepflanzt worden. Die für das Wachstum der Pflanzen entscheidenden Parameter waren allerdings vergleichbar.

Reine Stieleichenkreuzungen erbrachten ein Durchschnittsgewicht von 3,6 Gramm/Eichel ( $n = 1.002$ ), reine Traubeneichenkreuzungen von 2,0 Gramm/Eichel ( $n = 1.068$ ). Die Kreuzung Stieleiche x Traubeneiche mit 3,0 Gramm/Eichel ( $n = 661$ ) und die Kreuzung Traubeneiche x Stieleiche mit 2,4 Gramm/Eichel ( $n = 284$ ) nehmen eine Mittelstellung ein.

Die Unterschiede der Eichelgewichte sind statistisch signifikant, d.h. die Fruchtgröße der Eichel wird entscheidend durch den Pollen beeinflusst. Die Streuung der Werte ist zur Artabgrenzung allerdings zu hoch.

Bei der Ausbeute an Pflanzen zeigen die Eicheln von Stieleichenmüttern bei inter- und intraspezifischen Kreuzungen mit 61% eine wesentlich höhere Vitalität als die Traubeneichenmütter, die eine Überlebensrate von 39% innerhalb der Art und 7% zwischen den Arten haben.

Die Jugendentwicklung der Sämlinge korreliert schwach ( $r = 0,24$ ), aber signifikant mit dem Eichelgewicht. Im Wachstum liegen die Kreuzungen mit Stieleiche als Mutter über den Traubeneichenmüttern (Abbildungen 4-6). Das schwächste Wachstum zeigen die reinen Traubeneichenkreuzungen. Für diese Kreuzungen ist die Unterlegenheit gegenüber allen anderen Kreuzungen statistisch signifikant mit dem Duncan-Test auf dem 5%-Signifikanzniveau.

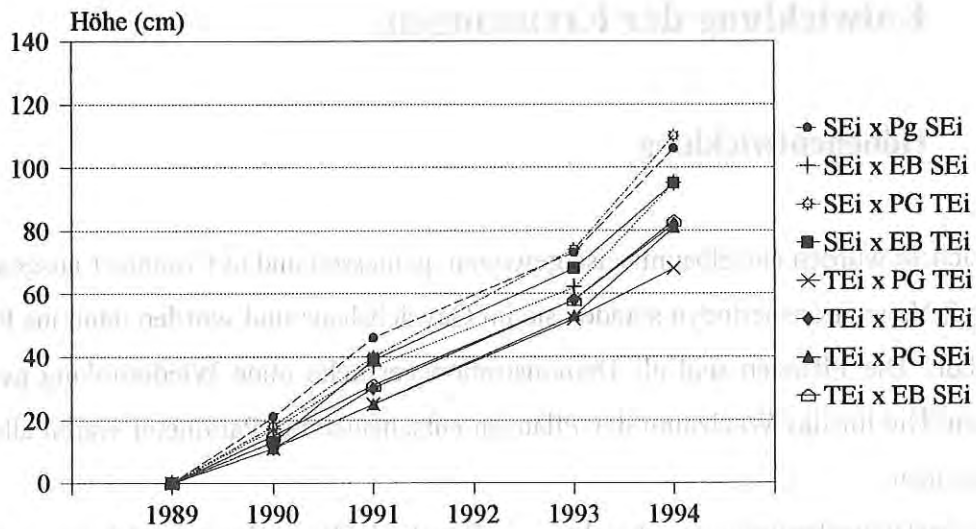


Abb. 4: Höhenwachstum der Kreuzungen 1989.  
Height growth of the crosses in 1989.

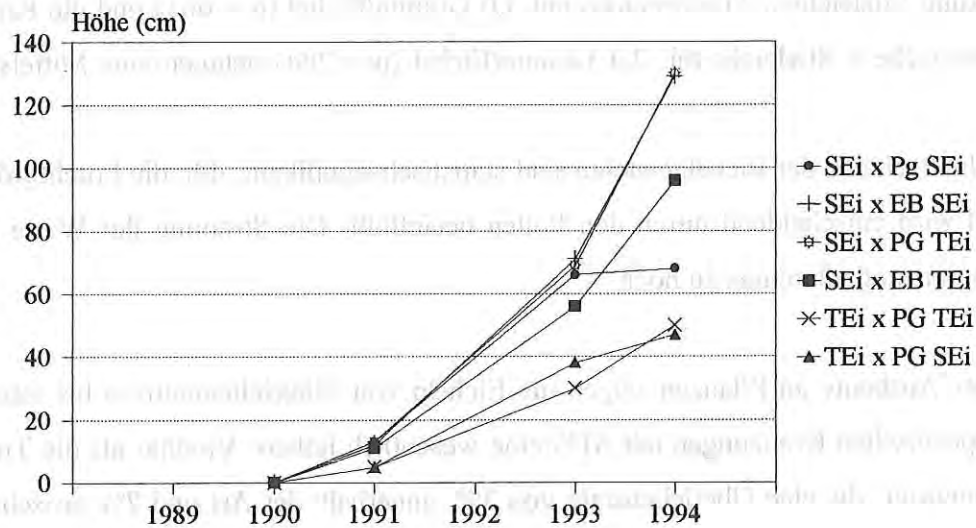


Abb. 5: Höhenentwicklung der Kreuzungen 1990.  
Height increment of the crosses in 1990.

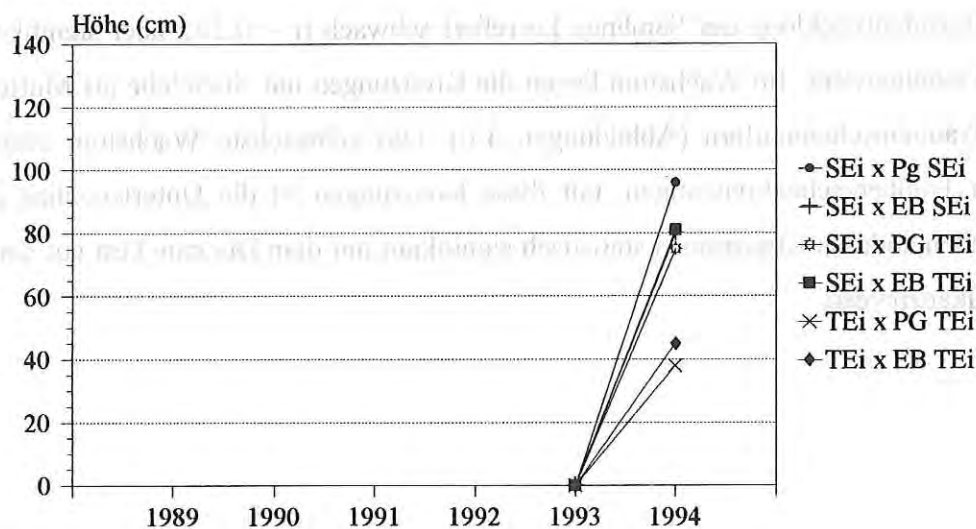


Abb. 6: Höhenentwicklung der Kreuzungen 1992.  
Height increment of the crosses in 1992.

Bei den Stieleichenkreuzungen ist der Wuchsvorsprung der reinen Artkreuzung nur in einzelnen Fällen signifikant. Eine Mittelstellung nehmen die Hybriden ein, wobei die Hybriden mit Stieleichenmüttern den Hybriden mit Traubeneichenmüttern sowie den reinen Traubeneichen überlegen sind. Diese Ergebnisse sind nur unter dem Vorbehalt brauchbar, daß sie zwar auf homogenem Standort im Kamp, aber ohne Wiederholung gewonnen wurden.

### **3.2 Morphologie**

Die Kreuzungen von 1989 und 1990 wurden 1992 und 1994 für die Parameter „Austrieb“, „Abschluß“ und „Johannistriebbildung“ bonitiert. Blattbonituren wurden durchgeführt.

Weiterhin wurde das Kreuzungsmaterial verschiedenen Instituten für weiterführende Laboruntersuchungen zur Verfügung gestellt.

Hierdurch sind zusätzliche Erkenntnisse durch Isoenzymanalysen, DNA-Fraktionierung und Enzymaktivitätsbestimmungen gewonnen worden.

Zwischen den verschiedenen Kreuzungstypen wurde kein erkennbarer Unterschied beim Austrieb und der Johannistriebbildung gefunden. Nur der Abschluß im Herbst lag bei den Bäumen mit Stieleichenmüttern (Hybriden und reine Arten) später als bei den Traubeneichenmüttern.

Die durchgeführten Eichenblattbonituren zeigten keine Trennbarkeit der Hybriden mit dieser Methode, da der juvenile Charakter der Blätter noch zu stark ausgeprägt ist.

#### 4. Rückschlüsse auf die natürliche Hybridisierung der Eichenarten

Aus kontrollierten Kreuzungen lassen sich nur begrenzt Rückschlüsse auf die natürlichen Verhältnisse ziehen, da einige entscheidende Faktoren, die unter natürlichen Verhältnissen zum Tragen kommen können, ausgeschlossen werden. Aus der relativ großen Anzahl an durchgeführten Kreuzungen erscheinen allerdings gewisse Rückschlüsse auf die natürlichen Verhältnisse möglich.

1. Unter den gegebenen Standort- und Klimabedingungen fallen die Blühtermine der Eichenarten zeitlich zusammen. Es treten somit keine zeitlichen Kreuzungsbarrieren auf.
2. Auf vielen Standorten, besonders im Berglandbereich der kollinen und submontanen Stufe Mitteleuropas, kommen die beiden Arten häufig in einer kleinmosaikartigen Verteilung vor, sofern kleinstandörtlich Bodenverhältnisse mit und ohne zeitweiligen Wasserüberschuß wechseln.  
Es treten somit keine räumlichen Kreuzungsbarrieren im mittleren Bereich der Standortsamplitude beider Baumarten auf.
3. Die Selbstungsrate ist sehr gering, selbst ohne Pollenrivalität, so daß eine Selbstung unter Konkurrenzbedingungen fast ausgeschlossen erscheint.
4. Signifikant ist die verminderte Kreuzbarkeit der Traubeneiche mit der Stieleiche gegenüber der reziproken Kreuzung unter kontrollierten Bedingungen. Die Wahrscheinlichkeit der Hybridisierung ist insofern eher für die Stieleiche als für die Traubeneiche gegeben. Bei einer Hochrechnung der Ergebnisse kontrollierter Kreuzungen auf natürliche Verhältnisse ist die Wahrscheinlichkeit einer Hybridisierung mit Stieleiche als Mutter doppelt so groß wie die reziproke.

5. Im Kamp ist das Wachstum der Stieleichenhybriden gegenüber der reinen Art meistens unterlegen, teilweise intermediär, so daß bei intraspezifischer Konkurrenz mit Stieleiche die Hybriden eher ausscheiden dürften als die reinen Arten. Gegenüber den Traubeneichen sind sie aber in der Konkurrenz überlegen. Die Hybriden mit Traubeneichenmüttern dürften dagegen bei Konkurrenz mit Stieleiche eher ausscheiden. Wie sich die Konkurrenzverhältnisse unter den natürlichen Standortverhältnissen entwickeln würden (Wechsel feuchter und trockener Kleinstandorte), kann hier selbstverständlich nicht beurteilt werden.
6. Ob die Hybriden in höherem Alter blattmorphologisch als solche zu bestimmen sind, muß vorläufig eine offene Frage bleiben; im Jugendalter ist dies nicht möglich.

## 5. Literatur

- AAS, G. (1988): Untersuchungen zur Trennung und Kreuzbarkeit von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). Dissertation Universität München, 159 S.
- BURGER, H. (1921): Über Morphologie und biologische Eigenschaften der Stiel- und Traubeneiche und ihre Erziehung im Forstgarten. *Mitteilungen der schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen*, S. 306-375.
- DUPOUEY, J.L. (1993): Analyse multivariable de quelques caracteres morphologiques de populations de chênes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) du Hurepoix. *Annales des Sciences Forestières*, 40 (3), S. 265-282.
- JOVANOVIC, M. and IUCOVIC, A. (1975): Genetics of common and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl.). *Annales Forestales*, 7, S. 23-53.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 288 S.
- WIGSTON, D.L. (1975): The distribution of *Quercus robur* L., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. and their hybrids in south western England. *Watsonia* 10, S.345-369.

# Klimakammer- und Freilandversuche zur Frosthärte und Phänologie von Herkünften der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.)

Bruno R. Stephan, Armin König, Klaus Liepe und Heiner Venne

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft  
Institut für Forstgenetik  
D-22927 Großhansdorf

**Keywords:** sessile oak, provenances, late frost, flushing, lammas shoots, leaf colouring

## Summary

Title of the paper: Growth chamber and field trials on frost hardiness and phenology of provenances of sessile oak (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.).

On young plants of 38 sessile oak provenances the response to late frost, flushing, lammas shoot formation and leaf colouring in autumn was studied in growth chambers as well as in field and greenhouse trials during the years 1991 to 1994. Differences in late frost damage are mainly depending on the flushing stage. Buds which have begun to develop or fully developed leaves respectively, are already damaged at about  $-3^{\circ}\text{C}$ , while dormant buds are only damaged at much severer frost events. Buds are generally more sensitive than the cambium. Mayshoots are less damaged than lammas shoots because on mayshoots the buds often do not flush. In the green- and polyethylenehouse flushing begins some weeks earlier than in the field. The rank-correlations are significant. Flushing differed significantly between provenances. Early flushing provenances have their origins in Turkey, Hungary, Austria, and France, late flushing ones come from Great Britain, Belgium, and northern Germany. There are as well differences in lammas shoot formation between provenances, but this varies between years. Leaf colouring in autumn is not correlated with flushing.

**Schlüsselwörter:** Traubeneiche, Herkünfte, Spätfrost, Austrieb, Johannistrieb-Bildung, Laubverfärbung

## Zusammenfassung

An Jungpflanzen von insgesamt 38 Traubeneichen-Herkünften wurde in den Jahren 1991 bis 1994 in Klimakammern sowie in Gewächshaus- und Freilandversuchen die Reaktion auf Spätfroste, das Austriebsverhalten, die Bildung von Johannistrieben und die Laubverfärbung im Herbst untersucht. Unterschiede in der Schädigung durch Spätfrost hängen vor allem vom jeweiligen Austriebsstadium ab. Knospen, die an- oder ausgetrieben haben, werden bereits ab etwa  $-3^{\circ}\text{C}$  geschädigt, während ruhende Knospen erst bei viel strengeren Frösten Schäden erleiden. Knospen sind im allgemeinen empfindlicher als das Kambium. Maitriebe werden weniger geschädigt als Johannistriebe, weil auf ihnen oft gar kein Austrieb erfolgt. Im Gewächs- und Folienhaus beginnt der Austrieb einige Wochen vor dem im Freiland. Die Korrelationskoeffizienten der Rangfolgen sind signifikant. Im Austriebsverhalten bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Herkünften. Früh austreibende Herkünfte stammen aus der Türkei, aus Ungarn, Österreich und Frankreich, spät austreibende aus Großbritannien, Belgien und Norddeutschland. Die Johannistrieb-Bildung zeigt ebenfalls Herkunftsunterschiede, kann aber von Jahr zu Jahr variieren. Die Laubverfärbung im Herbst ist nicht mit dem Austriebsverhalten korreliert.

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr. 34/1995; 50-74.

# 1. Einleitung

Autochthone Waldbaumpopulationen sind an die in ihrem Habitat herrschenden Umweltbedingungen angepaßt, d. h. sie besitzen die Fähigkeit zu wachsen und zu reproduzieren und damit auf Dauer zu überleben. Für die Anpassung wichtige Merkmale unterliegen der natürlichen Selektion und werden als adaptive Merkmale bezeichnet. Dazu gehören u. a. die Frosthärte und phänologische Merkmale. Bei einem Transfer einer Population in andere Umweltbedingungen kann sich der Grad der Angepaßtheit ändern, und bei Waldbäumen kann der Erfolg einer Aussaat oder einer Bestandesbegründung ungewiß sein. Kenntnisse über die Variation adaptiver Merkmale sind daher bei einem Transfer von Herkünften in andere Regionen oder bei zu erwartenden klimatischen Veränderungen von besonderer Bedeutung.

Bei der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.) gibt es bisher wenige vergleichende Untersuchungen zur Frosthärte und Phänologie von Herkünften aus unterschiedlichen Teilen des Verbreitungsgebietes der Baumart. Im Rahmen der im Jahre 1989 begonnenen Forschungsarbeiten wurden daher an insgesamt 38 Traubeneichen-Herkünften in Klimakammern sowie in Gewächshaus- und Freilandversuchen die Reaktion gegenüber Spätfrösten, das Austriebsverhalten, die Bildung von Johannistrieben und die Laubverfärbung im Herbst untersucht. Ziel der Arbeiten war es, die Variation von adaptiven Merkmalen zwischen und innerhalb der verwendeten Herkünfte zu erfassen. Von besonderem Interesse war die Reaktion der Herkünfte auf die unterschiedlichen Umweltbedingungen im Freiland und in den Gewächshäusern. Das gesamte Versuchsprogramm ist in **Abbildung 1** dargestellt; hier kann nur ein Teil davon besprochen werden. Obwohl die Untersuchungen an Jungpflanzen durchgeführt wurden, lassen sich aus der Variation der untersuchten Merkmale mögliche Risiken für den Anbau abschätzen.



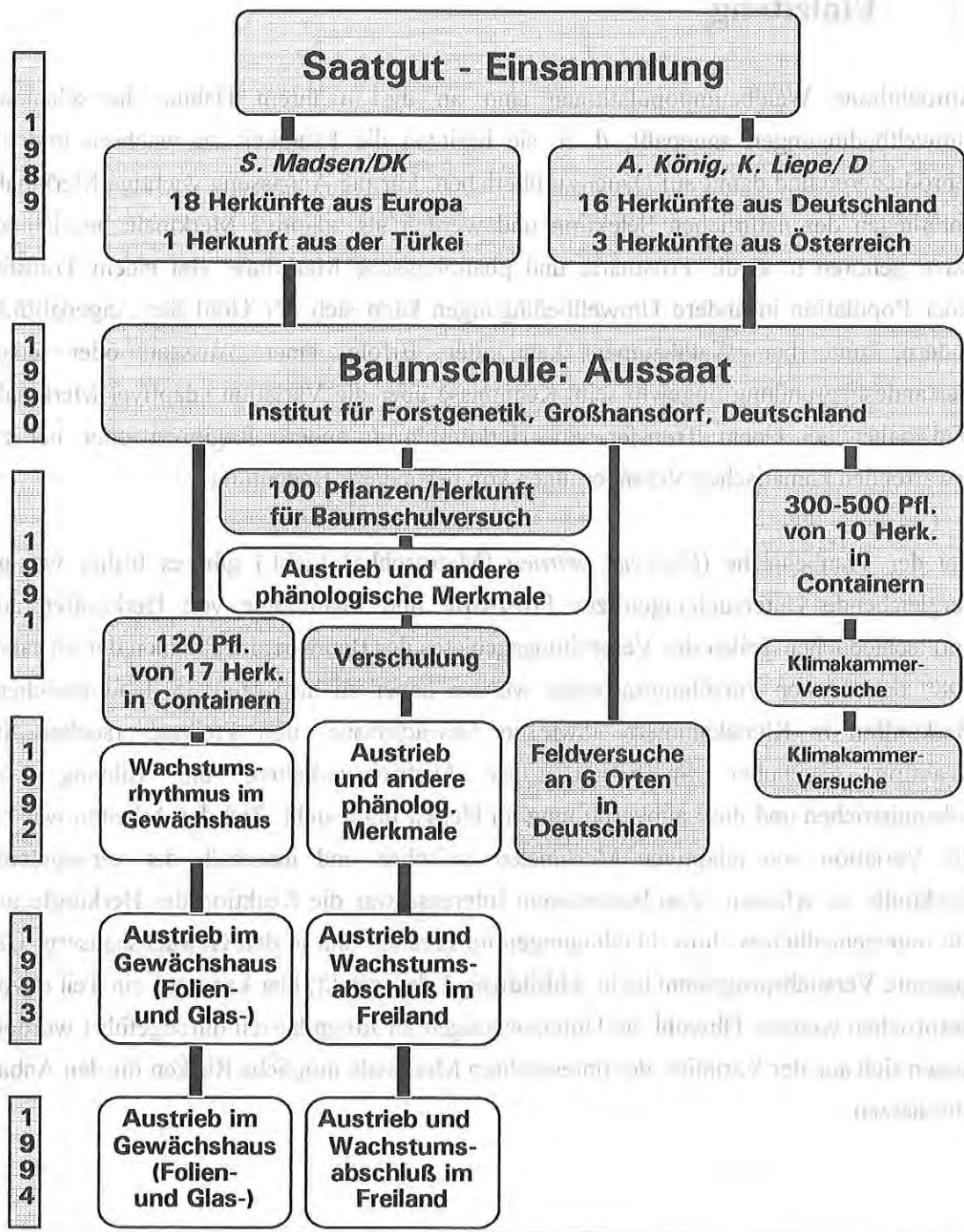


Abb. 1: Versuchsprogramm des Instituts für Forstgenetik mit Traubeneiche.

Investigation programme of the Institute for Forest Genetics on sessile oak.



Tab. 1: Liste der Traubeneichen-Herkünfte (Einsammlung 1989).

List of sessile oak provenances (collection 1989).

Sb.-Nr.	V.-Nr.	M. Nr.	Land/ Bundesland	Herkunftsangaben	Geogr. Länge	Geogr. Breite	Seehöhe in m
8569	1		D / SH	Stadtforst Mölln, Büffelskopf Abt. 16 Registernr.: 011 81804 025	10°45'	53°37'	36
8570	2	5	D / SH	FA Rantzaу, Rfö. Kummerfeld, Esinger Wohld Abt. 83A Registernr.: 011 81804 001	09°46'	53°43'	10
8571	3		D / NI	FA G6hrde, Abt. 84a, Registernr.: 033 81805 109	10°51'	53°06'	80-95
8572	4		D / NI	FA Sprakensehl, Rfö. Hagen Abt. 210b Registernr.: 034 81804 832	10°36'	52°48'	115
8573	5	6	D / NW	FA Recklinghausen, Stadtforst Haltern, Rfö. Frettholz Abt. 202 Registernr.: 052 81803 001	07°11'	51°46'	75
8574	6		D / NW	FA Recklinghausen, Stadtforst Haltern, Rfö. Frettholz Abt. 204a Registernr.: 052 81803 002	07°10'	51°46'	71
8575	7		D / HE	FA Bad Hersfeld, Rfö. Stadtwald, Abt. 571a <sup>1</sup> Registernr.: 062 818 07058	09°40'	50°53'	240-330
8576	8		D / IIIE	FA Wolfgang, Rfö. Rodenbach Abt. 43B1, 44A1, 47A1, 48A Reg. nr.: 061 81813 001 bis 004	09°03'	50°09'	140-200
8577	9		D / BY	FA Riedenburg, Rfö. Essing II, Distr. XIII, 1a <sup>1</sup> und Distr. XVI, 2a <sup>1</sup> , 2b <sup>1</sup> Reg. nr. 091 81813 082 bis 084	11°49'	48°58'	450-465
8578	33		D / BY	FA Ebrach, Rfö. Koppenwind Abt. 7a <sup>1</sup>	10°30'	49°51'	380
8579	10		D / BY	FA Ebrach, Rfö. Koppenwind, Distr. II Rambach Registernr.: 091 81812 151	10°30'	49°51'	390
8580	11		D / RP	FA Cochem, Rfö. Ediger-Eller Abt. 13 a <sup>2</sup> , b <sup>2</sup> Registernr.: 071 81808 002	07°03'	50°05'	400
8581	12		D / RP	FA Elmstein-Nord, Rfö. Speyerbrunn, Distr. XVII, Abt. 1b <sup>1</sup> Registernr.: 072 81809 165	0°56'	49°21'	400-505
8582	13		D / RP	FA Johanniskreuz, Rfö. Burgalb, Distr. XIV, Abt. 2a, b <sup>2</sup> , c <sup>2</sup> Registernr.: 072 81809 031	0°53'	49°24'	460
8583	14		D / SH	FA Farchau, Rfö. Ravenskamp Abt. 55 Registernr.: 011 81804 012	10°46'	53°40'	35-50
8584	15		D / NI	FA Lappwald, Rfö. Weidensol Abt. 68b Registernr.: 034 81806 691	10°54'	52°12'	180
8585	16		D / BY	FA Ebrach, Rfö. Koppenwind, Distr. II Rambach Registernr.: 091 81812 151	10°30'	49°51'	400
8586	17	7	DK / Århus	DDH Silkeborg, H6rbylund, Jenssen-Buchske plit. 6k, 7f	09°25'	56°08'	65-90
8587	18	8	DK / Århus	Lendal Næs, Næssel 7a, 7b	0°36'	56°04'	25
8588	19		A / NÖ	Wienerwald, Purkersdorf TrEi 5(III/4/3-6)	06°10'	48°12'	290-370
8589	20		A / Burgenland	Klostermarienberg	16°34'	47°25'	310
8590	21		A / NÖ	Mistelbach, Heidleiten	16°34'	48°38'	280
8591	22	22	TR	Bolu, Ayikayasi 48	31°40'	40°55'	900-1500
8592	23	13	GB / Glos.	Dymock SOK 4008	2°27'W	51°57'	70
8593	24	2	B / O.Flandern	Fagnes, Bois de Chimay, Queue de l'Herse	0°22'	50°05'	220-230
8594	25	1	B / Hainaut	Gent, Buggenhout Comp. 4, 9, 11	04°12'	50°59'	24
8595	26	4	D / NI	FA Lüß, Rfö. Kempelhom Abt. 108c <sub>1</sub> , 128b <sub>1</sub> Reg. nr.: 033 81804 183 und 184	10°18'	52°50'	110
8596	27	3	D / RP	FA Elmstein-Nord, Rfö. Speyerbrunn, Distr. XVII, Abt. 1b <sup>1</sup> Registernr.: 072 81809 165	07°56'	49°21'	400-505
8597	28	19	PL / Kalisz	Syców, Smardze 97bc, 98c, 99bc, 126c, 127b, 128a	17°56'	51°11'	210
8598	---	16	H	keine Angaben verfügbar			
8599	29	9	F / Sarthe	ONF Le Mans, Berce 01 CR 003 (H1 89142)	0°25'	47°48'	120
8600	30	11	F / Allier	ONF de Moulin, Dreuille 06 CR 002 (H1 89172)	02°51'	46°27'	300
8601	31	10	F / H. Marne	ONF de Langres, Bussieres 11 CR 004 (H1 89221)	05°29'	47°47'	360
8602	32	12	F / Vienne	ONF de Poitiers, Vouillé St Hilaire 02 CR 003 (H1 89261)	0°10'	46°38'	143
8603	35	18	N / V.-Agder	Søgne, Vest-Agder landbruksskole	07°50'	58°06'	25
8604	36	14	GB / Glos.	Forest of Dean, Blakeney Comp. 402, 403 POK 4001	2°30'W	51°47'	76
8605	37	15	GB / Glos.	Forest of Dean, Sutton Bottom Comp. 446 POK 4007	2°29'W	51°49'	120
----	38		D / BB	Amt für Forstwirtschaft Müncheberg, Buckow Abt. 3329 a <sup>1</sup>	14°05'	52°34'	50

Sb.-Nr. = Samenbuchnummer (Eingangsnummer im Samenbuch des Instituts)

V.-Nr. = Versuchsnummer (Nummer in den angelegten Feldversuchen)

M. Nr. = Arbeitsnummer in der von S. MADSEN initiierten Traubeneichen-Einsammlung

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Herkünfte**

Für die Versuche wurden insgesamt 38 Herkünfte, davon 19 aus der internationalen Einsammlung von S. MADSEN (ANONYMUS 1990) und 19 eigene Einsammlungen aus dem Jahre 1989 verwendet. Bei zwei Herkünften wurden unterschiedliche Proben eingesammelt, die daher in Teilversuchen doppelt enthalten sein können. Die Herkunft Buckow wurde als Pflanzgut bezogen. Detailliertere Herkunftsangaben finden sich in **Tabelle 1**.

### **2.2 Aussaat und Anzucht**

Die Aussaat erfolgte im Frühjahr 1990 in der Versuchsgärtnerei des Institutes für Forstgenetik in Großhansdorf. Für die Klimakammer- und Gewächshaus-Versuche wurden ab 1991 einjährige Freiland-Pflanzen in Container umgetopft (Materialaufteilung siehe **Abbildung 1**)

### **2.3 Versuchsbedingungen und Bonitur von adaptiven Merkmalen**

#### **2.3.1 Klimakammerversuche zur Ermittlung der Spätfrosthärte**

Container-Pflanzen von insgesamt 10 Herkünften (1991) bzw. 3 Herkünften (1992) wurden zu verschiedenen Austriebsstadien in Klimakammern (Firma Weiss) simulierten Frostereignissen ausgesetzt, wie sie im Frühjahr auch im Freiland auftreten können. Die Klimakammerversuche sollten dazu dienen, gewisse Grenzwerte der Frosthärte bei Traubeneichensämlingen zu erfassen und Zusammenhänge mit ihrem physiologischen Zustand, welcher durch phänologische Beobachtungen charakterisiert wurde, herzustellen. Die Darstellung beschränkt sich hier auf die wichtigsten Ergebnisse der Klimakammeruntersuchungen im Frühjahr 1992. Hierfür wurden im Vorjahr getopfte Pflanzen der Herkünfte Göhrde (Nr. 3), Cochem (Nr. 11) und Ebrach (Nr. 16) (nähere Herkunftsangaben siehe **Tabelle 1**), die den Winter über im Freiland gestanden hatten, verwendet. Zur Verzögerung des Austriebs wurde ein Teil der Pflanzen vor Versuchsbeginn in einen Kühlcontainer gestellt. Die Spätfrostbehandlungen in den Klimakammern fanden zwischen dem 21. April und dem 3. Juni 1992 statt. Bevor das Pflanzenmaterial in die Klimakammern gestellt wurde, wurde bei jeder Pflanze eine

Eingangsbonitur derart vorgenommen, daß der Zustand der Knospen bzw. der Blattformung getrennt für den Maitrieb, den ersten und zweiten Johanntrieb (sofern vorhanden) festgehalten wurde. Die Bonitur erfolgte in Anlehnung an das bei KLEINSCHMIT und SVOLBA (1979) beschriebene fünfstufige Schema, bei dem die Stufe 1 die noch unveränderte ruhende Knospe erfaßt, während in der Stufe 5 bereits die vollständige Blattformung stattgefunden hat. Weiterhin wurden etwaige Schädigungen notiert. Für einen Untersuchungsgang wurde in der Regel eine Kühlzelle mit jeweils 15 Pflanzen einer Herkunft, d.h. 45 Pflanzen beschickt.

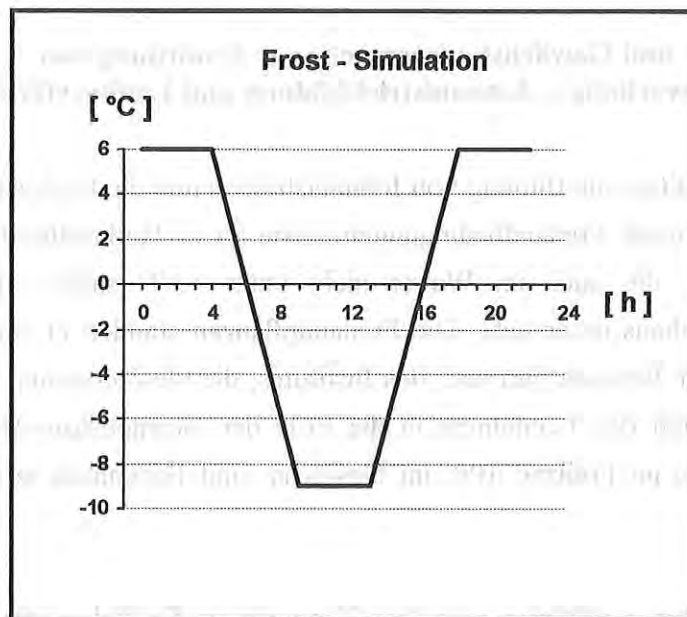


Abb. 2: Beispiel für eine Simulation eines Spätfrostereignisses bis  $-9^{\circ}\text{C}$  in einer Klimakammer.

Example for simulating a late frost event in a growth chamber down to a temperature of  $-9^{\circ}\text{C}$ .

Das jeweilige Spätfrostereignis in einer Klimakammer wurde folgendermaßen simuliert: Zunächst wurden die Pflanzen vier Stunden bei  $+6^{\circ}\text{C}$  gehalten. Dann erfolgte eine schrittweise Absenkung der Temperatur um  $3^{\circ}\text{C}$  pro Stunde, bis die geplante Zieltemperatur erreicht wurde. Diese wurde dann vier Stunden beibehalten, worauf eine schrittweise Erwärmung bis  $+6^{\circ}\text{C}$  vorgenommen wurde und schließlich die Pflanzen nochmals vier Stunden bei dieser Temperatur in der Klimakammer belassen wurden. In **Abbildung 2** ist der Temperaturverlauf für eine Absenkung bis  $-9^{\circ}\text{C}$  schematisch dargestellt. Bei den Untersuchungen wurde - soweit wie möglich - versucht, den natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus beizubehalten. Insgesamt wurden 56 Teilversuche bei

Temperaturabsenkungen bis  $-1^{\circ}\text{C}$  bzw.  $-15^{\circ}\text{C}$  durchgeführt, wobei im Temperaturbereich zwischen  $-1^{\circ}\text{C}$  und  $-9^{\circ}\text{C}$  mehr Wiederholungen durchgeführt wurden als unterhalb dieses Bereiches.

Nach dem simulierten Spätfrostergebnis wurden die Pflanzen im Freiland aufgestellt. Die erste Bonitur der Schäden erfolgte etwa 8 bis 10 Tage nach der Behandlung, die zweite Bonitur im August. Der Schadzustand, ob "geschädigt" oder "nicht geschädigt", wurde sowohl für die Knospen als auch für das Kambium und getrennt für den Mai- sowie den ersten und den zweiten Johannistrieb erhoben.

### **2.3.2 Freiland- und Gewächshausversuche zur Ermittlung von Austriebsverhalten, Johannistriebbildung und Laubverfärbung**

Das Austriebsverhalten, die Bildung von Johannistrieben und die Laubverfärbung wurden an 35 Herkünften unter Freilandbedingungen sowie an 17 Herkünften im Gewächshaus bei Temperaturen, die auch im Winter nicht unter  $+5^{\circ}\text{C}$  sanken, sowie in einem ungeheizten Folienhaus untersucht. Die Freilandpflanzen standen in den Aussaat- bzw. Versuchsbeeten der Versuchsgärtnerei des Institutes, die Gewächshaus- und Folienhaus-Pflanzen wurden mit den Containern in die Erde der Gewächshaus-Beete eingesenkt. Untersucht wurden im Freiland 100, im Gewächs- und Folienhaus je 60 Pflanzen pro Herkunft.

Die Austriebsbonituren erfolgten an sieben Terminen im Frühjahr 1991 und 1992 nach den oben erwähnten fünf Boniturstufen. 1993 und 1994 beschränkten sich die Bonituren auf die Stufe 3: „beginnendes Aufbrechen der Knospen, Blattränder deutlich sichtbar, ausgefranst, Auseinanderschieben der Blätter, die jedoch noch nicht ganz sichtbar sind“. Dabei wurden alle Pflanzen zwischen Anfang März (Gewächshaus) und Mitte Mai täglich daraufhin bonitiert, ob sie die Entwicklungsstufe 3 erreicht hatten.

Die Laubverfärbung und der Blattfall wurden jeweils im Oktober/November zu verschiedenen Terminen einzelbaumweise nach folgendem Schlüssel bonitiert:  $< 50\%$  verfärbt,  $> 50\%$  verfärbt, 100% der Blätter braun, 100% der Blätter abgefallen.

### 2.3.3 Auswertung

Die Auswertungen erfolgten mit Hilfe des SAS-Systems (SAS Institute Inc. 1989, 1990). Bei den Klimakammerversuchen wurden die Daten nach verschiedenen Gesichtspunkten gruppiert bzw. zusammengefaßt (z. B. nach Pflanzenteilen, Herkünften u. a.) und die Schädigung gegen die Temperatur geplottet. Die zusätzlich eingefügte Ausgleichskurve "glättet" die Daten (Parameter für "smoothing" = 50).

Für die Austriebs-, Johannistrieb- und Laubverfärbungs-Bonituren wurden arithmetische Mittel- und Medianwerte für die einzelnen Herkünfte errechnet. Beziehungen zwischen Bonituren in den Jahren 1993 und 1994 und unter verschiedenen Umweltbedingungen wurden mit Hilfe von Rang-Korrelation nach SPEARMAN untersucht.

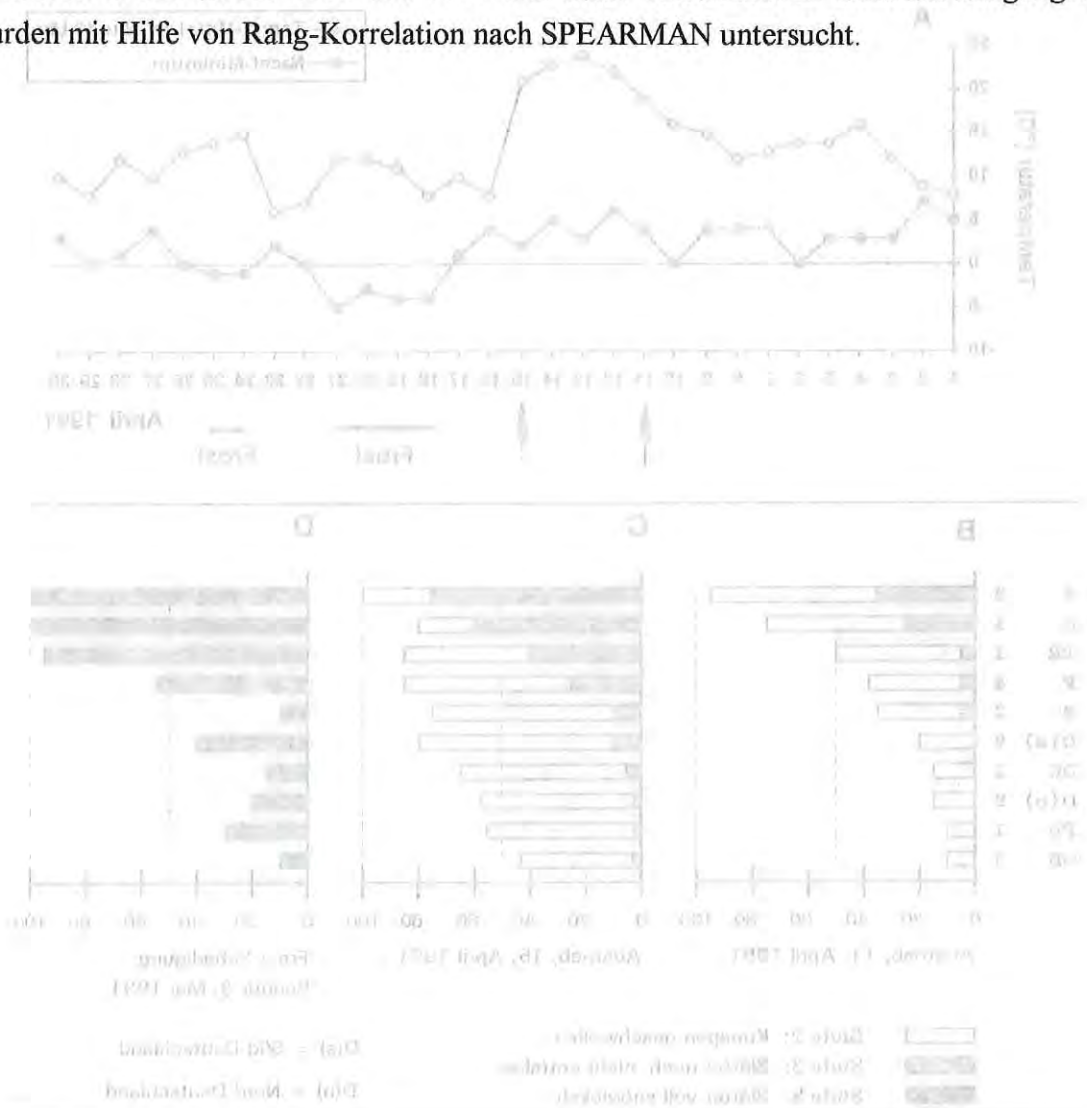


Abb. 3: Temperaturversuch im April 1991 sowie Anzahl und Prozentsatz der Beschädigung an Pflanzteilen bei 35 Fährstufenherkünften. Curves of temperature in April 1991 as well as percentage of damage and first damage to 35 source of provenance.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Spätfrostschäden an jungen Traubeneichen im Freiland

Im April 1991 fiel ein Spätfrostereignis in die Phase des Austreibens. Daher konnten in diesem Jahr die Zusammenhänge zwischen dem Austriebsstadium und dem Ausmaß des Spätfrostschadens im Freiland näher untersucht werden. In **Abbildung 3** ist unter **A** zunächst der Temperaturverlauf im April 1991 mit den Tagesmittelwerten zwischen 8 und 18 Uhr und den Nacht-Minima dargestellt.

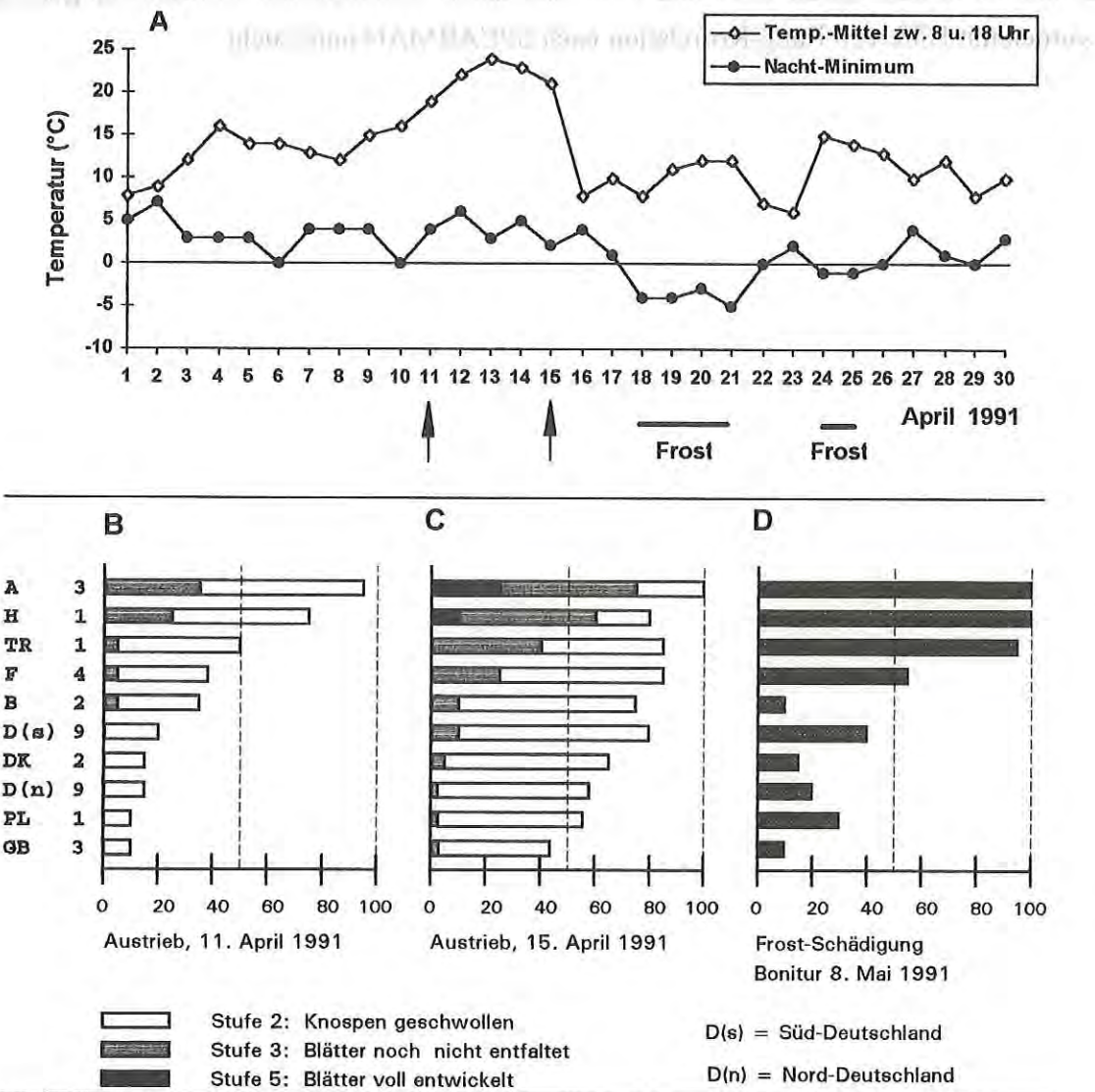


Abb. 3: Temperaturverlauf im April 1991 sowie Austrieb und Forstschäden in Prozent bei 35 Traubeneichen-Herkünften.

Course of temperature in April 1991 as well as percentage of flushing and frost damage in 35 sessile oak provenances.

Am 11. und am 15. April sind die Austriebsstadien erhoben worden, wobei in der **Abbildung 3 B** und **C** die 35 Herkünfte zu 10 Gruppen zusammengefaßt worden sind. Vom 18. bis 21. April gab es Nachfröste mit Temperaturen bis zu  $-5^{\circ}\text{C}$ . Diese bewirkten vor allem bei den Herkünften, bei denen bereits ein hoher Prozentsatz von Pflanzen ausgetrieben hatte (z. T. bis Stufe 5), größere Schädigungen. Die Nachfröste am 24. und 25. April waren leichter und verursachten keine weiteren Schädigungen. Die Bonitur erfolgte am 8. Mai. Geschädigt waren vor allem Herkünfte aus dem Südosten und Westen des natürlichen Verbreitungsgebietes. Geringere Schäden waren an später austreibenden Herkünften aus dem europäischen Norden und Nordwesten zu verzeichnen (**Abbildung 3 D**).

### 3.2 Reaktion der Sämlinge auf "Spätfrost" in den Klimakammern

In **Abbildung 4 A** wird die Schädigung der Knospen und des Kambiums in Abhängigkeit von der Minustemperatur dargestellt, wobei die Daten über alle Herkünfte, Austriebsstadien und Pflanzenteile (Triebe) gemittelt worden sind. Der Kurvenverlauf zeigt, daß bei gleicher Minustemperatur die Knospen durchschnittlich stärker geschädigt werden als das Kambium. Während bei der Hälfte der Pflanzen bereits bei  $-6^{\circ}\text{C}$  Knospenschäden zu verzeichnen sind, ist das Kambium bei der Hälfte der Pflanzen erst bei etwa  $-12^{\circ}\text{C}$  geschädigt.

In den weiteren Darstellungen werden die Kurven der **Abbildung 4 A** weiter aufgeschlüsselt. In **Abbildung 4 B** wird die Schädigung der Knospen für jede Herkunft dargestellt. Die summarische Darstellung über alle Austriebsstadien hinweg zeigt keine nennenswerten Unterschiede zwischen den drei verwendeten Herkünften. Diese Frage wird in der Diskussion nochmals aufgegriffen.

In **Abbildung 4 C** und **D** ist die Schädigung der Knospen bzw. des Kambiums über Herkünfte und Austriebsstadien zusammengefaßt, aber für die einzelnen Triebe getrennt dargestellt worden. Es zeigt sich, daß der Maitrieb wesentlich frosthärter ist als die Johannistriebe. Während an letzteren bereits bei  $-4^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$  die sich entwickelnden Knospen bzw. Blätter geschädigt werden, erfolgt dies beim Maitrieb erst unter  $-12^{\circ}\text{C}$ .

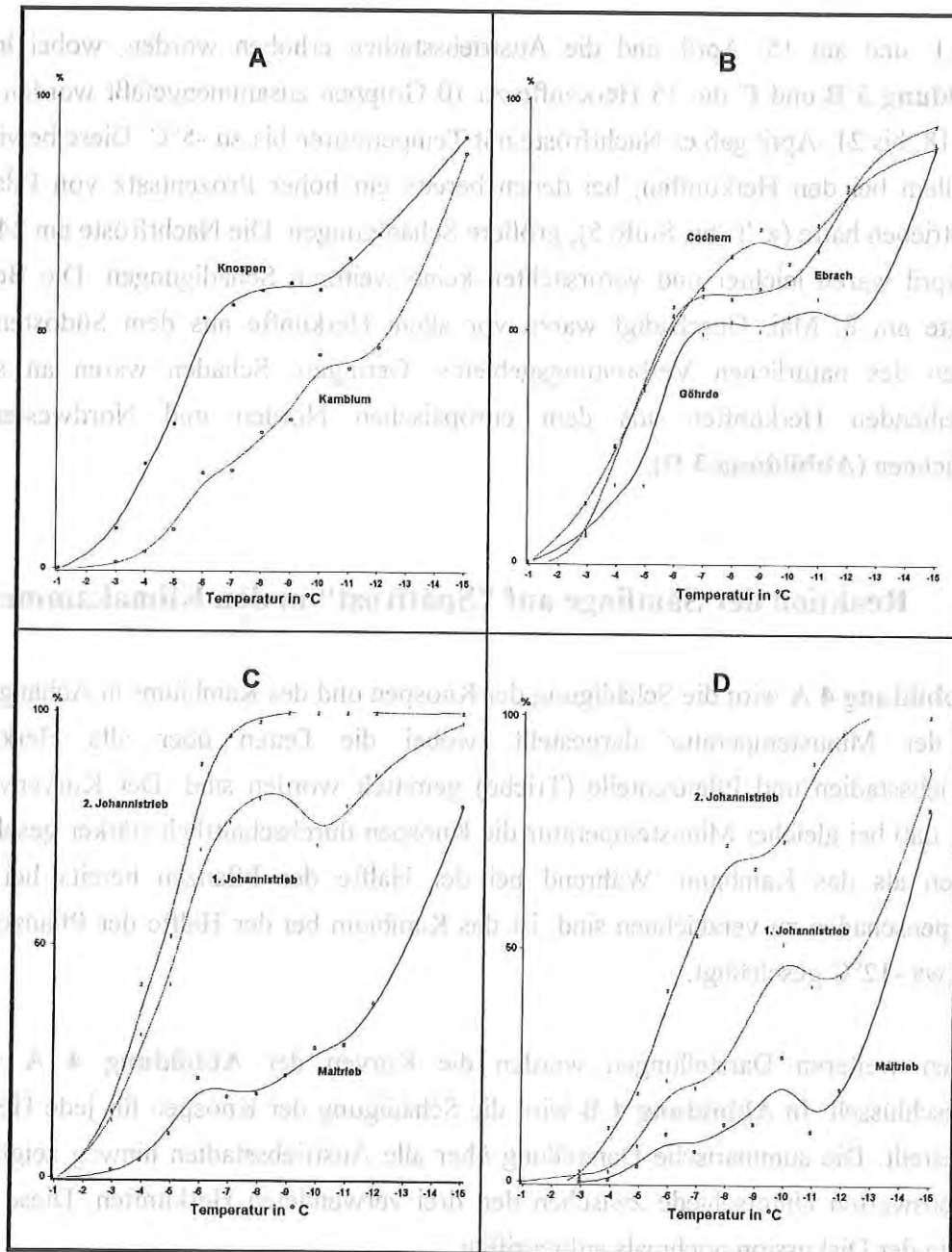


Abb. 4: Schädigung der Knospen (A, B, C) und des Kambiums (A,D) bei jungen Traubeneichen-Sämlingen in Abhängigkeit von der Minustemperatur.

A: Summarische Darstellung der Schädigung der Knospen und des Kambiums.

B: Aufspaltung der Knospenschädigung nach Provenienzen.

C, D: Aufspaltung der Knospen- (C) bzw. Kambiumsschädigung (D) nach Trieben.

Bud (A, B, C) and cambium (A, D) damage in juvenile sessile oak seedlings as a function of minus temperature.

A: Summarizing presentation of bud and cambium damage.

B: Differentiation of bud damage for provenances.

C, D: Differentiation of bud (C) and cambium damage (D) for shoots.



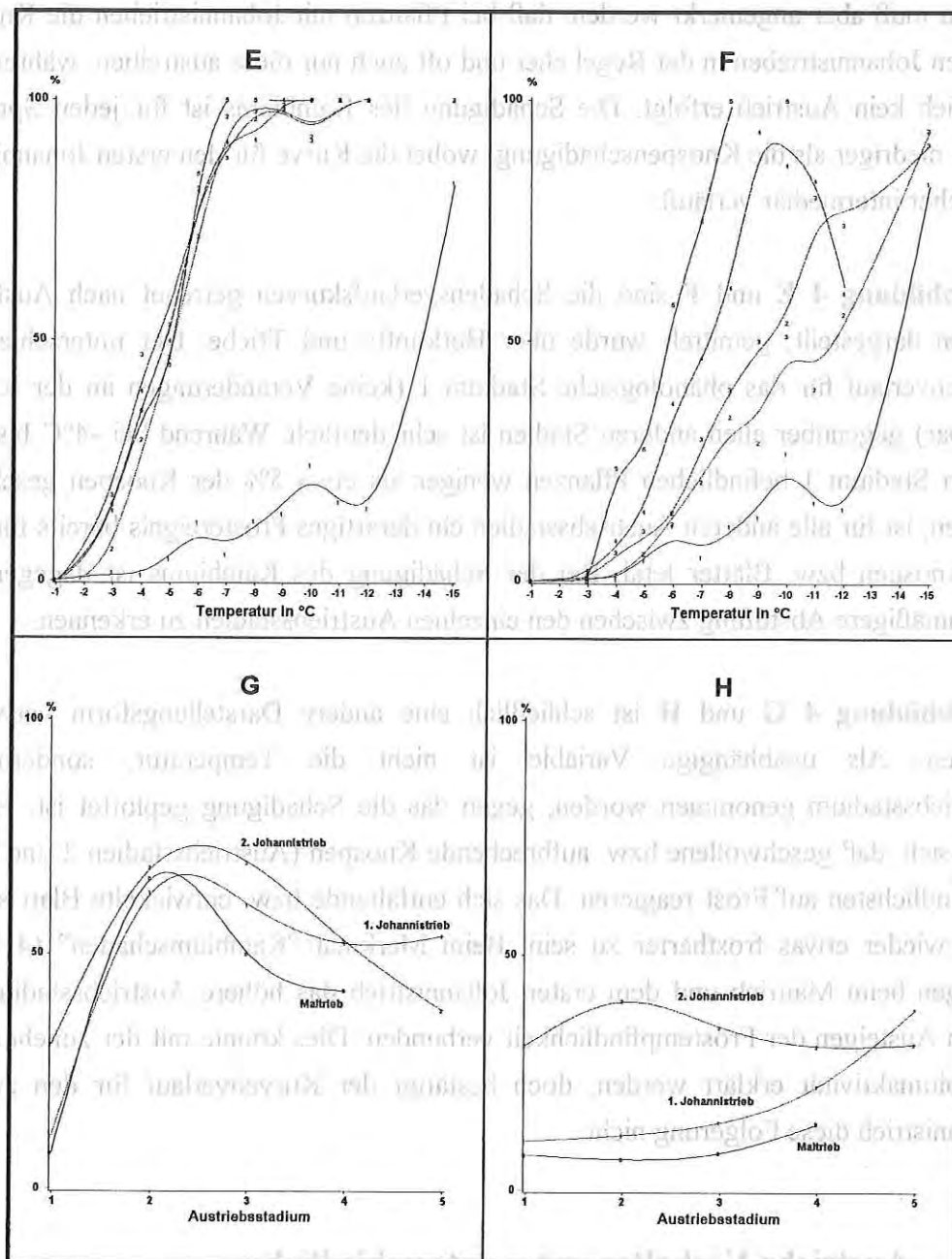


Abb. 4 (Forts.): Schädigung der Knospen (E, G) und des Kambiums (F, H) in Abhängigkeit von der Minustemperatur bzw. den einzelnen Austriebsstadien.

E, F: Aufspaltung der Knospen- (E) bzw. Kambiumsschädigung (F) nach Austriebsstadien.

G, H: Schädigung der Knospen (G) bzw. des Kambiums (H) des Maitriebes und der Johannstriebe in Abhängigkeit vom Austriebsstadium.

(continued): Bud (E, G) and cambium (F, H) damage as a function of minus temperature or the separate flushing stages respectively.

E, F: Differentiation of bud (E) or cambium damage for flushing stages.

G, H: Differentiation of bud (G) or cambium damage (H) of the mayshoot and lammas shoots as a function of the flushing stage.

Hierzu muß aber angemerkt werden, daß bei Pflanzen mit Johannistrieben die Knospen auf den Johannistrieben in der Regel eher und oft auch nur diese austreiben, während am Maitrieb kein Austrieb erfolgt. Die Schädigung des Kambiums ist für jeden Sproßteil etwas niedriger als die Knospenschädigung, wobei die Kurve für den ersten Johannistrieb aber eher intermediär verläuft.

In **Abbildung 4 E** und **F** sind die Schadensverlaufskurven getrennt nach Austriebsstadien dargestellt; gemittelt wurde über Herkünfte und Triebe. Der unterschiedliche Kurvenverlauf für das phänologische Stadium 1 (keine Veränderungen an der Knospe sichtbar) gegenüber allen anderen Stadien ist sehr deutlich. Während bei  $-4^{\circ}\text{C}$  bis  $-5^{\circ}\text{C}$  bei im Stadium 1 befindlichen Pflanzen weniger als etwa 5% der Knospen geschädigt werden, ist für alle anderen Austriebsstadien ein derartiges Frostereignis bereits für 50% der Knospen bzw. Blätter letal. Bei der Schädigung des Kambiums ist dagegen eine gleichmäßigere Abstufung zwischen den einzelnen Austriebsstadien zu erkennen.

In **Abbildung 4 G** und **H** ist schließlich eine andere Darstellungsform verwendet worden: Als unabhängige Variable ist nicht die Temperatur, sondern das Austriebsstadium genommen worden, gegen das die Schädigung geplottet ist. Hierbei zeigt sich, daß geschwollene bzw. aufbrechende Knospen (Austriebsstadien 2 und 3) am empfindlichsten auf Frost reagieren. Das sich entfaltende bzw. entwickelte Blatt scheint dann wieder etwas frosthärter zu sein. Beim Merkmal "Kambiumschaden" (**4 H**) ist dagegen beim Maitrieb und dem ersten Johannistrieb das höhere Austriebsstadium mit einem Ansteigen der Frostempfindlichkeit verbunden. Dies könnte mit der zunehmenden Kambiumaktivität erklärt werden, doch bestätigt der Kurvenverlauf für den zweiten Johannistrieb diese Folgerung nicht.

### **3.3 Austriebs-Verhalten unter unterschiedlichen Umweltbedingungen**

Von den insgesamt 38 Traubeneichen-Herkünften (s. **Tabelle 1**) wurden im Frühjahr 1993 17 gleichzeitig im Gewächshaus, Folienhaus und Freiland hinsichtlich ihres Austriebs-Verhaltens untersucht. Dargestellt ist der prozentuale Anteil der Pflanzen, die bis zum jeweils angegebenen Termin das Austriebsstadium 3 erreicht hatten. Da sich der Austriebsbeginn und die Boniturzeiträume unterschieden, sind diese zur Erhöhung der Anschaulichkeit in **Abbildung 5a** dargestellt worden. Die Ergebnisse sind dann in der **Abbildung 5b** zusammengefaßt worden. Die Herkünfte sind soweit wie möglich geographisch von Nordwest nach Südost geordnet. Die untersuchten Sämlinge zeigten im Austriebsverhalten deutliche Unterschiede zwischen den Herkünften. Im

Gewächshaus trieben die ersten Traubeneichen bereits Anfang März aus, zumal hier die Temperaturen im Mittel höher waren als im Freiland oder im Folienhaus. Bis zum Austrieb aller Pflanzen vergingen rund sieben Wochen. Im Folienhaus begann der Austrieb etwa zwei bis drei Wochen später. Zu diesem Zeitpunkt hatten im Gewächshaus etwa 80% der Pflanzen bereits Blättchen. Der Temperaturverlauf war dem im Freiland ähnlicher als dem im Gewächshaus.

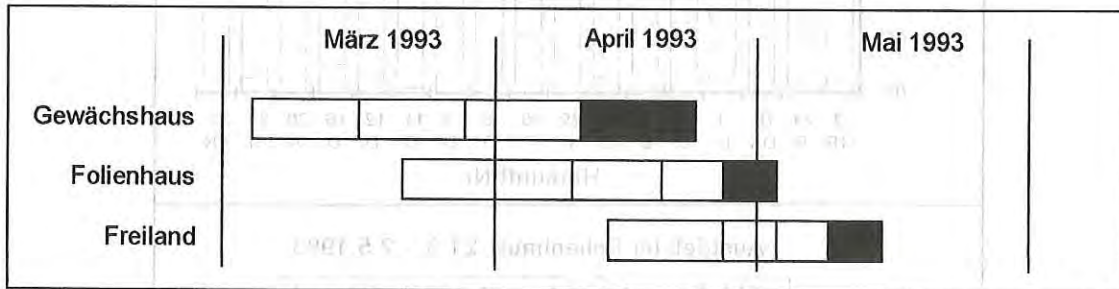
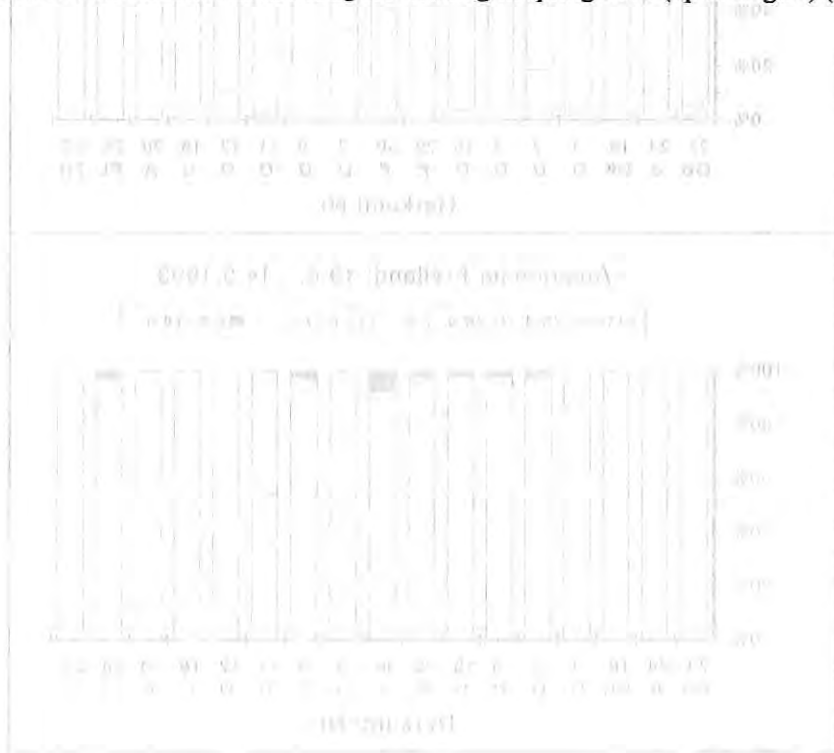


Abb. 5a: Bonituren und Vergabe der Schraffuren für den Austrieb im Frühjahr 1993 (Erreichen des Stadiums 3) (s. Abb. 5b).

Assessments and scale of hatching for flushing in spring 1993 (up to stage 3) (figure 5b).



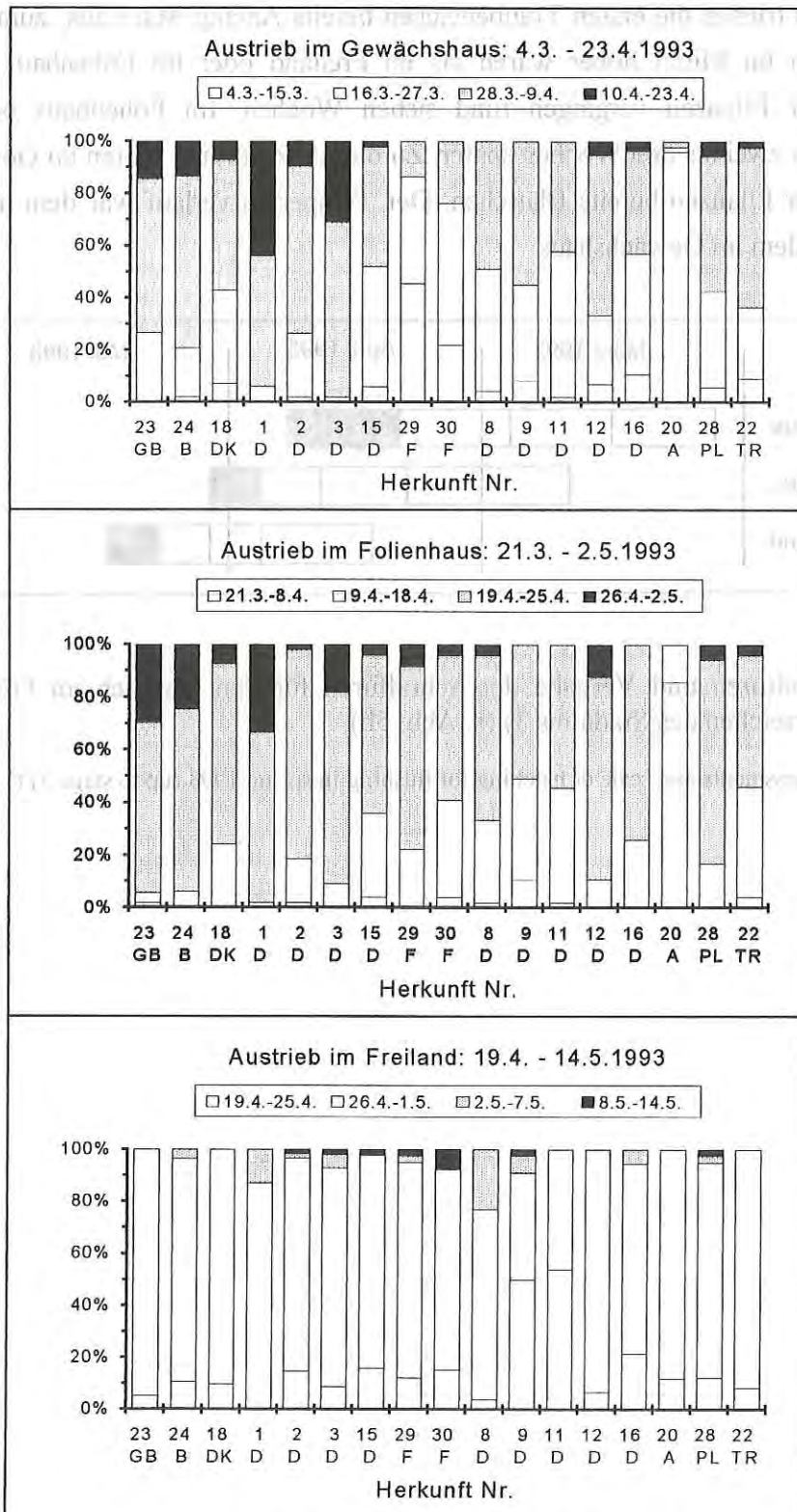


Abb. 5b: Austrieb von 17 Traubeneichen-Herkünften unter verschiedenen Umweltbedingungen.

Flushing of 17 sessile oak provenances subjected to different environmental conditions.

Im Freiland trieben die Jungpflanzen in der Regel nicht vor dem 10. April, also mehr als fünf Wochen später aus als im Gewächshaus. Wenn zu dieser Zeit (wie in den anderen Jahren als 1993 zu beobachten war) bereits eine höhere Temperatur herrschte, waren aber schon nach etwa einer Woche über 90% der Pflanzen ausgetrieben.

Unter Gewächshausbedingungen bestand je nach Untersuchungsjahr zwischen der frühesten (Nr. 20, Klostermarienberg, A) und spätesten Herkunft (Nr. 1, Mölln, D) eine Differenz im Austriebsbeginn von 12 (1993) bzw. 18 (1994) Tagen. Unter den gegebenen Umweltbedingungen verhielten sich die untersuchten 17 Herkünfte wie folgt: früh austreibend waren südöstliche Herkünfte aus der Türkei, aus Ungarn und Österreich sowie die Herkünfte aus Frankreich. Spät trieben Herkünfte aus Großbritannien, Belgien und Norddeutschland aus.

Tab. 2: Rang-Korrelationskoeffizienten zwischen den Medianen für Austrieb unter verschiedenen Umweltbedingungen und zwischen den Jahren 1993 und 1994 von 17 Traubeneichen-Herkünften.

Rank correlation coefficients between the medians for flushing under different environmental conditions and between the years 1993 and 1994 of 17 sessile oak provenances.

	Folienhaus 1993	Freiland 1993	Gewächshaus 1994	Folienhaus 1994	Freiland 1994
Gewächshaus 1993	0.715 **	0.659 **	0.806 ***	0.605 **	0.828 ***
Folienhaus 1993		0.632 **	0.825 ***	0.946 ***	0.710 **
Freiland 1993			0.698 **	0.553 *	0.703 **
Gewächshaus 1994				0.789 ***	0.806 ***
Folienhaus 1994					0.629 **
signifikant: * bei $\alpha = 0.05$ ; ** bei $\alpha = 0.01$ ; *** bei $\alpha = 0.001$					

Wie straff der Zusammenhang zwischen den Bonituren unter den unterschiedlichen Wuchsbedingungen bzw. zwischen den Jahren 1993 und 1994 ist, zeigt die Tabelle 2.

Die geschätzten Korrelationskoeffizienten sind alle signifikant von Null verschieden. Der straffste Zusammenhang besteht zwischen den Aufnahmen 1993 und 1994 im Folienhaus (0.94). Die Korrelation zwischen Folienhaus und Freiland ist dagegen für beide Aufnahmejahre vergleichsweise niedrig (0.63).

### 3.4 Johannistrieb-Bildung

Auf das erste Austreiben hin kann nach einer gewissen Zeit eine Knospe entstehen, die im Verlauf der Vegetationszeit erneut austreiben kann. Dieser Vorgang wird als Johannistrieb-Bildung bezeichnet und kann sich wiederholen. Die Neigung zur Johannistrieb-Bildung war bei westlichen Herkünften aus Frankreich und Belgien stärker als bei Herkünften aus Norddeutschland oder Dänemark. Bei ersteren hatten z.B. im Jahre 1991 über 70% der Pflanzen zwei Johannistriebe, bei letzteren weniger als 50% der Pflanzen. Allerdings variierte die Johannistrieb-Bildung von Jahr zu Jahr.

### 3.5 Laubverfärbung

Die Auswertung der Bonituren der Laubverfärbung beschränkt sich hier auf den Aufnahmezeitpunkt Anfang November 1993 und ist in **Abbildung 6** dargestellt. Erwartungsgemäß war zu diesem Zeitpunkt im Freiland der Anteil von Pflanzen mit braunen oder abgefallenen Blättern höher als in den Gewächshäusern. Außerdem konnten Herkunftsunterschiede beobachtet werden. Die beiden französischen Herkünfte Berce (Nr. 29) und Dreuille (Nr.30) hatten, über alle drei Wuchsbedingungen betrachtet, die wenigsten Pflanzen mit braunen und abgefallenen Blättern. Im Freiland setzte der Blattfall bei diesen beiden Herkünften sowie bei der türkischen Herkunft Bolu (Nr.22) vergleichsweise spät ein. Die Herkünfte Riedenburg (D, Nr.9) und Syców (PL, Nr.28) hatten am 3. November bereits etwa 40 % der Blätter abgeworfen. Ebenso verfärbte sich die englische Herkunft Dymock (Nr. 23), insbesondere in den Gewächshäusern, vergleichsweise langsam. Ein Zusammenhang zwischen Austriebsverhalten und Wachstumsabschluß ist nicht zu erkennen.

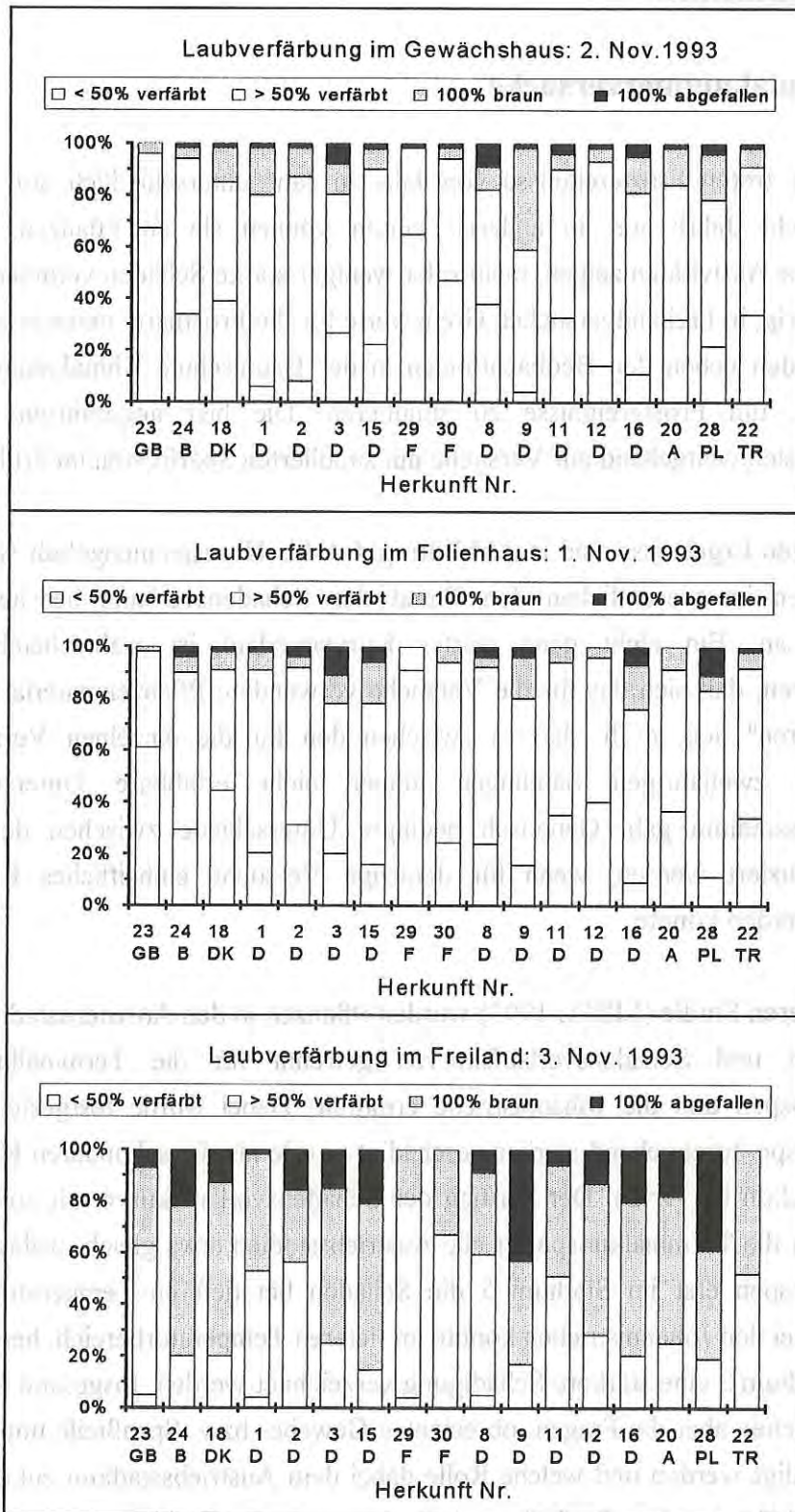


Abb. 6: Prozentualer Anteil an Pflanzen von 17 Traubeneichen-Herkünften mit unterschiedlicher Laubverfärbung.

Percentage of plants of 17 sessile oak provenances exhibiting differing leaf discoloration.

## 4. Diskussion

### 4.1 Klimakammerversuche

In der Natur treten Frostereignisse von Jahr zu Jahr unterschiedlich auf. Spätfröste bleiben manche Jahre aus, in anderen Jahren können sie an Pflanzen, die schon physiologische Aktivitäten zeigen, mehr oder weniger starke Schäden verursachen. Es ist daher schwierig, in Freilandversuchen Grenzwerte für die Frosthärte genauer zu erfassen. Deshalb wurden neben den Beobachtungen in der Baumschule Klimakammerversuche durchgeführt, um Frostereignisse zu simulieren. Die hier angeführten Ergebnisse beschränken sich weitgehend auf Versuche mit simulierten Spätfrösten im Frühjahr 1992.

Die wichtigsten Ergebnisse sind in **Abbildung 4 A bis H** zusammengefaßt worden. Die Kurven geben im wesentlichen den Trend des Schadensverlaufs bei abnehmender Temperatur an. Ein nicht ganz glatter Kurvenverlauf ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß sich das für die Versuche verwendete Pflanzenmaterial nicht ganz "standardisieren" ließ, d. h. daß es zwischen den für die einzelnen Versuchsgänge verwendeten zweijährigen Sämlingen immer nicht erfaßbare Unterschiede im Entwicklungsstadium gab. Genetisch bedingte Unterschiede zwischen den Pflanzen könnten reduziert werden, wenn für derartige Versuche einheitliches Klonmaterial verwendet werden könnte.

In einer früheren Studie (LIEPE 1993) wurden Pflanzen in den Austriebsstadien 2, 3 und 5 untersucht und Schadensverlaufskurven getrennt für die Terminalknospe, die Sekundärknospen und die Johannistriebe ermittelt. Dabei wurde festgestellt, daß die Terminalknospe durchgehend stärker geschädigt wurde als die sekundären Knospen (im Stadium 3 schon bei  $-2^{\circ}\text{C}$ ). Der Anstieg der Schadensverlaufskurve mit zunehmendem Frost war für die Terminalknospe für alle Austriebsstadien etwa gleich, während bei den Sekundärknospen erst im Stadium 5 die Schäden bei tieferen Temperaturen stärker zunahmen. Bei den Johannistrieben konnte im tieferen Temperaturbereich bereits ab dem Austriebsstadium 3 eine stärkere Schädigung verzeichnet werden. Insgesamt konnten mit diesen Versuchen aber die Fragen, ob einzelne Gewebe- bzw. Sproßteile unterschiedlich stark geschädigt werden und welche Rolle dabei dem Austriebsstadium zukommt, noch nicht voll geklärt werden. Deshalb sind die Versuche im Frühjahr 1992 etwas anders aufgebaut worden, und das Boniturschema wurde etwas modifiziert.



Aus **Abbildung 4 A** ist nun zu sehen, daß bei gleicher Temperatur und gemittelt über alle Herkünfte und Pflanzenteile Schädigungen an den Knospen häufiger sind als am Kambium.

Die **Abbildungen 4 E** und **F** zeigen dann, daß eine Schädigung durch Spätfröste hauptsächlich vom physiologischen Zustand nach der Winterruhe abhängig ist. Knospen, an denen im Frühjahr noch keine Veränderungen sichtbar sind, sind ein Zeichen dafür, daß sich der Enthärtungsprozeß noch in einem sehr frühen Stadium befindet, bzw. daß die beginnenden physiologischen Vorgänge noch kaum eine Erhöhung der Empfindlichkeit gegenüber Spätfrost nach sich ziehen. Die Verlaufskurve für Schädigungen von Pflanzenteilen mit ruhenden Knospen ist von den anderen Kurven stark verschieden; Schädigungen treten erst bei tieferen Temperaturen auf, welche bei in der Natur vorkommenden Spätfrösten kaum noch zu erwarten sind. Pflanzen mit geschwollenen Knospen bis voll entwickelten Blättern werden dagegen bereits bei Temperaturen um  $-3^{\circ}\text{C}$  bis  $-4^{\circ}\text{C}$  nennenswert geschädigt. Bei  $-5^{\circ}\text{C}$  waren über die Hälfte und bei  $-7^{\circ}\text{C}$  annähernd alle angetriebenen Knospen erfroren. Im Freiland waren die Schäden bei  $-5^{\circ}\text{C}$  offensichtlich größer (s. unten). Die Schadensverlaufskurven liegen eng beisammen. Zwischen den Austriebsstadien 2 bis 5 gibt es also kaum Unterschiede in der Frostgefährdung. Die **Abbildung 4 G** scheint dieses Ergebnis zu relativieren. Danach scheinen Pflanzen im Austriebsstadium 2 und 3 etwas empfindlicher zu sein als im Stadium 4 und 5. Das Graphicum ist aber schwer zu interpretieren, da über alle Temperaturen, sowohl die knapp unter  $0^{\circ}\text{C}$  als auch die tiefen, gemittelt wurde. Damit wird möglicherweise die Aussagefähigkeit der Kurve vermindert. Andererseits ist auch in der Fig. 4 bei LIEPE (1993) zu ersehen, daß die Schädigungen im Stadium 2 und 3 bereits bei  $-2^{\circ}\text{C}$  bis  $-3^{\circ}\text{C}$  beginnen, während sie im Stadium 5 erst unter  $-4^{\circ}\text{C}$  zu verzeichnen sind.

Unter dem Gesichtspunkt, daß die Pflanzen erst ab dem Stadium der Knospenschwellung Spätfrostschäden erleiden, sind auch die anderen Graphiken zu interpretieren. **Abbildung 4 C** legt die Vermutung nahe, daß der Maitrieb wesentlich weniger geschädigt wird als die Johannistriebe. Dies ist insgesamt auch richtig, ist aber vor dem Hintergrund zu sehen, daß bei Versuchsbeginn die Knospen der Maitriebe im Gegensatz zu den Johannistrieben nicht oder nur selten ausgetrieben hatten. Die summarischen Schadensverlaufskurven spiegeln beim Maitrieb überwiegend die Mittelwerte der Schädigungen an ruhenden Knospen wider, während sie bei den Johannistrieben überwiegend Schädigungen an aktiven Knospen darstellen. Betrifft ein Spätfrostschaden nur die Johannistriebe, hat die Pflanze die Möglichkeit, erneut aus dem Maitrieb auszutreiben. Zuwachsverluste werden auf diese Weise in Grenzen gehalten, es kann aber zur Verbuschung kommen, und die Stammform wird beeinträchtigt.

Vor dem Hintergrund des phänologischen bzw. physiologischen Entwicklungszustandes müssen auch die Unterschiede zwischen Provenienzen gesehen werden. In **Abbildung 4 B** scheinen die Unterschiede zwischen den Provenienzen gering zu sein. Dies liegt daran, daß für die Klimakammerversuche Pflanzen in vergleichbaren Entwicklungsstadien verwendet wurden. Von Natur aus treiben die einzelnen Herkünfte aber zu unterschiedlichen Zeitpunkten aus. Aus den Austriebsdaten ist ersichtlich, daß die Herkunft Nr. 11 (Cochem) für den Austriebsbeginn eine geringere Wärmesumme benötigt als die Herkunft Nr. 3 (Göhrde). Sie wäre somit bei einem Anbau am gleichen Standort spätfrostgefährdeter als die Herkunft Göhrde. Dieser Zusammenhang wird auch aus den während der Austriebsphase im April 1991 aufgetretenen starken Schäden an den früh austreibenden Herkünften in der Baumschule deutlich (s. **Abbildung 3**).

Schließlich ist noch auf die Schädigungen des Kambiums einzugehen (**Abbildung 4 D, F, H**). Es zeigt sich, daß die Frostempfindlichkeit mit zunehmendem Austriebsstadium in abgestufter Form zunimmt (**4 F**). Jede Schadensverlaufskurve ist von der anderen verschieden. Die Austriebsstadien 2 bis 5 liegen nicht, wie bei den Kurven für Knospenschäden (**4 E**) gebündelt beisammen. Dies kommt indirekt auch in **Abbildung 4 D** zum Ausdruck. Die Johannistriebe treiben im allgemeinen früher aus als der Maitrieb, was mit einer höheren Kambiumaktivität korreliert ist. Mit zunehmender Aktivität werden bei einem Spätfrostereignis die Kambiumschäden größer (**Abbildung 4 H, 1. Johannistrieb und Maitrieb**).

## 4.2 Austriebsverhalten

Auch wenn die in den Versuch einbezogenen östlichen Herkünfte früher austrieben als die westlichen, scheint - über das gesamte Verbreitungsgebiet gesehen - kein klinales Variationsmuster gegeben zu sein. Die ungarische und die ostösterreichischen Herkünfte dürften aus Klimabedingungen stammen, in denen nach Frühjahrsbeginn gleich ein Übergang zu permanent warmen Temperaturen stattfindet, bzw. eine Übergangsphase mit Spätfrösten keine besondere Bedeutung hat. Dadurch müssen sich die dort heimischen Traubeneichen-Populationen auch nicht auf einen verzögerten Austrieb einstellen. Innerhalb bestimmter Regionen könnte man bei diesem Merkmal auf klinale Variation schließen, da die Herkünfte aus GB, DK, PL und D(n) in Norddeutschland im Durchschnitt später austreiben als südliche Herkünfte. Ein Zusammenhang zwischen dem Austrieb und der geographischen Breite des Herkunftsortes ergab sich auch in schottischen Versuchen (ANONYMUS 1994). Allerdings war in beiden Fällen die Stichprobengröße sehr begrenzt. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen stellte JENSEN

(1993) fest, daß in dänischen Herkunftsversuchen norwegische und schwedische Herkünfte früher austreiben als dänische.

#### **4.3 Korrelationen des mittleren Austriebs**

Von den aufgeführten Rangkorrelations-Koeffizienten sind neun von näherem Interesse (in **Tabelle 2** unterlegt): es sind die drei, welche die Beziehungen zwischen den Jahren und den jeweils gleichen Wuchsbedingungen charakterisieren und jeweils die drei Koeffizienten, die innerhalb des gleichen Jahres einen Schätzwert für die Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Wuchsbedingungen darstellen. Zwischen den Jahren ist die Korrelation zwischen den Freilandbedingungen niedriger (0.70) als im Gewächshaus (0.80) und im Folienhaus (0.94). Dies spiegelt erwartungsgemäß die zwischen den Jahren ausgeglicheneren Verhältnisse in den Gewächshäusern wider. Innerhalb der Jahre sollte die Korrelation Gewächshaus zu Folienhaus aber höher sein als die Korrelation Gewächshaus zu Freiland. Dies trifft für 1993 zu, im Jahre 1994 ist dagegen letzterer Schätzwert etwas höher. Vermutlich liegen die Unterschiede im Fehlerbereich der Schätzwerte, d. h. die erwarteten Unterschiede treten nicht zu Tage. Weiterhin wurde für die Beziehung Folienhaus zu Freiland in beiden Jahren der jeweils niedrigste der drei interessierenden Koeffizienten geschätzt, obwohl die Beziehung Folienhaus zu Freiland eigentlich enger sein sollte als die Beziehung Gewächshaus zu Freiland. Eine befriedigende Erklärung kann hier nicht gegeben werden. Vielleicht trug die im Vergleich zum Gewächshaus stärkere Verschmutzung auf der Plastikfolie zu einer Veränderung der Einstrahlung bei. Andererseits waren im Gewächshaus die dort stehenden Pflanzen wahrscheinlich weniger abgehärtet (geringerer Einwinterungsgrad), weil durch Heizen ein Absinken der Temperaturen unter +5°C vermieden wurde. Dies sollte aber auch einen Effekt auf den Austrieb haben. Alles in allem haben bei einer insgesamt signifikanten Korrelation einzelne Herkünfte ein etwas unterschiedliches Austriebsverhalten gezeigt.

### **5. Folgerungen**

Da die Traubeneiche aufgrund ihrer im Vergleich zu Koniferen großen und rekalzitranten Früchte schwieriger zu handhaben ist, beschränkten sich die beschriebenen Untersuchungen auf phänologische und morphologische Merkmale bei einer begrenzten Anzahl von Herkünften. Somit können die hier vorgestellten Ergebnisse auch nur Mosaiksteine zum Gesamtbild des geographischen Variationsmusters liefern. Ähnlich wie

in älteren Untersuchungen (s. Übersichtsarbeit von KLEINSCHMIT 1993a) zeigten sich, je nach Merkmal, mehr oder weniger große Unterschiede zwischen und innerhalb von Herkünften. Eine eindeutige Klassifizierung nach klinaler oder ökotypischer Variation war aber nicht möglich.

Neben phänologischen und Wachstums-Merkmalen wurden in den vergangenen Jahren bei mehreren Eichenarten auch Isoenzym-Genloci untersucht (z. B. KREMER *et al.* 1991, MÜLLER-STARCK *et al.* 1993). Die Traubeneiche zeigt eine hohe genetische Vielfalt. Der größte Teil der genetischen Variation verteilt sich auf Individuen innerhalb von Populationen, während die Unterschiede zwischen Populationen eher klein sind. Andererseits läßt sich aber ein Teil der Gesamtvariation durch ein Zusammenfassen in geographische Gruppen erklären. Für mehrere Allele bestehen signifikante Korrelationen ihrer Häufigkeiten zu geographischen Daten, insbesondere zum Längengrad. Das klinale Variationsmuster entlang der Längengrade wurde bei Anwendung von Multilocus-Modellen bestätigt (ANONYMUS 1994).

Neuere biochemische Untersuchungsmethoden benutzen Abschnitte der Desoxyribonucleinsäure der Chloroplasten (cpDNA) als genetische Marker (Zusammenfassung für Eichenarten bei KREMER und PETIT 1993). Diese zeigen im Gegensatz zu den Isoenzym-Genloci keine oder nur wenig Variation innerhalb von Populationen. In geographisch entfernteren Populationen der Traubeneiche (West - Ost) können unterschiedliche Zytotypen auftreten (PETIT *et al.* 1995). Die Einheitlichkeit der Zytotypen innerhalb von Populationen wird mit der mütterlichen Vererbung der cpDNA und der im Vergleich zu geflügelten Samen geringen Verbreitung der Eicheln um den Mutterbaum erklärt. Weiterhin gilt die cpDNA als stabil. Unterschiedliche Zytotypen können sich aufgrund der unterschiedlichen ökologischen Bedingungen in den eiszeitlichen Refugien oder als Folge von genetischer Drift entwickelt haben. Somit eignen sich Polymorphismen der cpDNA zur Verfolgung der Einwanderungswege der Eichen nach der Eiszeit, wobei die Hybridisierung zwischen Stiel- und Traubeneiche eine besondere Rolle gespielt haben könnte (KREMER und PETIT 1993). Unterschiede zwischen westlichen und östlichen Populationen können mit hoher Wahrscheinlichkeit mit der Abstammung aus unterschiedlichen Refugien in Verbindung gebracht werden. Das Vorkommen unterschiedlicher Zytotypen innerhalb eines Bestandes im westlichen Mitteleuropa kann mit dem Zusammentreffen von Einwanderungsströmen aus unterschiedlichen Refugien zusammenhängen. Andererseits ist auch belegt, daß gegen Ende des letzten und zu Beginn dieses Jahrhunderts tausende Tonnen an Eichensaatgut in das Gebiet von Deutschland importiert worden sind (LÜDEMANN 1962, KLEINSCHMIT 1993b) und es so zu einer Vermischung der autochthonen Populationen mit Herkünften aus anderen Regionen gekommen ist.

Die Strukturierung der mithilfe biochemischer Methoden aufgedeckten genetischen Variation nach geographischen Gesichtspunkten präzisiert die bisher nur auf Pollenanalysen beruhende Einwanderungsgeschichte unserer Baumarten. Darüberhinaus erleichtert sie aber auch die Erklärung und Zuordnung der bei phänotypischen Merkmalen beobachteten Variation. Bei der Traubeneiche korrespondieren die mithilfe biochemischer Marker gefundenen Unterschiede zwischen westlichen und östlichen Populationen z.T. mit den Beobachtungen an phänologischen und Wuchsmerkmalen. Andererseits sind kaum Zusammenhänge zwischen den geringen Unterschieden in den Allelhäufigkeiten und der innerhalb von Regionen oft ausgeprägten diskontinuierlichen Variation phänotypischer Merkmale zwischen Herkünften zu erkennen. Es ist zu hoffen, daß mithilfe weiterer genetischer Marker zur Klärung dieser Frage beigetragen werden kann. Zunächst bleiben aber für die Beurteilung waldbaulicher Fragen, und hier insbesondere des Transfers von Saat- und Pflanzgut, Kenntnisse über die Variation adaptiver Merkmale von unverzichtbarer Bedeutung.

## 6. Schlußbemerkung

Das Vorhaben wurde aus Mitteln der Kommission der EG gefördert (Vertrag MA2B-CT91-0022). Den verantwortlichen Damen und Herren in Brüssel sowie den Koordinatoren Herrn Dr. A. KREMER, Pierroton (F) und Herrn Dr. J. KLEINSCHMIT, Escherode (D) sei hiermit für ihre Arbeit recht herzlich gedankt.

## 7. Literatur

ANONYMUS (1990): International Provenance Trial with *Quercus petraea*. The 1989-series of provenance experiments with *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. Description of seed stands and seed collections. Danish Forest Experiment Station. (Mimeogr.).

ANONYMUS (1994): Final Technical Report, 01/8/91 to 31/01/94, Contract N° MA2B-CT91-0022, Description of genetic variation in oak populations by means of molecular markers and adaptive traits. (mimeogr.).

JENSEN, J.S. (1993): Variation of growth in Danish provenance trials with oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Mattuschka Liebl.). *Annales des Sciences Forestières*, 50, (Suppl. 1), pp. 203s-207s.

- KLEINSCHMIT, J. (1993a): Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Annales des Sciences Forestières*, 50, (Suppl. 1), pp. 166s-185s.
- KLEINSCHMIT, J. (1993b): Strategien zur Erhaltung forstlicher Genressourcen erläutert am Beispiel von Eiche, Fichte und Douglasie. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, 111, S. 179-212.
- KLEINSCHMIT, J. und SVOLBA, J. (1979): Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 150, S. 111-120.
- KREMER, A. and PETIT, R.J. (1993): Gene diversity in natural populations of oak species. *Annales des Sciences Forestières*, 50, (Suppl. 1), pp. 186s-202s.
- KREMER, A.; PETIT, R.; ZANETTO, A.; FOUGÈRE, V.; DUCOUSSO, A.; WAGNER, D. and CHAUVIN, C. (1991): Nuclear and Organelle Gene Diversity in *Quercus robur* and *Q. petraea*. In: MÜLLER-STARCK, G. and ZIEHE, M. (ed.): Genetic Variation in European Populations of Forest Trees. Sauerländer's Verlag, Frankfurt.
- LIEPE, K. (1993): Growth-chamber trial on frost hardiness and field trial on flushing of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl). *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl. 1, pp. 208s-214s.
- LÜDEMANN, G.H. (1962): Die Forstpflanzenanzucht in Kämpfen und Forstbaumschulen Norddeutschlands. Dissertation der Universität Göttingen, 164 S. (zitiert nach KLEINSCHMIT 1993 b).
- MÜLLER-STARCK, G.; HERZOG, S. and HATTEMER, H.H. (1993): Intra- and interpopulational genetic variation in juvenile populations of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 233s-244s.
- PETIT, R. J.; DEMESURE, B.; PINEAU, E. und KREMER, A. (1995): Genetische Differenzierung in lokalem und kontinentalem Ausmaß bei europäischen Eichenarten: die Bedeutung geschichtlicher Faktoren. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, 34/95 (dieser Band), S. 22-37.
- SAS Institute Inc. (1989): SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition. Volume 1: 943 pp., Volume 2: 846 pp. sowie: 1990: SAS Procedures Guide, Version 6, Third Edition. 705 pp., Cary, NC: SAS Institute Inc.

# Intraspezifische Variation von Wachstum und Stammform bei *Quercus robur* und *Quercus petraea*

Jochen Kleinschmit und Josef Svolba

Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Abt. Forstpflanzenzüchtung  
D-34355 Staufenberg-Escherode

**Keywords:** Pedunculate oak, sessile oak, provenance trial,  
height growth, form

## Summary

Title of the paper: Intraspecific variation of growth and stem form in *Quercus robur* and *Quercus petraea*.

Two provenance trials were evaluated in order to study survival, growth and stem form of *Quercus robur* and *Quercus petraea*.

One provenance trial was established in 1950 by KRAHL-URBAN including 65 provenances of sessile oak and 52 provenances of pedunculate oak. These comprehend all Germany, often with several stands originating from one single region. The field experiment was examined 14 times by the age of 40. Additionally flushing was monitored by 20 different data in the period of time from 1951 to 1962 and bud set by 16 different data from 1952 to 1958. Stem form, crown structure, branching, and formation of epicormic branches were evaluated in 1977 and 1986, respectively.

Mean heights in the age of 40 reached from 10,2 m to 15,8 m exhibiting no significant differences among the groups pedunculate oak and sessile oak; differences, however, were significant within the two species between stands within provenances. The changes in ranking were quite significant by the age of 17.

Variation of stem form was extremely high. Provenances can include up to 60% of individuals which were classified to be „straight“ or „very straight“, other provenances, however, comprise zero percent. This trait is very important as to the production of veneer wood. Some of the best sessile oak provenances originate from the Spessart and the Pfälzerwald (Palatinate Forest). Correlations between the different traits and age make clear that early selection in oak is difficult.

The second provenance trial was established in 1984 comprising 11 French and 6 German provenances on 10 localities in northern Germany. With respect to survival no differences are found between French and German provenances in the age of 10. However, as exposed to the conditions in northern Germany the mean stem shape proves to be better for German provenances. From the French provenances only the state forests Abbayes, Bretagnes, Reno Valdieu, and Darney can be recommended at present.

Since the field experiments are still too young, no final recommendations can be given. Highest ranking presently is the seed orchard Berkel followed by Spessart, Abbayes, Reno Valdieu, and Göhrde.

**Schlüsselwörter:** Stieleiche, Traubeneiche, Herkunftsversuch, Höhenwachstum, Form

## **Zusammenfassung**

Zwei Herkunftsversuche wurden ausgewertet, um Überleben, Wachstum und Stammform von *Quercus petraea* und *Quercus robur* zu untersuchen.

Ein Herkunftsversuch ist 1950 von KRAHL-URBAN mit 65 Herkünften von Traubeneiche und 52 Herkünften von Stieleiche begründet worden. Sie umfassen ganz Deutschland, oft mit mehreren Beständen eines Gebietes. Diese Versuchsfläche ist vierzehnmal bis zum Alter 40 gemessen worden. Zusätzlich wurde Austrieb zwischen 1951 und 1962 an 20 verschiedenen Daten erhoben und Vegetationsabschluß zwischen 1952 und 1958 an 16 verschiedenen Daten. Stammform, Kronenform, Verzweigung und Wasserreiserbildung wurden 1977 und 1986 bewertet.

Die Mittelhöhe im Alter 40 reichte von 10,2 m bis 15,8 m ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen Stieleiche und Traubeneiche, aber mit signifikanten Unterschieden zwischen den Herkünften innerhalb der Arten und zwischen Beständen innerhalb von Herkünften. Die Rangänderungen waren bis zum Alter 17 ganz beträchtlich.

Die Variation in der Stammform ist extrem groß. Herkünfte können bis zu 60% Individuen umfassen, die als gerade oder sehr gerade eingestuft wurden, andere Herkünfte hingegen Null Prozent. Dieses Merkmal ist für die Erzeugung wertvollen Stammholzes sehr wichtig. Einige der besten Herkünfte von Traubeneiche stammen vom Spessart und Pfälzerwald. Die Korrelationen der unterschiedlichen Merkmale über das Alter zeigen, daß Frühselektion bei Eiche schwierig ist.

Der zweite Herkunftsversuch wurde 1984 mit 11 französischen und 6 deutschen Herkünften auf 10 Standorten in Norddeutschland begründet. Es finden sich keine Unterschiede im Überleben zwischen französischen und deutschen Herkünften im Alter 10. Die mittlere Stammform unter norddeutschen Bedingungen ist jedoch für deutsche Herkünfte besser. Im Augenblick können von den französischen Herkünften nur der Staatswald Abbayes, Bretranges, Reno Valdieu und Darney empfohlen werden.

Die Versuchsflächen sind noch zu jung, um abschließende Empfehlungen geben zu können. Die Spitzenherkunft ist im Augenblick die Samenplantage Berkel, gefolgt von Spessart, Abbayes, Reno Valdieu und Görhde.

## **1. Einleitung**

Es gibt nur vergleichsweise wenige und meistens junge Herkunftsversuche mit Stiel- und Traubeneiche. Bei Arten wie den Eichen mit langen Umtriebszeiten ist aber eine längere Beobachtung in Feldversuchen noch wichtiger als bei Kurzumtriebszeitarten. Die unregelmäßige Blüte und das Problem mit der Langzeitlagerung der Eicheln bereitet Schwierigkeiten bei der Begründung umfangreicher Feldversuche. Einige Merkmale wie Stammform oder Wasserreiserbildung können erst im fortgeschrittenen Alter beurteilt werden, andere wie Austrieb, Vegetationsabschluß und Überleben unter verschiedenen Standortbedingungen sind bereits früher sicher einzuschätzen. Die bestehenden älteren Herkunftsversuche sind eine wertvolle Quelle für Informationen über die Beurteilung der Langzeitentwicklung.



## 2. Material und Methoden

Zwei Herkunftsversuche wurden in diese Untersuchung einbezogen:

### 2.1 KRAHL-URBAN-Herkunftsversuch

KRAHL-URBAN begründete 1950 einen Eichenherkunftsversuch mit 115 deutschen und zwei österreichischen Beständen - 65 Traubeneichenbestände und 52 Stieleichenbestände (Abb. 1 und Abb. 2), die zu 53 Forstämtern gehören. Die Versuchsfläche wurde im Forstamt Bramwald auf 2,55 ha ausgesät mit einem Standard, der zwölfmal als Gitter über dem Versuch wiederholt worden ist. Zwei Parallelversuche wurden in Syke und Grafrath angelegt, die aber nur einen Teil der Herkünfte umfassen und die mit überzähligen Pflanzen vom Bramwald begründet worden sind.

Da regelmäßige Messungen nur im Bramwald vorgenommen wurden, stützt sich die nachfolgende Auswertung vorrangig auf diese Versuchsfläche.

Die Versuchsfläche ist ein vergleichsweise homogener Standort auf Buntsandstein, es gibt aber zwischen dem westlichen und dem östlichen Teil der Fläche Standortunterschiede, die etwa 1 m Höhenunterschied bei der Standardprovenienz ausmachen (7%).

Die verschiedenen Gebiete sind durch eine unterschiedliche Anzahl von Beständen repräsentiert, die von einem Bestand bis zu 16 Beständen je Forstamt reichen. Der Austrieb wurde von 1951 bis 1962 an zwanzig verschiedenen Zeitpunkten erhoben, ein- bis viermal je Jahr. Der Vegetationsabschluß wurde 16mal zwischen 1952 und 1958 erhoben, zwei- bis fünfmal pro Jahr. Die Höhe wurde zwischen 1950 (Alter 1) und 1989 (Alter 40) 14mal gemessen, der Durchmesser dreimal zwischen 1977 und 1989.

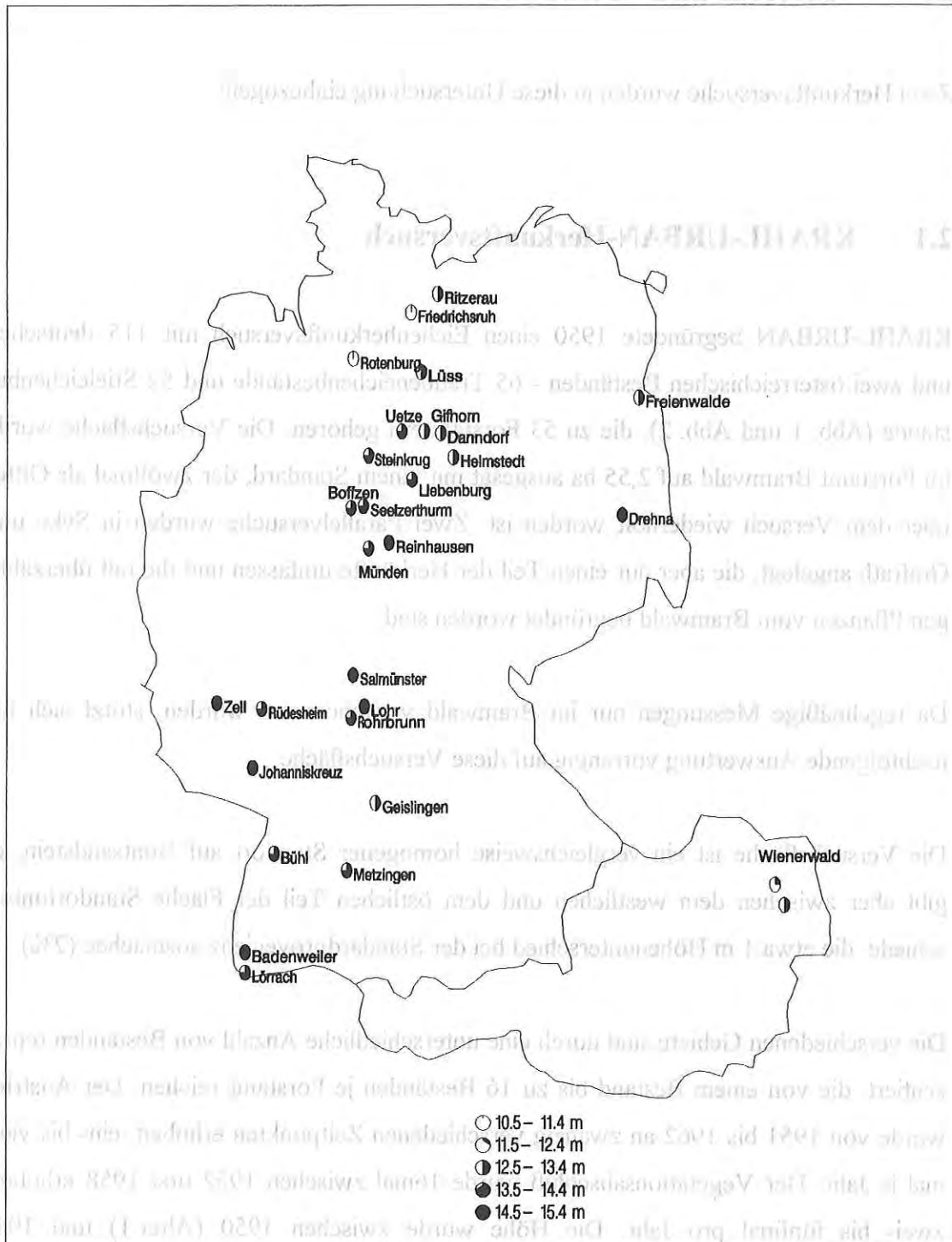


Abb. 1: Höhe der Traubeneichenherkünfte im Alter 40.

Height of sessile oak provenances at the age of 40.

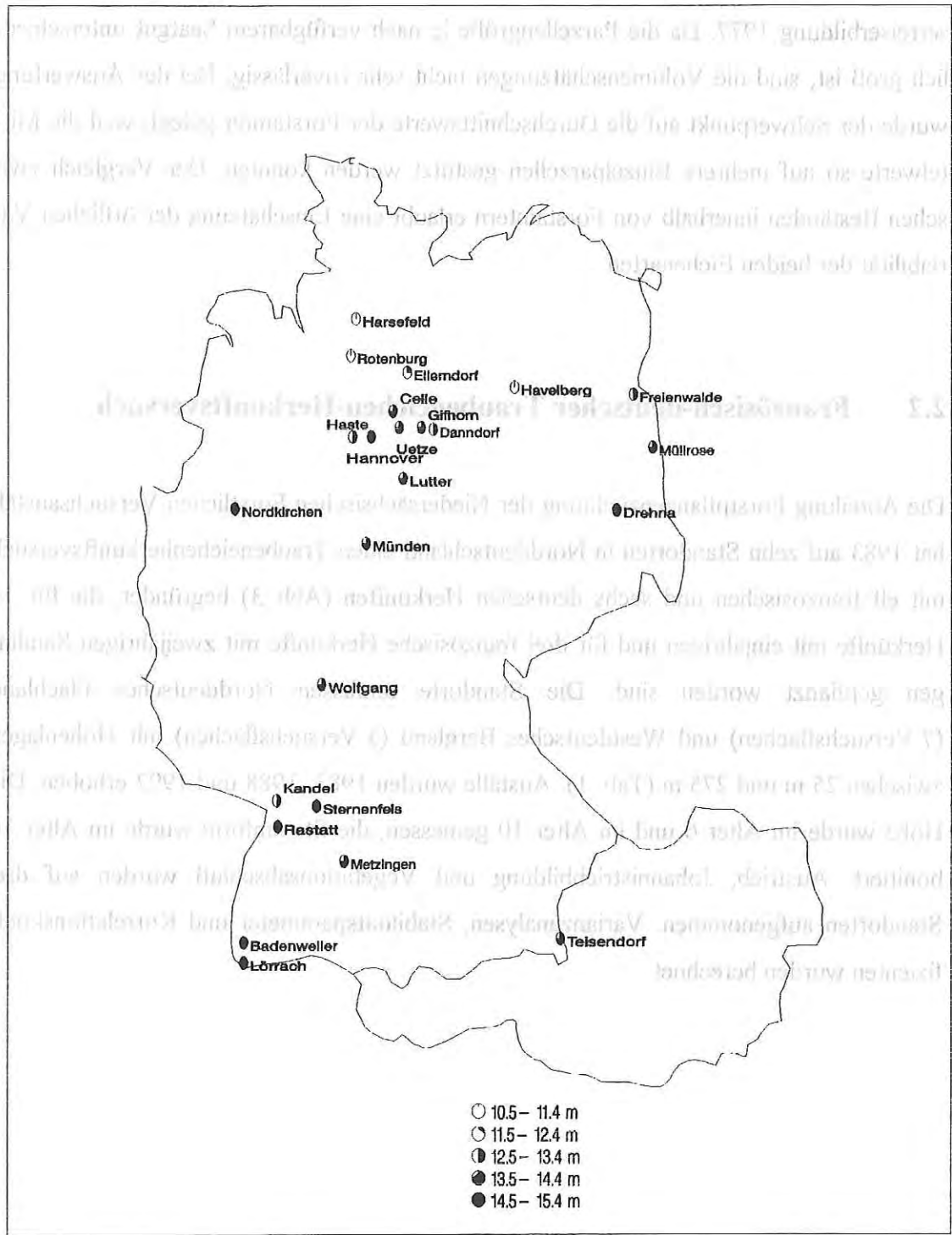


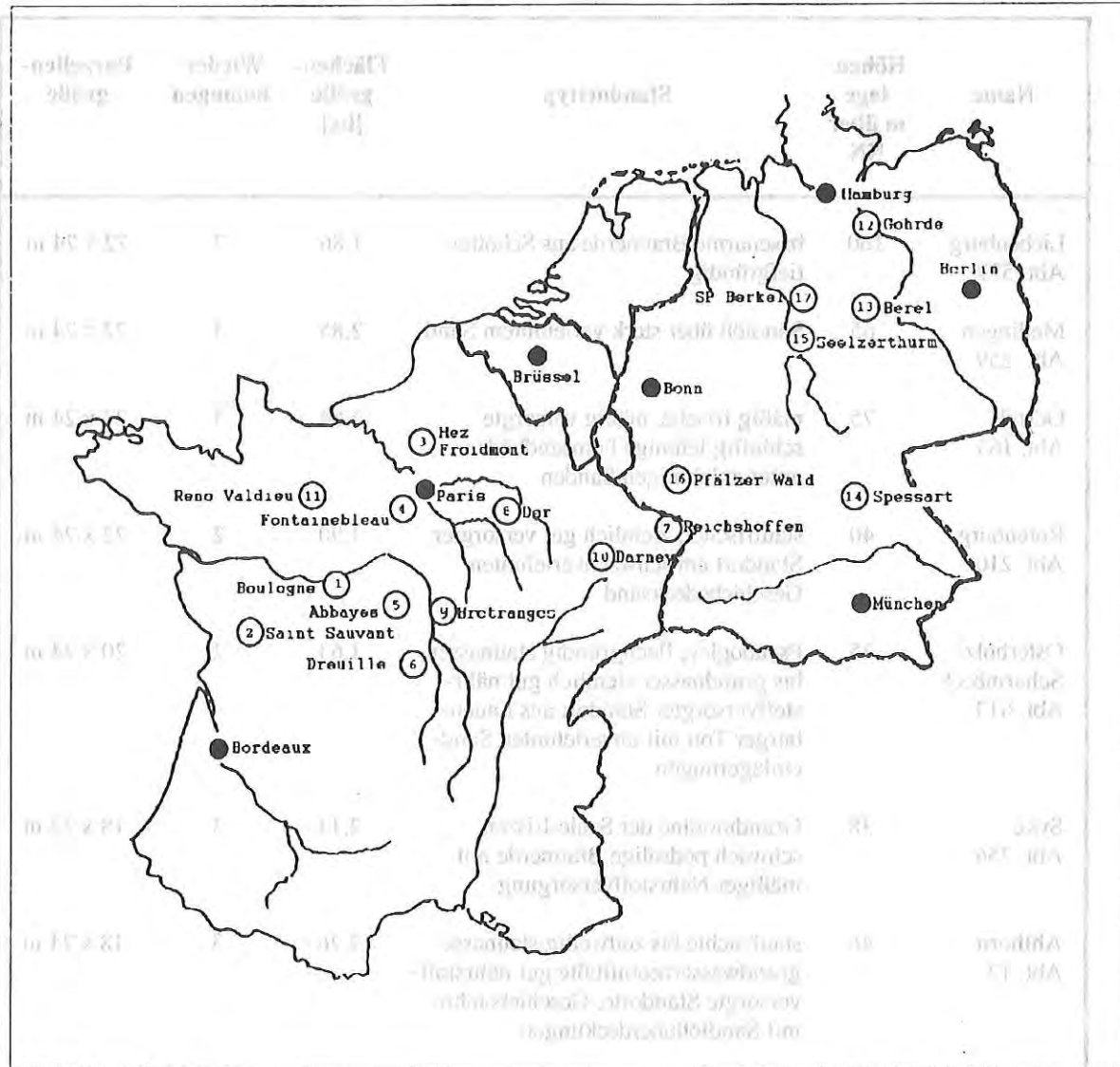
Abb. 2: Höhe der Stieleichenherkünfte im Alter 40.  
 Height of pedunculate oak provenances at the age of 40.

Stamm- und Kronenform wurden 1977 und 1986 aufgenommen, Verzweigung und Wasserreiserbildung 1977. Da die Parzellengröße je nach verfügbarem Saatgut unterschiedlich groß ist, sind die Volumenschätzungen nicht sehr zuverlässig. Bei der Auswertung wurde der Schwerpunkt auf die Durchschnittswerte der Forstämter gelegt, weil die Mittelwerte so auf mehrere Einzelparzellen gestützt werden konnten. Der Vergleich zwischen Beständen innerhalb von Forstämtern erlaubt eine Einschätzung der örtlichen Variabilität der beiden Eichenarten.

## 2.2 Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch

Die Abteilung Forstpflanzenzüchtung der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt hat 1983 auf zehn Standorten in Norddeutschland einen Traubeneichenherkunftsversuch mit elf französischen und sechs deutschen Herkünften (Abb. 3) begründet, die für 14 Herkünfte mit einjährigen und für drei französische Herkünfte mit zweijährigen Sämlingen gepflanzt worden sind. Die Standorte umfassen Norddeutsches Flachland (7 Versuchsflächen) und Westdeutsches Bergland (3 Versuchsflächen) mit Höhenlagen zwischen 25 m und 275 m (Tab. 1). Ausfälle wurden 1983, 1988 und 1992 erhoben. Die Höhe wurde im Alter 6 und im Alter 10 gemessen, die Stammform wurde im Alter 10 bonitiert. Austrieb, Johannistriebbildung und Vegetationsabschluß wurden auf drei Standorten aufgenommen. Varianzanalysen, Stabilitätsparameter und Korrelationskoeffizienten wurden berechnet.

Tab. 1: Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch 1983  
 Übersicht über die Provenienzen  
 French-German provenance test for sessile oak 1983: survey of provenances



**Abb. 3: Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch 1983:  
 Herkunft der Provenienzen.**

French-German provenance test for sessile oak 1983: origin of provenances.

Tab. 1: Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch 1983:  
Übersicht über die Anbauorte.

French-German provenance test for sessile oak 1983: a survey on the test sites.

Name	Höhenlage m über NN	Standorttyp	Flächen- größe [ha]	Wieder- holungen	Parzellen- größe
Liebenburg Abt. 527	160	basenarme Braunerde aus Schotter, tiefgründig	1,86	2	22 x 24 m
Medingen Abt. 259	65	Sandlöß über stark verlehmtem Sand	2,85	3	22 x 24 m
Oerrel Abt. 163	75	mäßig frische, mäßig versorgte schluffig lehmige Feinsandböden unter anlehmigen Sanden	2,84	3	22 x 24 m
Rotenburg Abt. 210	40	staufrischer, ziemlich gut versorgter Standort am schwachverlehmteten Geschiebedecksand	1,90	2	22 x 24 m
Osterholz- Scharmbeck Abt. 613	25	Pseudogley, flachgründig staunasser bis grundnasser ziemlich gut nähr- stoffversorgter Standort aus Lauen- burger Ton mit unverlehmteten Sand- einlagerungen	1,63	2	20 x 24 m
Syke Abt. 356	38	Grundmoräne der Saale-Eiszeit, schwach podsolige Braunerde mit mäßiger Nährstoffversorgung	2,14	3	18 x 22 m
Ahlhorn Abt. 12	46	staufeuchte bis zeitweilig staunasse grundwasserbeeinflusste gut nährstoff- versorgte Standorte, Geschiebelehm mit Sandlößüberdeckungen	2,26	3	18 x 24 m
Hasbruch Abt. 124	38	sehr frische und nachhaltig frische ziemlich gut nährstoffversorgte, geschiebelehmführende sandige bis sandig-tonige Lehme mit anlehmiger bis schwach lehmiger Sandüber- lagerung	2,28	3	19 x 22 m
Grünenplan Abt. 139	275	frische Sonnenhangstandorte mit gut versorgten tonigen Böden	2,85	3	22 x 24 m
Schöningen Abt. 64	210	sonnenseitige, hangfrische bis mäßig wechselfeuchte ziemlich gut versorgte Lößlehmdecken über Verwitterungs- material basenarmer Silikatgesteine	1,52	2	18 x 24 m

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 KRAHL-URBAN-Herkunftsversuch von 1950**

##### **3.1.1 Höhe, Durchmesser und Volumen**

Die Mittelhöhen der Herkünfte im Alter 40 reichen von 10,2 m bis 15,8 m. Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen Stieleiche und Traubeneiche. Sie haben die gleiche Variationsbreite (Abb. 4). Es treten jedoch zwischen den Herkünften innerhalb der Arten regional deutliche Unterschiede auf. Abbildung 1 zeigt, daß die nördlichsten Herkünfte der Traubeneiche langsamwüchsig sind. Einzelne Herkünfte wie Drehna, Reinhausen sowie Spessart und Pfälzerwald zeigen ein überlegenes Wachstum, das die langsamwüchsigen Herkünfte um 40% in der Höhe übertrifft. Bei Stieleiche (Abb. 2) sind die westdeutschen und süddeutschen Herkünfte rascherwüchsig. Aber Drehna und Hannover stellen Ausnahmen dar. Alle anderen nördlichen Herkünfte zeigen langsames Wachstum.

Ganz erhebliche Rangänderungen treten während der ersten 10 Jahre auf, und die Höhen der ersten Jahre sind mit den Höhen im Alter 40 negativ korreliert. Erst nach dem Alter 10 stabilisieren sich die Korrelationen (Abb. 5). Das Eichelgewicht beeinflußt das Wachstum über die ersten 10 Jahre hinaus, wie wir von früheren Untersuchungen wissen.

Durchmesser und Volumen im Alter 40 zeigen in ihren Korrelationen mit den Höhen in unterschiedlichen Altern ähnliche Trends wie die Höhe im Alter 40 mit den früheren Höhen. Die ersten positiven Korrelationen tauchen im Alter 9 auf.

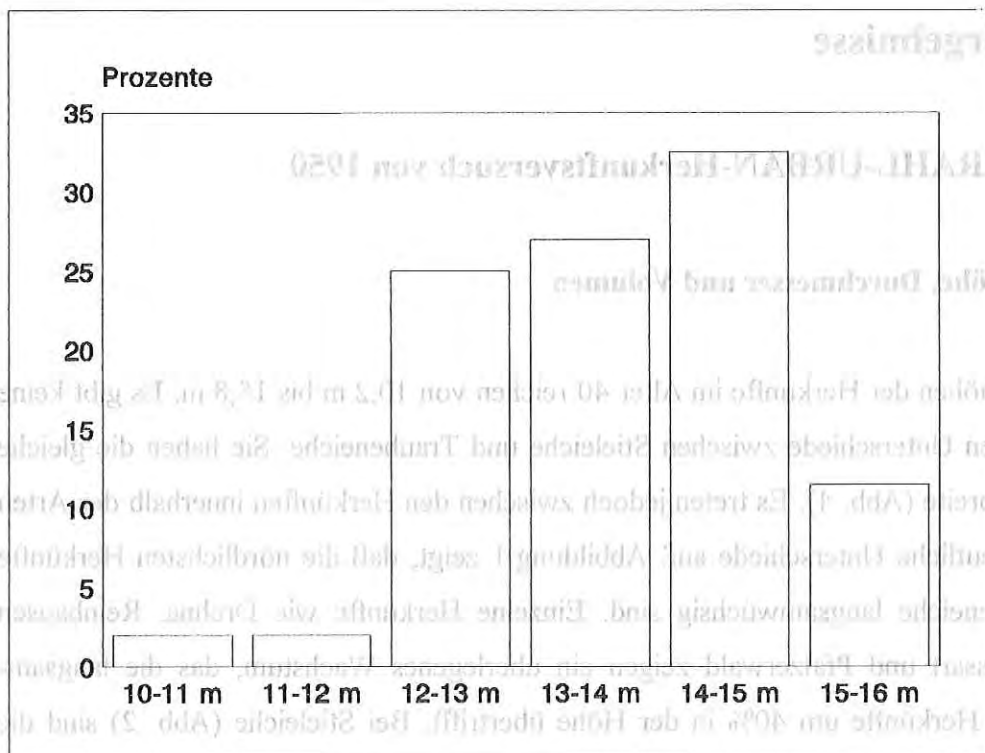


Abb. 4a: Traubeneichen-Herkunftsversuch KRAHL-URBAN: Höhen 1989.  
 KRAHL-URBAN's provenance test for sessile oak: heights in 1989.

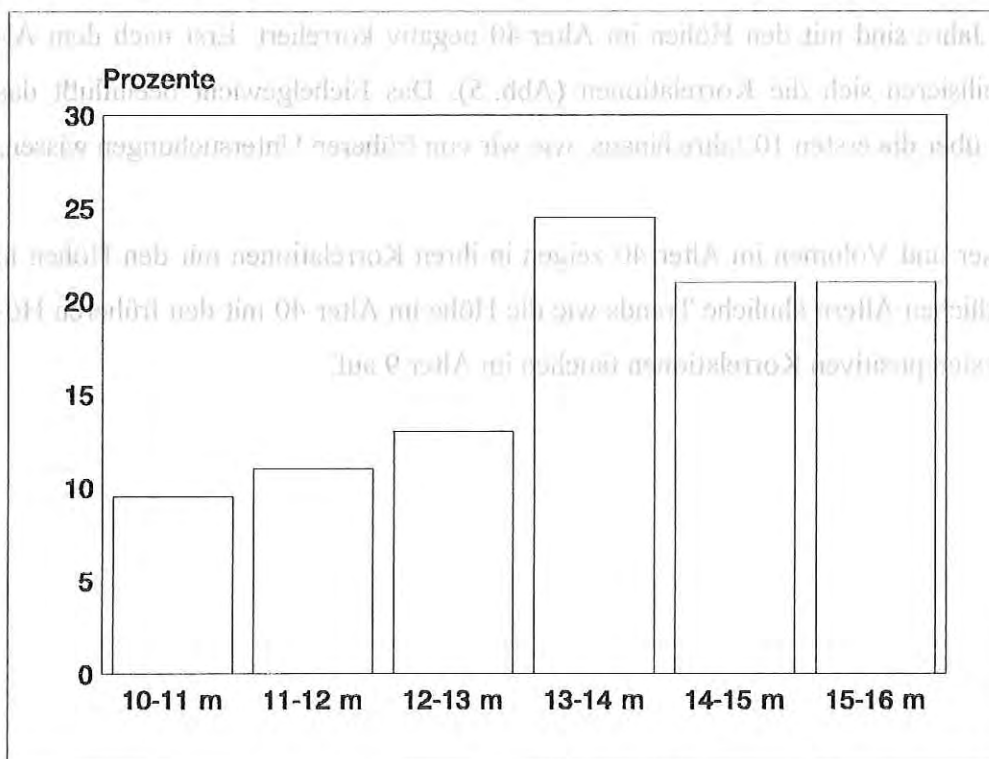


Abb. 4b: Stieleichen-Herkunftsversuch KRAHL-URBAN: Höhen 1989.  
 KRAHL-URBAN's provenance test for pedunculate oak: heights in 1989.



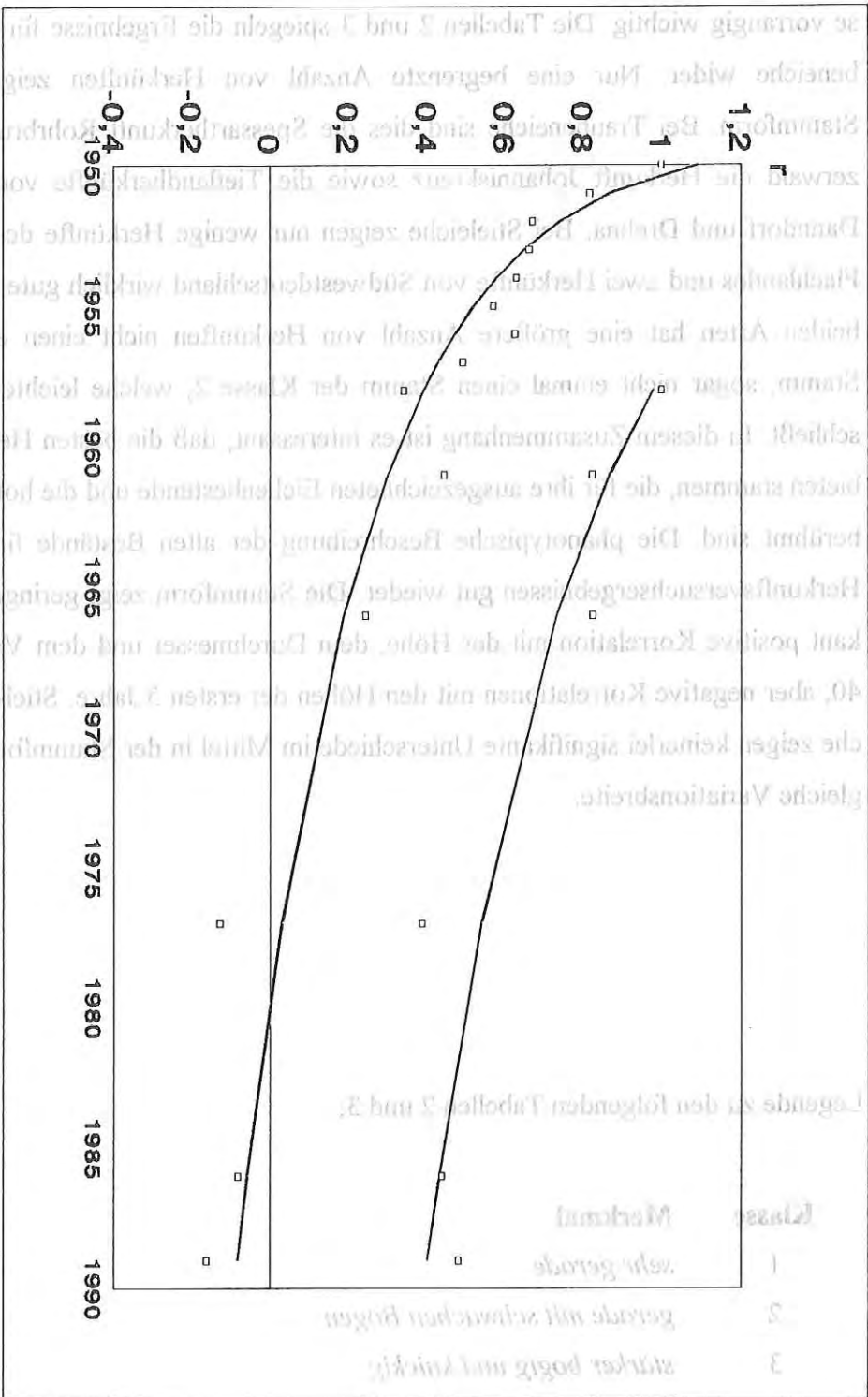


Abb 5: Herkunftsversuch KRAHL-URBAN: Entwicklung der Korrelationskoeffizienten für Höhe über die Zeit. KRAHL-URBAN's provenance test: development of the correlation coefficients for height as a function of time.

### 3.1.2 Stammform

Qualität hat bei Eiche besondere Bedeutung. Die Stammform ist deswegen für die Auslese vorrangig wichtig. Die Tabellen 2 und 3 spiegeln die Ergebnisse für Stiel- und Traubeneiche wider. Nur eine begrenzte Anzahl von Herkünften zeigt hervorragende Stammform. Bei Traubeneiche sind dies die Spessartherkunft Rohrbrunn und im Pfälzerwald die Herkunft Johanniskreuz sowie die Tieflandherkünfte von Lüss, Gifhorn, Danndorf und Drehna. Bei Stieleiche zeigen nur wenige Herkünfte des Norddeutschen Flachlandes und zwei Herkünfte von Südwestdeutschland wirklich gute Stammform. Bei beiden Arten hat eine größere Anzahl von Herkünften nicht einen einzigen geraden Stamm, sogar nicht einmal einen Stamm der Klasse 2, welche leichte Bögen mit einschließt. In diesem Zusammenhang ist es interessant, daß die besten Herkünfte von Gebieten stammen, die für ihre ausgezeichneten Eichenbestände und die hohen Eichenpreise berühmt sind. Die phänotypische Beschreibung der alten Bestände findet sich in den Herkunftsversuchsergebnissen gut wieder. Die Stammform zeigt geringe, jedoch signifikant positive Korrelation mit der Höhe, dem Durchmesser und dem Volumen im Alter 40, aber negative Korrelationen mit den Höhen der ersten 5 Jahre. Stiel- und Traubeneiche zeigen keinerlei signifikante Unterschiede im Mittel in der Stammform und exakt die gleiche Variationsbreite.

Legende zu den folgenden Tabellen 2 und 3:

<b>Klasse</b>	<b>Merkmal</b>
1	<i>sehr gerade</i>
2	<i>gerade mit schwachen Bögen</i>
3	<i>stärker bogig und knickig</i>
4	<i>starke Rinde und Bögen (krumm)</i>
5	<i>sehr krumm</i>

Tab. 2: KRAHL-URBAN Herkunftsversuch *Quercus petraea*: Stammform.

KRAHL-URBAN's provenance test *Quercus petraea*: Stem form.

Nr.	N a m e	Prozent Bäume je Klasse					
		1	2	3	4	5	
86	Rohrbrunn	IV/3	29	38	28	5	0
15	Lüss	108d	29	28	20	24	0
91	Johanniskreuz	X/26	21	22	43	7	7
87	Rohrbrunn	VII/15	20	10	50	20	0
32	Gifhorn	121a	14	32	29	25	0
31	Gifhorn	112b	14	22	43	14	7
88	Rohrbrunn	VII/17	10	40	30	20	0
89	Rohrbrunn	IV/198	10	20	50	20	0
74	Drehna	52	10	10	40	40	0
16	Lüss	128b	9	34	43	14	0
92	Johanniskreuz	X/5d	9	18	45	18	10
63	Helmstedt	88a	9	18	36	27	10
90	Johanniskreuz	VI/4a	9	44	20	16	12
2	Friedrichsruh	284c E	8	31	31	22	8
93	Johanniskreuz	II/3a	8	29	40	20	4
18	Lüss	170c	7	36	36	21	0
82	Lohr West	III	7	33	43	17	0
	Rohmeder/Rohr	E	7	33	33	27	0
19	Lüss	117a	6	13	44	31	6
17	Lüss	137c	5	32	42	21	0
83	Lohr West	VI	4	24	40	28	4
1	Ritterau	44/45	4	21	36	21	18
37	Ütze	54c	3	17	29	41	11
45	Ütze	58	9	0	41	32	18
43	Ütze	58	0	36	50	14	0
40	Ütze	57b	0	29	39	33	0
5	Rotenburg	47c	0	29	50	17	8
35	Danndorf	75a1	0	21	27	33	19
80	Salmünster		0	20	43	30	7
84	Helmstedt	119c1	0	20	40	30	10
102	Vorderer Wienerwald	21	0	20	20	40	20
77	Reinhausen		0	20	20	30	30
20	Freienwalde	10b	0	18	35	29	18
510	Hann. Münden		0	13	31	31	25
99	Metzingen	VII/7	0	13	20	40	27
511	Hann. Münden		0	12	30	24	34
58	Hann. Münden		0	11	46	21	22
85	Zell/Mosel		0	10	30	40	20
69	Boffzen	58b2	0	10	30	30	30
60	Stainkrug		0	10	20	40	30
71	Boffzen	80a	0	10	20	40	30
95	Güglingen	IV/2	0	10	20	20	50
107	Lörrach	I/1 E	0	10	10	50	20
54	Hann. Münden		0	10	10	20	60
55	Hann. Münden		0	10	0	20	70
512	Hann. Münden		0	9	30	13	43
70	Boffzen	77a	0	8	25	58	9
51	Hann. Münden		0	8	15	31	46
68	Seelzerthurm		0	7	53	20	20
66	Liebenburg		0	7	50	21	22
44	Ütze	58	0	5	50	30	15
56	Hann. Münden		0	4	32	40	24
53	Hann. Münden		0	3	27	48	22
72	Boffzen	82f2	0	0	50	30	20
51	Helmstedt	32a	0	0	40	40	20
47	Ütze	78b	0	0	35	53	12
46	Ütze	55	0	0	31	46	23
62	Helmstedt	64b	0	0	30	40	30
98	Bühl		0	0	30	40	30
57	Hann. Münden		0	0	25	42	33
103	Stadt Wien	Abt. 3+4	0	0	20	50	30
52	Hann. Münden		0	0	13	50	37
53	Hann. Münden		0	0	10	70	20
84	Rüdesheim		0	0	10	60	30
105	Badenweiler		0	0	7	47	46
<b>Klassenanteil (%)</b>			<b>4</b>	<b>15</b>	<b>32</b>	<b>31</b>	<b>18</b>

Tab. 3: KRAHL-URBAN Herkunftsversuch *Quercus robur*: Stammform.

KRAHL-URBAN's provenance test *Quercus robur*: stem form.

Nr.	N a m e	Prozent Bäume je Klasse					
		1	2	3	4	5	
3	Harsfeld	262b	20	20	10	30	20
30	Gifhorn	35c	14	29	21	21	15
39	Ütze	54c	12	19	44	19	6
38	Ütze	54c	10	30	50	10	0
54	Haste	21a	9	19	45	27	0
57	Haste	135d	8	17	25	25	25
33	Gifhorn	127a	5	26	30	26	13
9	Rotenburg	138a	5	25	30	25	15
11	Rotenburg	197b	5	20	30	35	10
36	Danndorf	78a	5	11	39	39	6
10	Rotenburg	189d	4	5	39	39	13
8	Rotenburg	137a	3	18	39	32	8
13	Ellerndorf E	157c	2	23	26	36	13
100	Metzingen	V/1	0	27	33	33	7
29	Gifhorn	26a	0	25	33	42	0
34	Danndorf E	75a1	0	21	57	14	8
53	Hannover		0	20	50	20	10
28	Gifhorn	23b	0	20	30	30	20
97	Rastatt		0	20	20	20	40
23	Celle	167a	0	18	47	24	11
42	Ütze	57b	0	18	38	44	0
26	Gifhorn E	14a	0	18	27	36	19
76	Nordkirchen		0	17	42	25	16
6	Rotenburg	60a	0	17	33	42	8
7	Rotenburg	136b	0	15	19	44	22
4	Rotenburg	45a	0	14	29	21	36
12	Rotenburg	205b	0	12	18	35	35
65	Müllrose		0	11	44	33	12
56	Haste	96a	0	10	40	40	10
108	Lörrach E	1/1	0	10	40	40	10
81	Wolfgang		0	10	40	30	20
27	Gifhorn	20b	0	10	36	36	18
59	Haste	139a	0	10	27	36	27
41	Ütze	57b	0	9	64	27	0
25	Gifhorn E	12c	0	9	55	27	9
67	Lutter		0	9	36	45	10
96	Sternenfels E		0	9	36	10	45
55	Haste	47	0	8	42	42	8
49	Ütze	94	0	8	38	38	16
94	Kandel-Süd		0	8	17	25	50
22	Freienwalde	172	0	8	15	46	31
21	Freienwalde	166	0	7	36	36	21
14	Havelberg	13a1	0	5	29	43	24
51	Ütze	136	0	0	82	18	0
75	Drehna	83	0	0	67	22	11
52	Ütze	138	0	0	59	33	8
50	Ütze	130	0	0	50	30	20
24	Gifhorn E	10	0	0	46	36	18
58	Haste	137b	0	0	40	40	20
48	Ütze	78b	0	0	18	55	27
106	Badenweiler/Frh.		0	0	10	70	20
110	Teisendorf		0	0	10	20	70
<b>Klassenanteil (%)</b>			<b>2</b>	<b>13</b>	<b>36</b>	<b>32</b>	<b>17</b>

### 3.1.3 Austrieb

Im Mittel gibt es im Austrieb keinen Unterschied zwischen Stieleiche und Traubeneiche. Bei beiden Arten sind jedoch die Herkunftsunterschiede im Austrieb beträchtlich. Die Herkünfte mit guter Stammform zeigen einen etwas späteren Austrieb, das gleiche gilt aber auch für Herkünfte mit sehr schlechter Stammform. Über alle Herkünfte beider Arten zeigen die Austriebsbonituren positive und meist hochsignifikante Korrelationen (Tab. 4). Der Austrieb der Jahre 1956, 1957, 1959 und 1962 ist jeweils signifikant mit der Endhöhe korreliert, wobei frühaustreibende Herkünfte eine größere Höhe erreichen. Alle Austriebsbonituren der früheren Jahre sind mit der Endhöhe negativ korreliert. Es gibt keinen klaren geographischen Trend im Austrieb. Selbst Herkünfte des gleichen Forstamtes zeigen ganz erhebliche Unterschiede im Austriebsverhalten mit ökotypischer Variation.

Die Stammform ist teilweise positiv, teilweise negativ mit dem Austrieb korreliert. Die letzten Austriebsbonituren sind eher positiv mit der Stammform korreliert, die früheren eher negativ oder nicht signifikant.

Tab. 4: Korrelationsmatrix für Austrieb aller *Quercus petraea*- und *Quercus robur*-Bestände (Datum: Datum der Bonitur).  
Correlation matrix with regard to the flushing of all *Quercus petraea* and *Quercus robur* stands studied (Datum: date of boniture).

Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1 11.05.51	1,0000																			
2 19.05.51	0,5984	1,0000																		
3 27.05.51	0,4040	0,6078	1,0000																	
4 22.04.53	0,6021	0,4953	0,3692	1,0000																
5 28.04.53	0,5368	0,5429	0,4170	0,8367	1,0000															
6 04.05.53	0,5146	0,5327	0,3975	0,6632	0,8254	1,0000														
7 08.05.53	0,3951	0,4041	0,2305	0,5326	0,4897	0,5350	1,0000													
8 10.05.54	0,5483	0,4936	0,3514	0,7350	0,7366	0,7421	0,5274	1,0000												
9 14.05.54	0,5177	0,4905	0,3376	0,7905	0,8853	0,7773	0,4753	0,7943	1,0000											
10 20.05.54	0,5294	0,4557	0,4431	0,6219	0,6314	0,7133	0,5005	0,7768	0,7263	1,0000										
11 06.05.55	0,4390	0,8303	0,3063	0,3625	0,4330	0,4455	0,3084	0,3902	0,3689	0,4134	1,0000									
12 14.05.55	0,5026	0,5715	0,4966	0,5686	0,6052	0,5247	0,4354	0,5036	0,6060	0,6119	0,6425	1,0000								
13 24.05.55	0,5296	0,5524	0,3686	0,6792	0,6503	0,6542	0,5387	0,6772	0,6376	0,6580	0,3174	0,6485	1,0000							
14 11.05.56	0,4299	0,2736	0,0083	0,6345	0,4307	0,3448	0,5399	0,4915	0,4018	0,2800	0,2293	0,3361	0,5614	1,0000						
15 18.05.56	0,4485	0,3626	0,2811	0,6637	0,4941	0,3661	0,4819	0,4536	0,3761	0,4019	0,2096	0,2875	0,5473	0,6339	1,0000					
16 02.05.57	0,4279	0,2804	0,0812	0,5774	0,5034	0,4103	0,5796	0,5070	0,3969	0,2980	0,3497	0,2709	0,4725	0,7181	0,7203	1,0000				
17 09.05.57	0,5589	0,2218	0,0692	0,6135	0,4647	0,3343	0,3724	0,4517	0,3966	0,3525	0,2466	0,1580	0,4098	0,6221	0,8247	0,7507	1,0000			
18 22.04.59	0,5211	0,3072	0,1599	0,5967	0,4013	0,3046	0,4957	0,4459	0,3591	0,3743	0,3412	0,2812	0,4124	0,6886	0,7979	0,7607	0,8024	1,0000		
19 18.05.62	0,5203	0,2963	0,1486	0,6063	0,4309	0,3599	0,5062	0,5212	0,3571	0,3839	0,2591	0,2429	0,5039	0,7428	0,8362	0,7541	0,7847	0,8066	1,0000	
20 30.05.62	0,5079	0,3244	0,1840	0,6204	0,4278	0,3271	0,5918	0,4921	0,3986	0,3813	0,2160	0,3566	0,5323	0,7640	0,7248	0,7039	0,6303	0,6980	0,8696	1,0000

### 3.1.4 Vegetationsabschluß

Die Unterschiede im Vegetationsabschluß sind über kurze Distanz zum Teil sehr drastisch. Die Geschwindigkeit im Abschluß zwischen den Herkunftsn ist unterschiedlich, ebenso wie der Anteil frühabschließender Individuen in den unterschiedlichen Herkunftsn verschieden ist. Herkunftsn von Wien in Österreich schließen früher ab, ebenso einige Herkunftsn von Südwestdeutschland. Die Korrelationen zwischen den verschiedenen Abschlußdaten sind bei weitem nicht so konsistent wie die für den Austrieb (Tab. 5). Sogar signifikant negative Korrelationen treten auf. In den meisten Fällen zeigen die später im Jahr erhobenen Boniturwerte engere Korrelationen als die früher erhobenen. Dies ist jedoch zwischen den Einzeljahren auch nicht ganz eindeutig. Wahrscheinlich spielt die Tatsache ebenfalls eine Rolle, daß der Austrieb sehr viel einfacher zu erheben ist. Im allgemeinen sind die spätabschließenden Herkunftsn im Alter 40 höher. Die Korrelationen sind teilweise hochsignifikant. Das Gegenteil trifft für die Stammform zu. Spätabschließende Herkunftsn haben eine schlechtere Stammform, dies ist jedoch nur bei 2 von 16 Korrelationen signifikant.

	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990									
1971																													
1972																													
1973																													
1974																													
1975																													
1976																													
1977																													
1978																													
1979																													
1980																													
1981																													
1982																													
1983																													
1984																													
1985																													
1986																													
1987																													
1988																													
1989																													
1990																													

Tab. 5: Korrelationsmatrix für Vegetationsabschluß aller *Quercus petraea*- und *Quercus robur*-Bestände (Datum: Datum der Bonitur).  
Correlation matrix with regard to bud set of all *Quercus petraea* and *Quercus robur* stands studied (Datum: date of boniture).

Datum	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1 17.09.52	1,0000															
2 24.09.52	0,0739	1,0000														
3 01.10.52	0,0259	0,3533	1,0000													
4 08.10.52	-0,0679	0,1957	0,6718	1,0000												
5 18.09.53	0,0004	0,3522	-0,1282	-0,3204	1,0000											
6 24.09.53	-0,1228	0,3317	0,2774	0,1860	0,3902	1,0000										
7 01.10.53	-0,1242	0,2862	0,4525	0,2882	0,2339	0,6756	1,0000									
8 08.10.53	-0,0376	0,3234	0,4258	0,2492	0,4028	0,6068	0,8017	1,0000								
9 16.10.53	0,0794	0,1387	0,4021	0,3044	-0,1056	0,1076	0,4557	0,5525	1,0000							
10 06.10.54	-0,0291	0,2796	0,0303	-0,2251	0,6947	0,3596	0,3245	0,4855	0,1348	1,0000						
11 13.10.54	-0,1056	0,1154	-0,0493	-0,1764	0,6468	0,3099	0,2952	0,5486	0,1358	0,7333	1,0000					
12 20.10.54	-0,2464	0,0572	0,1591	-0,0195	0,3037	0,1213	0,2683	0,4964	0,4133	0,5258	0,7134	1,0000				
13 12.10.56	-0,2751	0,2379	0,0602	0,0064	0,5355	0,2367	0,1781	0,3942	-0,0282	0,6275	0,7739	0,6211	1,0000			
14 18.10.56	-0,1898	0,1629	0,3021	0,3361	-0,0444	0,0314	0,2138	0,2857	0,4031	0,3134	0,2239	0,5380	0,4174	1,0000		
15 29.09.58	-0,1019	0,2327	0,0725	0,1172	-0,0645	0,0573	0,1744	0,0121	0,0406	-0,0825	-0,2360	-0,1968	-0,1386	0,0775	1,0000	
16 07.10.58	-0,2568	0,2820	0,1556	0,1269	0,1852	0,3662	0,4379	0,3509	0,0997	0,3198	0,3076	0,2251	0,3978	0,3676	0,5337	1,0000



## 3.2 Französisch-deutscher Traubeneichenherkunftsversuch

Die Gesamtergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefaßt.

### 3.2.1 Überleben

Die Herkunftsunterschiede waren hochsignifikant, aber Herkünfte erklären nur 10% der Gesamtvariation, Standortunterschiede hingegen 75%. Es existieren keine eindeutigen Unterschiede zwischen den deutschen und den französischen Herkünften.

Die durchschnittlichen Ausfälle reichen von 27% (Seelzerthurm) bis zu 48% (Pfälzerwald) (Abb. 6).

Die Rangfolge der Ausfälle ist auf den meisten Standorten ähnlich. Nur Grünenplan und Osterholz zeigen keine signifikanten Korrelationen mit den anderen Prüfstandorten im Überleben. Hohe Ausfälle zeigen die Herkünfte Pfälzerwald, Kommunalforst Reichshoffen, Staatswald Dreuille und Berel.

### 3.2.2 Höhenwachstum

Die Mittelhöhe im Alter 10 variiert auf den verschiedenen Standorten zwischen 2,42 m (Oerrel) bis 3,89 m (Rotenburg). Die durchschnittliche Mittelhöhe der Herkünfte im Alter 10 reicht von 3,27 m (Samenplantage Berkel) bis 2,53 m (Pfälzerwald). Es gibt keine signifikanten Unterschiede zwischen französischen und deutschen Herkünften. Herkunftsunterschiede sind jedoch hochsignifikant und erklären 16% der Gesamtvariation, Standorte hingegen 60%, der Rest entfällt auf Interaktion. Die stabilsten Herkünfte sind die Herkünfte Darney und Spessart mit überdurchschnittlichem Wachstum. Die unterschiedlichen Stabilitätsparameter zeigen nur geringe Abhängigkeit voneinander.

Das Wachstum der unterschiedlichen Herkünfte auf den verschiedenen Standorten ist ziemlich variabel. Ein guter Prüfstandort mit positiven Korrelationen zu allen anderen Prüfstandorten ist die Fläche in Liebenburg. Oerrel und Hasbruch zeigen andererseits die unbeständigsten Ergebnisse mit unterschiedlichen Korrelationen zu den anderen Standorten, zum Teil sogar mit negative Korrelationen.

Tab. 6: Französisch-deutscher *Quercus petraea*-Herkunftsversuch 1983: Merkmalsmittelwerte der Herkünfte im Alter 10.  
French-German *Quercus petraea* provenance test 1983: provenance mean performance at the age of 10.

Nr.	H e r k u n f t	mittleres Ausfallprozent %	Rang	mittlere Höhe [m] [m]	Rang	mittlere Stamm- form Note	Rang	Rangsumme Ausfall + Höhe + 2x Form	Gesamt- rang
1	F - Secteur Ligerien, Forêt Domaniale de Boulogne	34,4	11	3,06	7	2,90	16	50	14
2	F - Charente Poitou, Forêt Domaine Saint Sauvart	38,0	12	2,80	11	2,78	13	49	13
3	F - Picardie, Forêt Domaniale Hez Froidmont	33,6	8	2,98	9	2,89	15	47	12
4	F - Sud bassin parisien, Forêt Domaniale Fontainebleau	33,0	7	2,97	10	2,73	12	41	10
5	F - Centre-sud, Forêt Domaniale Abbayes	31,7	6	3,16	3	2,61	4	17	3
6	F - Allier, Forêt Domaniale Dreuille	40,4	14	3,00	8	2,87	14	50	14
7	F - Nord-est gresoux, Forêt Communale Reichshoffen	34,1	9	2,78	12	2,93	17	55	15
8	F - Est bassin parisien, Forêt Domaniale de Der	31,7	6	3,08	5	2,70	10	31	8
9	F - Morvan nivernais, Forêt Domaniale des Bretranges	30,6	5	3,07	6	2,62	5	21	5
10	F - Nord-est limons et argiles, Forêt Domaniale de Darney	29,5	2	3,15	4	2,69	9	24	6
11	F - Ouest bassin parisien, Forêt Domaniale de Reno Valdieu	30,0	3	3,22	2	2,65	7	19	4
12	BRD - 81 805 - Göhrde	34,3	10	3,06	7	2,43	2	21	5
13	BRD - 81 807 - Berel	40,2	13	2,78	12	2,63	6	37	9
14	BRD - 81 811 - Spessart-Rotenbruch	30,3	4	3,15	4	2,51	3	14	2
15	BRD - 81 807 - Seelzethurnm	27,4	1	3,22	2	2,71	11	25	7
16	BRD - 81 809 - Pfälzerwald	48,5	15	2,53	13	2,68	8	44	11
17	BRD - Samenplantage Berkel-Diekholzen	30,3	4	3,27	1	2,39	1	7	1

Auf diesen Standorten haben Spätfröste zweimal erhebliche Schäden verursacht, was nachhaltige Auswirkungen auf das Wachstum zeigt.

### 3.2.3 Stammform

Die durchschnittliche Stammform reicht von 2,21 (gut) in Grünenplan zu 3,65 (schlecht) in Syke. Die Herkünfte mit der besten Stammform sind die Samenplantage Berkel (2,39), Göhrde (2,43) und Spessart (2,51). Die sechs schlechtesten Herkünfte stammen aus Frankreich (Reichshoffen, Boulogne, Hez Froidmont, Dreuille, Saint Sauvant, Fontainebleau) mit durchschnittlichen Stammformen zwischen 2,93 und 2,73. Herkunftsunterschiede sind hochsignifikant und erklären 10% der Variation, Standortunterschiede 82%. Die Interaktion ist gering, die Korrelationen zwischen allen Standorten sind positiv und in der Regel über  $r = 0,4$  mit Ausnahme des Standortes Oerrel. Dieser zeigt mit den anderen Standorten nur Korrelationen zwischen 0,25 und 0,44.

Die Herkünfte Spessart, Göhrde, Bretranges und Berkel haben die stabilste Stammform über alle Standorte.

## 4. Gesamtergebnisse

Es gibt keine Unterschiede im Überleben und Wachstum zwischen französischen und deutschen Herkünften. Unter norddeutschen Anbaubedingungen zeigen die deutschen Herkünfte jedoch eine bessere Stammform als die französischen Herkünfte. Der Anteil der geraden Stämme kann bei einzelnen französischen Herkünften unter 10% betragen (4% Reichshoffen, 9% Saint Sauvant) und beträgt bei den deutschen Herkünften zwischen 17% und 31% (Berkel 17,5%, Seelzerthurm 20%, Spessart 26,5%, Pfälzerwald 28,5%, Samenplantage Berkel 30%, Göhrde 31%). Eine Rangsumme der unterschiedlichen Merkmale wird in Abbildung 7 gegeben, wobei die Form das doppelte Gewicht erhielt. Die Samenplantage in Berkel nimmt die Spitzenposition ein, gefolgt von Spessart, Abbayes, Reno Valdieu, Göhrde und Bretranges.

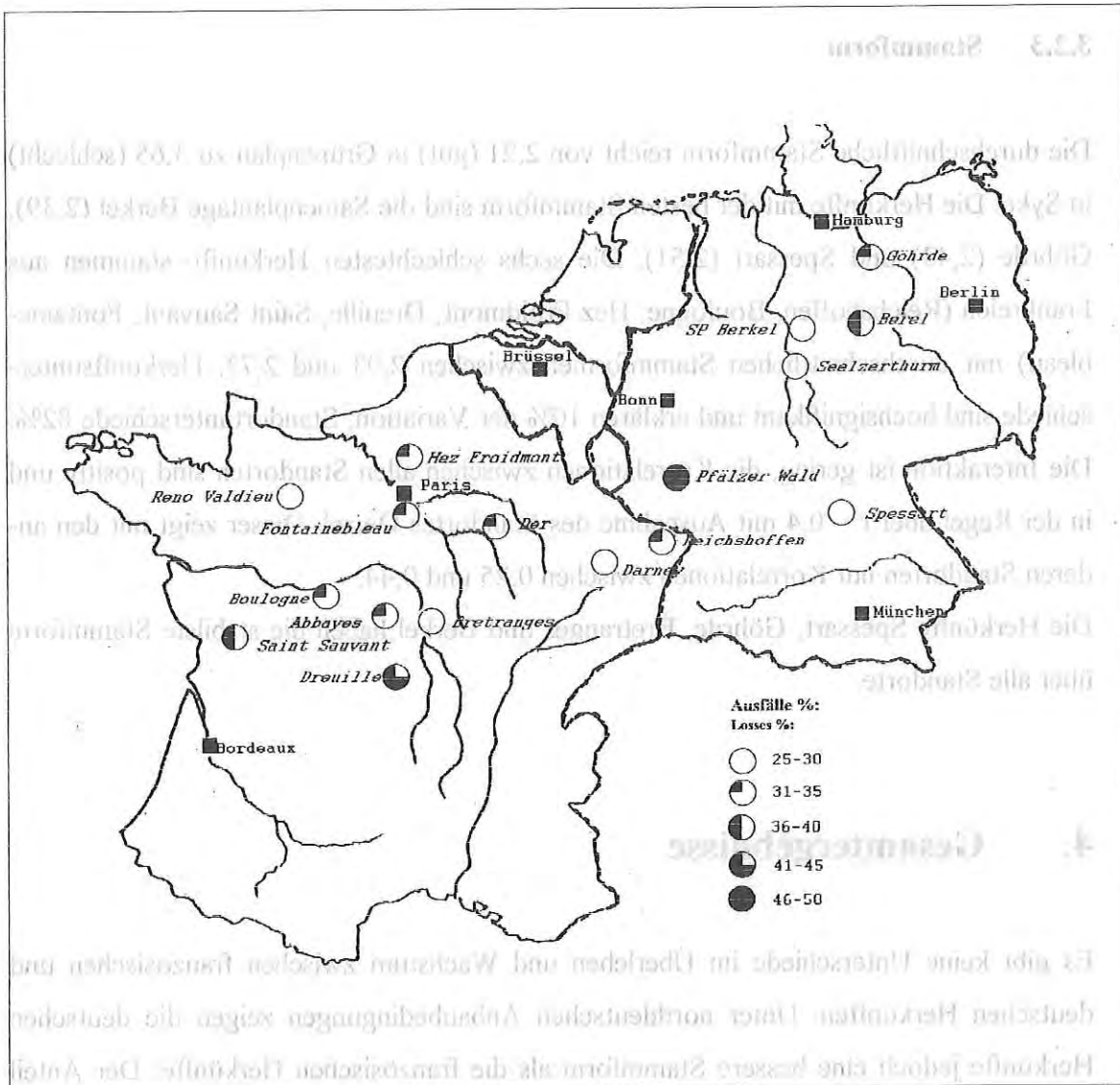


Abb. 6: Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch 1983: Ausfälle (%).

French-German provenance test for sessile oak 1983: percentage of losses.

Frühe Auswertungen von Fichtenherkunftsversuchen von dem Alter 8 bis 10 sind für

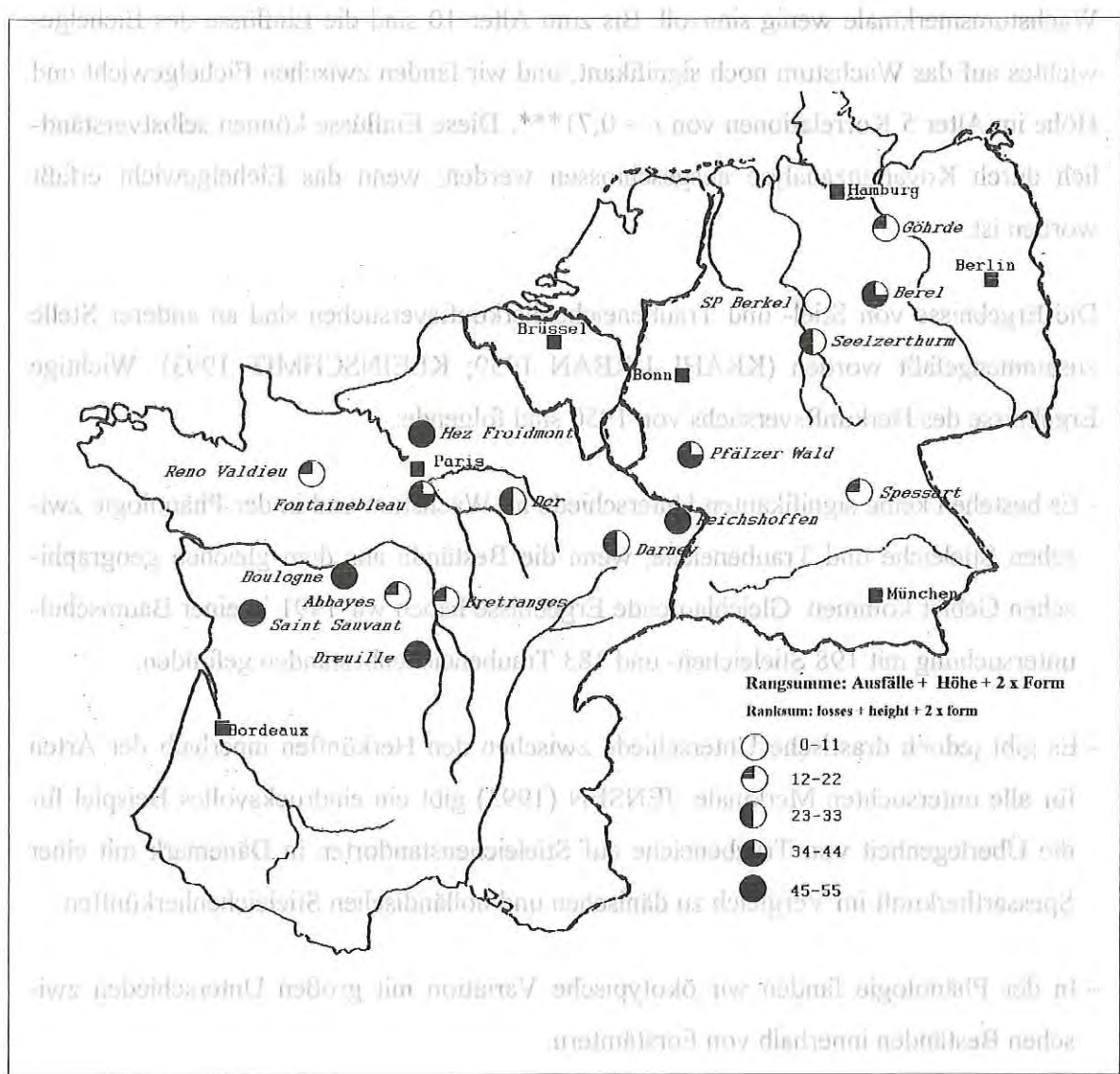


Abb. 7: Französisch-deutscher Traubeneichen-Herkunftsversuch 1983:  
 Rangsumme Ausfälle + Höhe + 2 x Form.

French-German provenance test for sessile oak 1983: rank sum for losses + height + 2 x form.

## 5. Diskussion

Frühe Auswertungen von Eichenherkunftsversuchen vor dem Alter 8 bis 10 sind für Wachstumsmerkmale wenig sinnvoll. Bis zum Alter 10 sind die Einflüsse des Eichelgewichtes auf das Wachstum noch signifikant, und wir fanden zwischen Eichelgewicht und Höhe im Alter 5 Korrelationen von  $r = 0,71^{***}$ . Diese Einflüsse können selbstverständlich durch Kovarianzanalyse ausgeschlossen werden, wenn das Eichelgewicht erfaßt worden ist.

Die Ergebnisse von Stiel- und Traubeneichenherkunftsversuchen sind an anderer Stelle zusammengefaßt worden (KRAHL-URBAN 1959; KLEINSCHMIT 1993). Wichtige Ergebnisse des Herkunftsversuchs von 1950 sind folgende:

- Es bestehen keine signifikanten Unterschiede im Wachstum und in der Phänologie zwischen Stieleiche und Traubeneiche, wenn die Bestände aus dem gleichen geographischen Gebiet kommen. Gleichlautende Ergebnisse haben wir 1991 in einer Baumschuluntersuchung mit 198 Stieleichen- und 183 Traubeneichenbeständen gefunden.
- Es gibt jedoch drastische Unterschiede zwischen den Herkünften innerhalb der Arten für alle untersuchten Merkmale. JENSEN (1993) gibt ein eindrucksvolles Beispiel für die Überlegenheit von Traubeneiche auf Stieleichenstandorten in Dänemark mit einer Spessartherkunft im Vergleich zu dänischen und holländischen Stieleichenherkünften.
- In der Phänologie fanden wir ökotypische Variation mit großen Unterschieden zwischen Beständen innerhalb von Forstämtern.
- Wachstum und Form zeigen ebenfalls ökotypische Variation mit etwas groberem Variationsmuster.
- Es war überraschend, eine vergleichsweise geringe Beständigkeit für den Vegetationsabschluß zwischen den Herkünften über die Jahre zu finden, wobei sogar negative Korrelationen auftraten. Die jährlichen Klimaunterschiede, zum Beispiel Frühfröste, scheinen auf dem Vegetationsabschluß drastischere Auswirkungen als auf den Austrieb zu haben. Die schwierigere Erfassung des Abschlusses im Vergleich zum Austrieb kann auch mitspielen. Verschiebungen beim Austrieb und Abschluß zwischen frühen und

späteren Aufnahmeverfahren kann es auch durch natürliche Auslese (Absterben durch Frühfrost und Spätfrost) geben.

- Die Stammform zeigt extreme Unterschiede zwischen den Herkünften. Einige Herkünfte sind so schlecht in der Stammform, so daß selbst intensive waldbauliche Maßnahmen nicht zu geraden Stämmen führen können. Herkunftsgebiete, die bekannt für ihre hervorragenden Traubeneichenbestände sind wie Gohrde, Lüß, Pfälzerwald und Spessart, sind in den Herkunftsversuchen ebenfalls überlegen.
- Im Alter 10 zeigen einige französische Herkünfte unter norddeutschen Bedingungen gutes Wachstum und befriedigende Form. Die Samenplantage in Berkel ragt in Überleben, Wachstum und Stammform heraus. Die besten deutschen Bestände kommen vom Spessart und von der Gohrde.
- Im Austrieb sind die französischen Herkünfte etwas früher und im Vegetationsabschluß später als die deutschen Herkünfte. Es gibt aber einige Ausnahmen von dieser Regel.
- Ein Vergleich mit dem KRAHL-URBAN-Herkunftsversuch für deutsche Bestände zeigt eine gute Übereinstimmung mit Ausnahme des Pfälzerwaldes, für den das Wachstum hier ziemlich gering ist. Die Pflanzen stammen aus den Forstämtern Elmstein-Süd und Hinterweidenthal. Sie mußten für die Verteilung mehrfach zwischengelagert werden, was die hohen Ausfälle und das schlechte Anfangswachstum erklärt. Das Alter der deutsch-französischen Versuche ist noch zu jung, um abschließende Empfehlungen zu geben.

## 6. Literatur

- JENSEN, J.S. (1993): Variation of growth in Danish provenance trials with oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl.). *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 203-207.
- KLEINSCHMIT, J. (1993): Interspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 166-185.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin, 288 S.

# Die Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung Baden-Württemberg 1992 - Erste Ergebnisse der Anzuchtphase -

Albrecht Franke

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)  
Abteilung Botanik und Standortkunde  
Arbeitsbereich Forstpflanzenzüchtung  
D-79100 Freiburg i. Br.

**Keywords:** Pedunculate oak, *Quercus robur*, progeny test,  
Baden-Württemberg, seed analysis, cultivation

## Summary

Title of the paper: Progeny test of pedunculate oak from Baden-Württemberg 1992 - First results of seedling measurements -.

During autumn 1992 acorns of *Quercus robur* L. were collected in several stands of Baden-Württemberg in order to start a progeny test. Results of a seed analysis and first results of seedling measurement are presented. Because of the early stage of the test it is not possible yet to suggest any provenances for silvicultural purposes.

**Schlüsselwörter:** Stieleiche, *Quercus robur* L., Nachkommenschaftsprüfung,  
Baden-Württemberg, Saatgutanalyse, Anzucht

## Zusammenfassung

Unter Ausnutzung der Mast 1992 wurde eine Nachkommenschaftsprüfung eingeleitet, um Kenntnisse über die Variation der Stieleichen- (*Quercus robur* L.) Vorkommen in Baden-Württemberg zu erhalten. Der Versuch umfaßt 23 Herkünfte (überwiegend aus Baden-Württemberg) einschließlich der amtlich vorgeschriebenen Standards. Es werden Ergebnisse der Saatgutanalyse sowie der ersten Aufnahmen in der Pflanzschule vorgestellt. Anbauempfehlungen sind in diesem frühen Stadium jedoch noch nicht möglich.



# 1. Einleitung

Es ist keine neue Erkenntnis, daß auf zu Vernässung neigenden Standorten, wie z.B. auf grau-marmorierten Lehmen im Wuchsgebiet „Südwestdeutsches Alpenvorland“ in Baden-Württemberg, Fichten-Bestände (*Picea abies* (L.) Karst.) besonders labil sind. Sturmwürfe sind hier keine Seltenheit. Folgerichtig bemüht sich die Landesforstverwaltung Baden-Württemberg bereits seit langem, derartige wechselfeuchte Standorte im Rahmen einer naturnahen Waldwirtschaft und eines Waldbaus auf standörtlicher Grundlage durch die Begründung von Stieleichen-Betriebszieltypen (*Quercus robur* L.) langfristig zu stabilisieren (vgl. WEIDENBACH 1991, MLR 1993).

Eine Bestandesbegründung aus Naturverjüngung, beispielsweise aus alten Stieleichen, die im Fichtenmeer eingesprengt den Sturm überlebt haben, dürfte nur in Ausnahmen möglich sein und gelingen. Künstliche Verjüngung aus Pflanzung, zunehmend auch mit Großpflanzen im Weitverband, stellt vielmehr das Regelverfahren dar. Das hierzu benötigte Pflanzgut wird von gewerblichen Forstbaumschulen angekauft. Unklar ist dabei, ob das gelieferte Vermehrungsgut für die betreffenden Standorte überhaupt geeignet ist. Mit Ausnahme der Herkunftsgebietsangabe auf dem Lieferschein liegen in der Regel keine Informationen vor.

Wie wenig hilfreich diese Angabe ist, wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, daß beispielsweise das derzeitige Stieleichen-Herkunftsgebiet 817 06 (Übriges Süddeutschland) von Passau im Osten bis kurz vor die Tore von Mannheim und Basel im Westen reicht. So variabel wie die Standortbedingungen in diesem riesigen Gebiet sind, so variabel dürften auch die verschiedenen Geno- und Phänotypen der Stieleichen sein. Vom Vorhandensein örtlich angepaßter Öko- oder Klimatypen ist auszugehen.

Nach SEBALD *et al.* (1993) kommt die Stieleiche in Baden-Württemberg in fast allen Landesteilen vor und ist regelmäßig anzutreffen. Sie nimmt ca. 3% der Gesamtwaldfläche ein. Lediglich in den Hochlagen des Nord- und Südschwarzwaldes wird sie sehr selten oder fehlt. Insgesamt reichen die Vorkommen von 100 m bei Mannheim bis 980 m auf der Schwäbischen Alb (SEBALD *et al.* 1993).

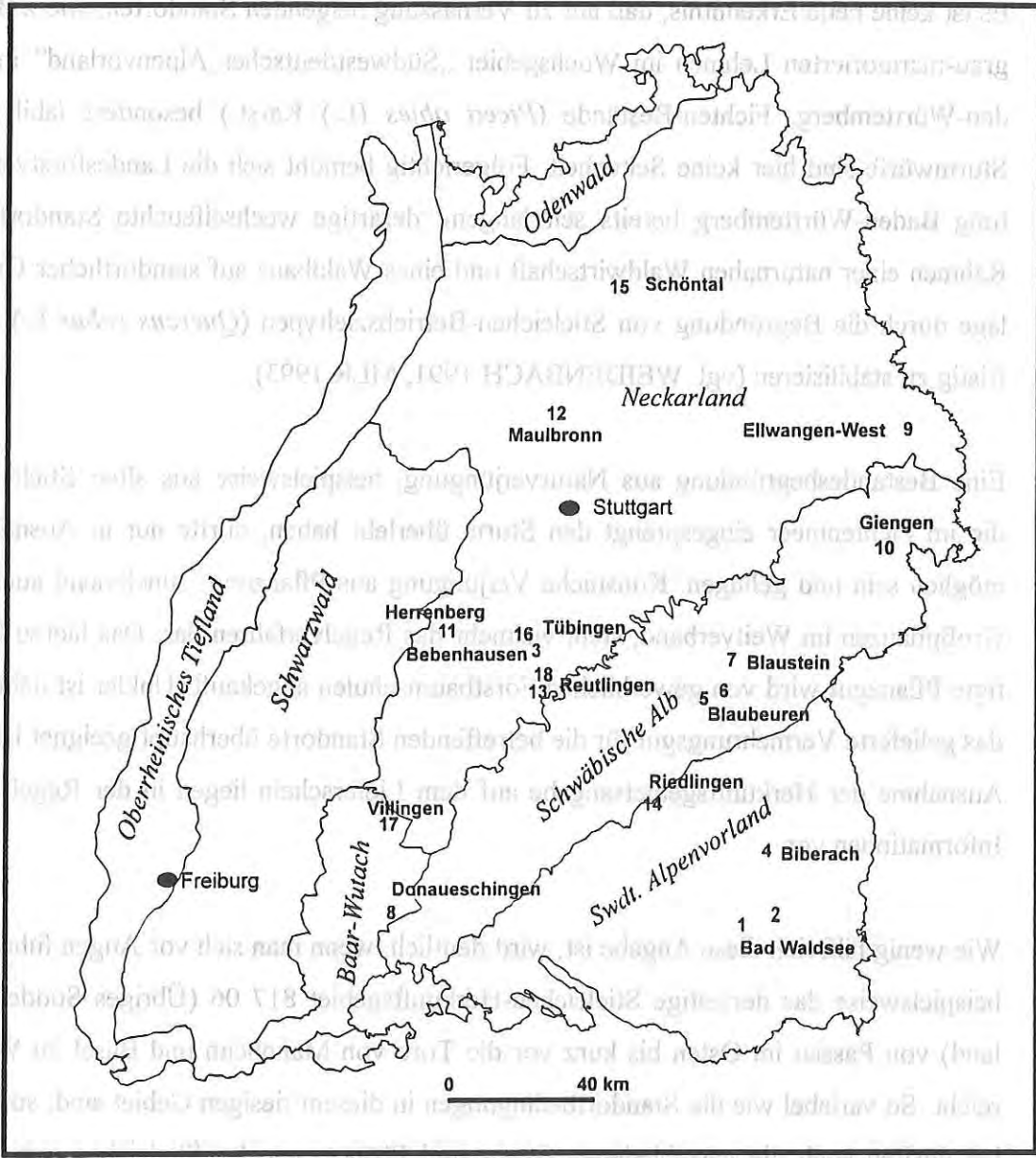


Abb. 1: Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung 1992: Beerntete Bestände.  
 Pedunculate oak progeny test 1992: Stands where acorns were harvested.

## 2. Zielsetzung

Unter Ausnutzung der guten Mast 1992 startete die FVA Baden-Württemberg eine Nachkommenschaftsprüfung, um Erkenntnisse über die genetische Variation und das Leistungsvermögen der Stieleichen-Vorkommen in Baden-Württemberg zu erhalten. Nach Abschluß der Prüfung sollen gegebenenfalls einzelne Bestände als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von geprüftem Vermehrungsgut amtlich zugelassen werden. Darüber hinaus werden Erkenntnisse erwartet, die von wesentlicher Bedeutung für die Erhaltung der genetischen Mannigfaltigkeit der Stieleichen-Vorkommen in Baden-Württemberg sind.

## 3. Untersuchungsmaterial und Methoden

In die Prüfung wurden vorzugsweise Bestände aus Lagen oberhalb 400 m ü. NN einbezogen (Abb. 1). Unterhalb 400 m ü. NN waren die Mastverhältnisse 1992 wenig befriedigend, so daß auf eine Beerntung verzichtet wurde. Neben vermutlich autochthonen Altbeständen wurden auch nachweislich künstlich begründete, qualitativ herausragende Bestände an der Saatguteinsammlung beteiligt. Die meisten der Erntebestände sind bereits als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von ausgewähltem Vermehrungsgut amtlich zugelassen.

Zu Vergleichszwecken wurden drei amtliche Standards, zwei niederländische Importherkünfte sowie eine Traubeneichen-Herkunft beschafft. Außerdem wurde ein bereits als „geprüft“ zugelassener Stieleichen-Bestand im Forstbezirk Reutlingen nochmals beerntet (vgl. Tab. 1).

Tab.1: Übersicht der beteiligten Herkünfte.

A survey on the involved provenances.

<b>Herkunft</b>	<b>Höhenlage (m ü. NN)</b>
01 Bad Waldsee II	500-520
02 Bad Waldsee V	400
03 Bebenhausen	400
04 Biberach	580-620
05 Blaubeuren VII (Asem)	710-730
06 Blaubeuren XVIII (Hohbuch)	710-760
07 Blaustein	600-700
08 Donaueschingen	660-690
09 Ellwangen	400-500
10 Giengen	500-600
11 Herrenberg	400-500
12 Maulbronn	240-255
13 Reutlingen V (Maienwald) <sup>1)</sup>	380
14 Riedlingen	580
15 Schöntal	300-400
16 Tübingen	430
17 Villingen	760
<b>Standards</b>	
18 Reutlingen VII (Schmeller)	350-360
19 Ebrach/Bayern	270
20 Farchau/Niedersachsen	< 300
<b>Sonstige</b>	
21 NL3/NL	0-100
22 Nuenen-02/NL A-Selection	0-100
23 Traubeneiche/Nagold	ohne Angabe

Pro Bestand wurden von mindestens 20 zufällig ausgewählten, gut fruktifizierenden Bäumen insgesamt 5 bis 15 kg Eicheln gesammelt (z.T. mit Netzen). Aufbereitung und Überwinterung des Saatgutes erfolgten im Kühlhaus in der FVA in Freiburg. Im Frühjahr 1993 wurde in der FVA-Pflanzschule Emmendingen gesät, 1994 verschult.

<sup>1)</sup> Bestand 1987 zugelassen als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von geprüftem Vermehrungsgut. Prüfung erfolgte im Rahmen eines Stieleichen-Herkunftsversuchs von KRAHL-URBAN (Ernte 1949).

## 4. Ergebnisse und Diskussion

Über ältere Provenienzversuche mit Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) berichtet KRAHL-URBAN (1959).

Zusammenfassend stellt er fest, daß das Vorhandensein von Standortrassen bei Stiel- und Traubeneiche als sicher anzunehmen ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen deuten in eine ähnliche Richtung, wenngleich der gesamte Versuch noch zu jung ist, um eine abschließende Beurteilung vornehmen oder gar Herkunftsempfehlungen aussprechen zu können.

Folgende Parameter wurden bislang erhoben und ausgewertet (Min-Max-Bereich der Herkunftsmittelwerte sowie Gesamtmittel):

### Saatgut <sup>2)</sup>:

- Streifung (Anteil Eicheln):	> 75 %
- Tausendkorngewicht (absolut trocken):	1870 - 3760 / 2539 g
- Eichellänge:	23,9 - 31,8 / 26,2 mm
- Eichelbreite:	14,3 - 18,4 / 16,1 mm
- Verdrängungsvolumen (pro 50 Eicheln)	155 - 263 / 203 ccm
- Keimprozent:	76 - 100 / 91 %
- Hohlkornanteil:	0,7 - 26,0 / 10,4 %

### Einjährige Sämlinge: <sup>3)</sup>

- Sproßlänge:	32,4 - 50,3 / 39,7 cm
- Johannistriebbildung (Anteil Pflanzen):	60,3 - 100 / 77,0 %
- Wurzelhalsdurchmesser:	6,3 - 8,4 / 7,6 mm
- Pfahlwurzel (Anteil Pflanzen):	62,0 - 94,0 / 80,4 %
- Formbonitierung (Anteil Pflanzen mit guten und sehr guten Schafformen)	50,0 - 79,3 / 67 %

<sup>2)</sup> Stichprobenumfang: 3 x 50 = 150 Eicheln pro Herkunft

<sup>3)</sup> Stichprobenumfang: 3 x 50 = 150 Sämlinge pro Herkunft

Angesichts der derzeitigen intensiven Diskussion über das gemeinsame Auftreten von Stiel- und Traubeneiche in vielen Beständen des Verbreitungsgebietes und der damit verbundenen Frage nach der natürlichen Hybridisierung der beiden Arten ist die Feststellung interessant, daß zwar nicht 100%, aber doch mehr als 75% der für die Nachkommenschaftsprüfung eingesammelten Eicheln die für Stieleiche charakteristische Streifung aufwiesen. Insofern ist davon auszugehen, daß tatsächlich, zumindest aber weit überwiegend, Vermehrungsgut von *Quercus robur* L. vorliegt und daß die Phänotypenansprache im Bestand richtig erfolgte. Die bisherigen isoenzymatischen Untersuchungen von LÖCHELT (vgl. ihren Beitrag „Isoenzymanalysen im Rahmen einer Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung in Baden-Württemberg 1992“ in dieser Veröffentlichung) am gleichen Material kommen zum selben Ergebnis.

Das Tausendkorngewicht lag mit durchschnittlich 2539 g deutlich unter dem von ROHMEDER (1972) für Stieleiche mitgeteilten Wert. Ursächlich hierfür dürfte die künstliche Trocknung (*atro*) der Eichel-Stichproben sein.

Als bislang wichtigste Herkunft erwies sich die niederländische Importherkunft NL 3, jedoch dicht gefolgt von zwei Bestandesnachkommenschaften aus Bad Waldsee in Oberschwaben und verschiedenen Nachkommenschaften aus dem Neckarland bei Reutlingen und Tübingen. Die beiden Standards Reutlingen und Farchau lagen erfreulicherweise sehr nah beim Versuchsmittel (Tab. 2).

Tab. 2: Mittelwerte der Sproßlängen einjähriger Sämlinge.

Mean shoot lengths of one-year-old seedlings.

Rangplatz	Herkunft	Höhenlage (m ü.NN)	mittl. Sproßlänge in cm (%)
01	21 NL3/NL	0-100	50,3 (127)
02	01 Bad Waldsee II	500-520	49,0 (124)
03	16 Tübingen	430	47,5 (120)
04	02 Bad Waldsee V	400	46,5 (118)
05	13 Reutlingen V <sup>4)</sup>	380	46,1 (117)
06	03 Bebenhausen	400	45,8 (116)
07	19 Ebrach/Bayern	270	44,1 (112)
08	23 Traubeneiche (Nagold)	ohne Angabe	43,3 (110)
09	14 Riedlingen	580	42,2 (107)
10	11 Herrenberg	400-500	41,9 (106)
11	07 Blaustein	600-700	41,9 (106)
12	15 Schöntal	300-400	41,7 (106)
13	12 Maulbronn	240-255	41,6 (106)
14	22 Nuenen-02/NL A-Select.	0-100	41,1 (104)
15	20 Farchau/Niedersachsen	< 300	40,3 (102)
16	18 Reutlingen VII	350-360	40,2 (102)
17	08 Donaueschingen	660-690	39,2 (99)
18	06 Blaubeuren XVIII	710-760	38,0 (96)
19	10 Giengen	500-600	35,7 (90)
20	09 Ellwangen	400-500	35,5 (90)
21	04 Biberach	580-620	35,4 (90)
22	17 Villingen	760	34,0 (86)
23	05 Blaubeuren VII	710-730	32,4 (82)
	<b>Versuchsmittel</b>		<b>39,7 (100)</b>

Hinsichtlich der Johannistriebbildung war die Herkunft Bebenhausen mit 100% auffallend. Inwieweit dies in Zukunft zu besonderer Höhenwuchsleistung und/oder Formfehlern führen wird, bleibt abzuwarten.

<sup>4)</sup> Bestand 1987 zugelassen als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von geprüftem Vermehrungsgut. Die Prüfung erfolgte im Rahmen eines Stieleichen-Herkunftsversuchs von KRAHL-URBAN (Ernte 1949).

Neben den Wurzelhalsdurchmessern, die hier nicht weiter diskutiert werden sollen, wurde auch festgehalten, wie hoch der Anteil von Pflanzen mit deutlicher Pfahlwurzelbildung war. Er schwankte zwischen 62,0% und 94,0% und lag im Mittel bei 80,4 %. Es gibt demnach einzelne Herkünfte, bei denen nicht unerhebliche Anteile einjähriger Sämlinge die als obligatorisch angesehene Pfahlwurzel nicht aufweisen.

Die Berechnung einer Korrelation zwischen Sproßlängen und Tausendkorngewichten ergab nur einen sehr schwachen Zusammenhang ( $r = 0,34$ ). Auch nach Ausschluß der nicht aus Baden-Württemberg stammenden Vergleichsherkünfte (Nr. 19 Ebrach, Nr. 20 Farchau, Nr. 21 NL3 und Nr. 22 Nuenen-02) zeigte sich nur eine schwach verbesserte Korrelation mit  $r = 0,38$ .

Demgegenüber konnte zwischen Sproßlängen und Höhenlage der Saatguternteorte eine signifikante negative Korrelation beobachtet werden ( $r = -0,58$ ), sofern jene Bestände ausgeschlossen wurden, die auf oder fast auf Meeresebene liegen (Nr. 20 Farchau, Nr. 21 NL3 und Nr. 22 Nuenen-02).

Die Sproßentwicklung der einjährigen Sämlinge scheint also nicht nur von den Nährstoffvorräten in den Eicheln, sondern ganz wesentlich auch von anderen Faktoren wie genetischer Veranlagung, Standort, Johannistriebbildung, Schädlingsbefall etc. abhängig zu sein.

Für die Formbonitierung der einjährigen Sämlinge wurden fünf Boniturstufen aufgestellt (1 = sehr gut bis 5 = mangelhaft). Folgende Herkünfte hatten einen Anteil von Pflanzen der Stufen 1 und 2 von  $> 65\%$  (vgl. Tab. 3):



Tab. 3: Herkünfte mit einem Anteil von >65% der Formstufen 1 und 2.

Provenances with > 65% proportions of the form category 1 and 2.

Rang	Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
01	13 Reutlingen V (Maienwald)	380
02	02 Bad Waldsee V	400
03	14 Riedlingen	580
04	05 Blaubeuren VII (Asem)	710-730
05	17 Villingen	760
06	04 Biberach	580-620
07	19 Ebrach/Bayern	270
08	23 Traubeneiche/Nagold	o. Angabe
09	08 Donaueschingen	660-690
10	18 Reutlingen VII (Schmeller)	350-360

Die einjährigen Sämlinge wurden (soweit erforderlich) vor der Verschulung auf einen Trieb zurückgeschnitten. Die folgenden Bonituren werden zeigen, welche Nachkommenschaften erblich bedingt zu guten bzw. schlechten Formtypen tendieren.

Eine Ranglisten-Auswertung ergab bei den Saatgutparametern und bei den Sämlingsparametern folgendes Ergebnis (Tab. 4a-c und Tab. 5a-c):

Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
13 Reutlingen V (Maienwald)	380
19 Ebrach/Bayern	270
20 Traubeneiche/Nagold	660-690
21 Bad Waldsee V	400

Tab. 4a: Ranglistenauswertung der Saatgutparameter: Rangplätze der Herkünfte.

Ranking order evaluation of the seed parameters : Ranks of the provenances.

Rang- Platz/ Herkunft	Tausendkorn- gewicht (trocken)	Eichel- länge	Eichel- breite	Verdrän- gungs- volumen	Keim- prozent
01	<b>19</b>	13	<b>20</b>	<b>20</b>	5/3/7/14
02	20	<b>19</b>	22	<b>19</b>	-
03	16	6/16	<b>14</b>	22	-
04	<b>21</b>	1	<b>21</b>	<b>21</b>	-
05	3	<b>21</b>	8	<b>14</b>	9/20
06	<b>14</b>	<b>14/20</b>	<b>19</b>	8	-
07	8	-	9	16	8/13/21
08	11	2	16	3/11/13	-
09	2	8/20	7	-	-
10	10	-	5	-	6/18
11	12	10	11	7/10	-
12	9	11	6	-	10/4/15
13	13	12	17	5	-
14	15	18	10	9	-
15	17	5	3/18	6	2/11/16/17
16	5	9	-	17	-
17	<b>18</b>	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	-
18	<b>1</b>	22	<b>15</b>	<b>1</b>	-
19	6	7	1/4	2/18	<b>1</b>
20	7	-	2	-	22
21	<b>4</b>	17	-	<b>15</b>	12/19
22	-	<b>4</b>	18	<b>4</b>	-
23	-	-	-	-	-

Tab. 4b: Ranglistenauswertung der Saatgutparameter:  
Herkünfte mit mindestens 3 Parametern auf Rang 1 - 6.

Ranking order evaluation of the seed parameters:  
Provenances with at least three parameters on ranks 1 - 6.

Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
14 Riedlingen	580
19 Ebrach (Standard)	270
20 Farchau (Standard)	< 300
21 NL3/NL	0-100

Tab. 4c: Ranglistenauswertung der Saatgutparameter:  
Herkünfte mit mindestens 3 Parametern auf Rang 17-23.

Ranking order evaluation of the seed parameters:  
Provenances with at least three parameters on ranks 17 - 23.

Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
01 Bad Waldsee II	500-520
04 Biberach	580-620
12 Maulbronn	240-255
15 Schöntal	300-400
18 Reutlingen (Standard)	350-360

Tab. 5a: Ranglistenauswertung der Sämlingsparameter: Rangplätze der Herkünfte

Ranking order evaluation of the seedling parameters: ranks of the provenances

Rang- Platz/ Herkunft	Sproß- länge	Johannis- trieb- bildung	Wurzel- halsdurch- messer	Pfahlwurzel- bildung	Form- stufe 1 + 2	Form- stufe 1
01	21	3	11/14	21	13	14
02	1	14	-	22	21	5
03	16	11	21	12	2	2
04	2	21	23	14	14	19
05	13	2	8/19	2/5/11/15	5	13/16
06	3	13	-	-	17	-
07	19	6	12	-	4/19	21
08	23	15	3/16/22	-	-	6/8
09	14	12	-	13	23	-
10	7/11/12/15	4	-	7	8	18
11	-	8	7	19	18	22
12	-	16	1/13/20	17	12	12
13	-	20	-	8/16/20	11	17
14	22	7	-	-	1	4
15	20	18	15	-	7	3/11/20
16	18	23	9	3	10	-
17	8/22	19	17	10	22	-
18	6	1	2/18	1/6/9	6/16	7
19	4/9/10	10	-	-	-	23
20	-	5	6	-	20	1
21	-	17	5	18	15	9
22	17	22	10	23	9	15
23	5	9	4	4	3	10

Tab. 5b: Ranglistenauswertung der Sämlingsparameter:  
Herkünfte mit mindestens 3 Parametern auf Rang 1 - 6.

Ranking order evaluation of the seedling parameters:  
Provenances with at least three parameters on ranks 1 - 6.

Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
02 Bad Waldsee V	400
13 Reutlingen V (Maienwald)	380
14 Riedlingen	580
21 NL3/NL	0-100

Tab. 5c: Ranglistenauswertung der Sämlingsparameter:  
Herkünfte mit mindestens 3 Parametern auf Rang 17 - 23.

Ranking order evaluation of the seedling parameters:  
Provenances with at least three parameters on ranks 17 - 23.

Herkunft	Höhenlage (m ü. NN)
01 Bad Waldsee II	500-520
04 Biberach	580-620
05 Blaubeuren VII	710-730
06 Blaubeuren XVIII	710-760
09 Ellwangen	400-500
10 Giengen	500-600
17 Villingen	760
22 Nuennen-02/NL A-Selection	0-100

Von den Ergebnissen der Ranglistenauswertung soll nur das "gute" Abschneiden der Herkunft 13 (Reutlingen V (Maienwald)) herausgestellt werden. Es handelt sich hierbei um jenen Stieleichen-Bestand, der aufgrund der Ergebnisse aus einem 1949 von Krahl-Urban eingeleiteten und von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abt. Forstpflanzenzüchtung in Escherode fortgeführten Provenienzversuch 1987 als Ausgangsmaterial zur Gewinnung von geprüftem Vermehrungsgut bereits zugelassen wurde. Wie oben bereits festgestellt, ist es zum jetzigen Zeitpunkt selbstverständlich noch zu früh, um aus dieser Reihung Schlußfolgerungen zu ziehen. Mit Spannung werden daher die Abschlußergebnisse der laufenden Isoenzymanalysen zur Bestimmung der genetischen Strukturen des Versuchsmaterials erwartet, die mit den Saatgut- und Sämlingsparametern in Beziehung gesetzt werden sollen. Die Auspflanzung des Versuchs auf mindestens drei Versuchsflächen in unterschiedlichen Wuchsgebieten in Baden-Württemberg ist für 1996 geplant.

## 5. Literatur

KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin, 288 S.

LÖCHELT, S. (1995): Isoenzymanalysen im Rahmen einer Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung in Baden-Württemberg 1992. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, 34/95 (dieser Band), S. 321-326.

MINISTERIUM FÜR LÄNDLICHEN RAUM, ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN BADEN-WÜRTTEMBERG (MLR; Hrsg.) (1993): Wald, Ökologie und Naturschutz: Leistungsbilanz und Ökologieprogramm der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Informationsbroschüre MLR-31-93. Stuttgart, 128 S.

ROHMEDER, E. (1972): Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin, 273 S.

SEBALD, O.; SEYBOLD, S. und PHILIPPI, G. (Hrsg.) (1993): Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs. Band 1: Allgemeiner Teil; Spezieller Teil (Pteridophyta, Spermatophyta); Lycopodiaceae bis Plumbaginaceae. 2., ergänzte Auflage, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 483 S.

WEIDENBACH, P. (1991): Walderneuerung auf Sturmflächen. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 5, S. 216-220.

# Die genetische Kontrolle der Holzqualität bei *Quercus robur* und *Quercus petraea* (Interspecies- und Intraspecies-Ebenen): eine Übersicht <sup>1)</sup>

Gérard Nepveu

INRA Champenoux  
Centre de Recherches de Nancy  
F-54280 Seichamps (France)

<sup>1)</sup> Die englische Originalfassung wurde von Dr. Werner Maurer, FVA Trippstadt, mit Genehmigung des Autors ins Deutsche übersetzt.

**Keywords:** *Quercus*, wood quality, breeding, selection

## Summary

Title of the original paper: The genetic control of wood quality in *Quercus robur* and *Quercus petraea* (interspecific and intraspecific levels): a review.

In a first and main part, and after remembering the high level of phenotypic variability found in wood of oak for basic wood properties (density, shrinkage, extractives, colour *etc.*), anatomical characteristics (diameter of earlywood vessels *etc.*), technological ability (suitability for slicing *etc.*) and sensitivity to defects occurring in the standing tree as frost cracks, a review of the existing literature on genetic control of basic wood properties and anatomy in *Quercus robur* and *Quercus petraea* is presented. Preliminary results of studies not yet published and/or „revisited“ experimental data are presented too.

Two levels of genetic variability are considered: specific level *i.e.* differences between wood of *Quercus petraea* and *Quercus robur*; variability between clones and half-sib families.

The scarceness of the published (or not yet published) data is underlined; these data mainly resulted from sampling and measurements done in German clonal seed orchards or progeny tests. In spite of the precious information already gained through these experiments, it is emphasized that other field tests have to be compulsorily established in order to gain a precise information on the genetic variability of basic wood properties and anatomy in oak and, as a result, in order to evaluate the possibilities to improve realistically wood quality through selection in oak.

In a second part, two points - very important in the perspective of a possible selection for wood quality in oak - are accommodated:

- defining selection criteria (basic wood properties, anatomical characteristics) realistic and pertinent for industrial suitability;
- defining the conditions to perform optimum selection in the forest for criteria of industrial suitability of wood. This last point is treated in the two contexts of oak silviculture and regeneration: „classical“ and artificial regeneration, including farm forestry.

Apart from summarizing the above-mentioned points, the conclusion mentions the need (1) to perform a complete exploitation of the German genetic experiments available (it requires a strong cooperation with people involved in data analysis) and (2) to develop relationships with ecophysiologicalists in order to evaluate the consequences of possible selection on characteristics as earlywood vessel area, sapwood width *etc.* for oak adaptability.

The results mentioned in the presentation have the following origins:

- mainly the papers published in the „Proceedings of the First Meeting of the IUFRO Working Party S2-02-22 ‘Genetics of oaks‘“ held in the Arboretum des Barres (France) September 1991, particularly those by SAVILL and KANOWSKI („Tree improvement programs for European Oaks: goals and strategies“) and by NEPVEU [„The possible status of wood quality in oak breeding programs (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.)“].

- papers published since the above-mentioned meeting; data „revisited“ by the author himself or data not yet published, kindly communicated by Jonathan MOSEDALE and Peter SAVILL (Oxford Forestry Institute; data gained in the frame of the EEC AIR Program „Production of quality wood from broadleaves“) and Jean-Luc DUPOUEY as well as Jean-Michel LEBAN (INRA-Nancy).

**Schlüsselwörter:** *Quercus*, Holzqualität, Züchtung, Selektion

**Zusammenfassung:**

Im ersten Teil, dem Hauptteil, in dem einleitend das hohe Maß der im Holz von Eiche gefundenen phänotypischen Variabilität hinsichtlich der elementaren Holzeigenschaften (Dichte, Schwindungsverhalten, Inhaltsstoffe, Farbe *etc.*), der holzanatomischen Merkmale (Durchmesser von Frühholzgefäßen *etc.*), der holztechnologischen Eigenschaften (Eignung zum Schneiden *etc.*) und der Empfindlichkeit gegenüber Mängeln, wie z.B. Frostrissen am stehenden Baum, nochmals in Erinnerung gebracht wird, wird eine Übersicht über die vorhandene Literatur zur genetischen Kontrolle von grundlegenden Holzeigenschaften und der Holzanatomie bei *Quercus robur* und *Quercus petraea* gegeben. Vorläufige Ergebnisse von noch nicht veröffentlichten Untersuchungen und/oder „wiedergesichtete“ Versuchsdaten werden ebenfalls dargestellt.

Zwei Ebenen der genetischen Variabilität werden betrachtet: die Species-Ebene, d.h. Unterschiede zwischen Holz von *Quercus petraea* und *Quercus robur*; Variabilität zwischen Klonen und Halbgeschwister-Familien.

Die Knappheit der veröffentlichten (oder noch nicht veröffentlichten) Daten wird unterstrichen; dieses Datenmaterial stammt hauptsächlich von in deutschen Samenplantagen und Nachkommenschaftsprüfungen durchgeführten Erhebungen und Messungen. Trotz der wertvollen, bereits durch diese Versuche gewonnenen Informationen wird mit Nachdruck betont, daß weitere Freilandversuche als obligatorisch einzurichten sind, um genaue Informationen über die genetische Variabilität der wesentlichen Holzeigenschaften sowie der Holzanatomie bei Eiche zu gewinnen und um dann damit die Möglichkeiten abzuklären, inwieweit die Holzqualität bei Eiche naturgemäß durch Selektion verbessert werden kann.

In einem zweiten Teil wird auf zwei Punkte - im Hinblick auf eine mögliche Selektion bezüglich der Holzqualität bei Eiche besonders wichtige - eingegangen:

- die Festlegung von Selektionsmerkmalen (wesentliche Holzeigenschaften, anatomische Merkmale), die brauchbar und unentbehrlich für eine industrielle Nutzung sind; die Festlegung der Bedingungen zur Durchführung einer optimalen Selektion im Wald hinsichtlich der Merkmale für eine industrielle Nutzung des Holzes. Dieser letzte Punkt wird in Zusammenhang mit Eichenkulturen und -verjüngungen behandelt: „klassische“ und künstliche Verjüngung einschließlich der plantagenartigen (Farm-)Waldbewirtschaftung.

Neben der Zusammenfassung der oben angeführten Punkte wird bei den Folgerungen als notwendig erachtet, (1) eine vollständige Ausnutzung der vorhandenen deutschen genetischen Versuche vorzunehmen (dies erfordert eine enge Zusammenarbeit mit Personen, die sich mit Datenanalyse beschäftigen) und (2) sich mit Ökophysiologen zusammensetzen, um die Konsequenzen einer möglichen Selektion von Merkmalen wie Frühholzgefäßfläche, Splintholzbreite *etc.* bezüglich der Anpassungsfähigkeit von Eiche abzuschätzen.

Die in dieser Darstellung erwähnten Ergebnisse gehen auf die folgenden Quellen zurück:

- hauptsächlich auf Arbeiten, die in den „Proceedings of the First Meeting of the IUFRO Working Party S2-02-22 'Genetics of oaks'“, Arboretum des Barres (Frankreich), September 1991 veröffentlicht wurden, insbesondere diejenigen von SAVILL und KANOWSKI („Tree improvement programs for European oaks: goals and strategies“) sowie von NEPVEU [„The possible status of wood quality in oak breeding programs (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.)“];
- auf Arbeiten, die seit der oben angeführten Veranstaltung veröffentlicht wurden; auf Datenmaterial, das vom Autor selbst „wiedergesichtet“ wurde bzw. auf noch nicht veröffentlichte Daten, die freundlicherweise von Jonathan MOSEDALE und Peter SAVILL (Oxford Forestry Institute; Datenmaterial, welches im Rahmen des EEC AIR Programms „Production of quality wood from broadleaves“ gewonnen wurde) sowie von Jean-Luc DUPOUEY und von Jean-Michel LEBAN (INRA-Nancy) zur Verfügung gestellt wurden.

## 1. Einleitung

Massivholz oder Messerfurnier von den beiden Haupteichenarten in Europa [Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.) und Stieleiche (*Quercus robur* L.)] sind von herausragender wirtschaftlicher Bedeutung für ein Land wie Frankreich.

In diesem Land repräsentiert das Eichenholz 10% des erzeugten Schnittholzvolumens [1.000.000 m<sup>3</sup> im Jahre 1992 von insgesamt 10.000.000 m<sup>3</sup>, darunter 3.000.000 m<sup>3</sup> für Laubhölzer (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE 1994)]. Die Schnittholzpreise unterstreichen die vorderste Stellung von Eiche: sie rangieren um 4.000 FF (Franz. Francs) pro m<sup>3</sup> für Spitzenqualitäten bei Eiche; 1.900 FF pro m<sup>3</sup> bei Buche und 1.500 FF pro m<sup>3</sup> bei Pappel wie auch bei Kiefer [Preise für 1994 (MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE 1994)].

Überdies können wir aus gegebenem Anlaß vermuten, daß Eiche - wie auch andere heimische Laubhölzer - im Tischlereigewerbe und in der Möbelindustrie wegen des rückläufigen Angebots an tropischen Werthölzern zunehmend mehr Bedeutung erlangen wird.

Allerdings ist es aufgrund der äußerlich nicht erkennbaren Holzqualitäten (wie auch der hier nicht untersuchten äußerlich erkennbaren Rundholzqualität) nicht möglich, aus den Eichenressourcen in Frankreich alle Bäume mit einem hinreichenden BHD für Möbel und Tischlereiprodukte (Messerfurnier oder Massivholz) zu nutzen. Die Variabilität der Bäume untereinander ist bei Eiche hinsichtlich der Holzgütemerkmale besonders hoch. Diese Feststellung trafen BIROT *et al.* (1980) für den Drehwuchs; MILLER (1987) für Frostrisse; NEPVEU (1993) mit Bezug auf HUBER (1991a) sowie auf NEPVEU und HUBER (1991) für die anatomischen Merkmale; HUBER (1991b) bezüglich der Rohdichte; EYONO OWOUNDI (1991) für das Schwindungsverhalten; FLOT (1981) für die Farbhelligkeit von Messerfurnier; FEUILLAT (persönliche Mitteilung) für Holzinhaltstoffe sowie MARCHAL (1983) für eine Reihe von technologischen Eigenschaften der Messerfurniere wie Verformung nach Trocknung, Oberflächenstruktur und Homogenität der Dicke.



Seitdem wurden durch weitere experimentelle Befunde das äußerst hohe Maß an jeweiliger Variabilität für die Holzgütemerkmale bei Eiche bestätigt. Eine Auswahl dieser Ergebnisse ist in der Abbildung 1 sowie in Tabelle 1 wiedergegeben. Diese umfassen anatomische Merkmale, durchschnittliche Jahrringrohichte und Dichteunterschiede innerhalb der Jahrringe, Holzfarbe, Verhalten des Holzes bei der Nutzung als Faßdauben sowie Drehwüchsigkeit.

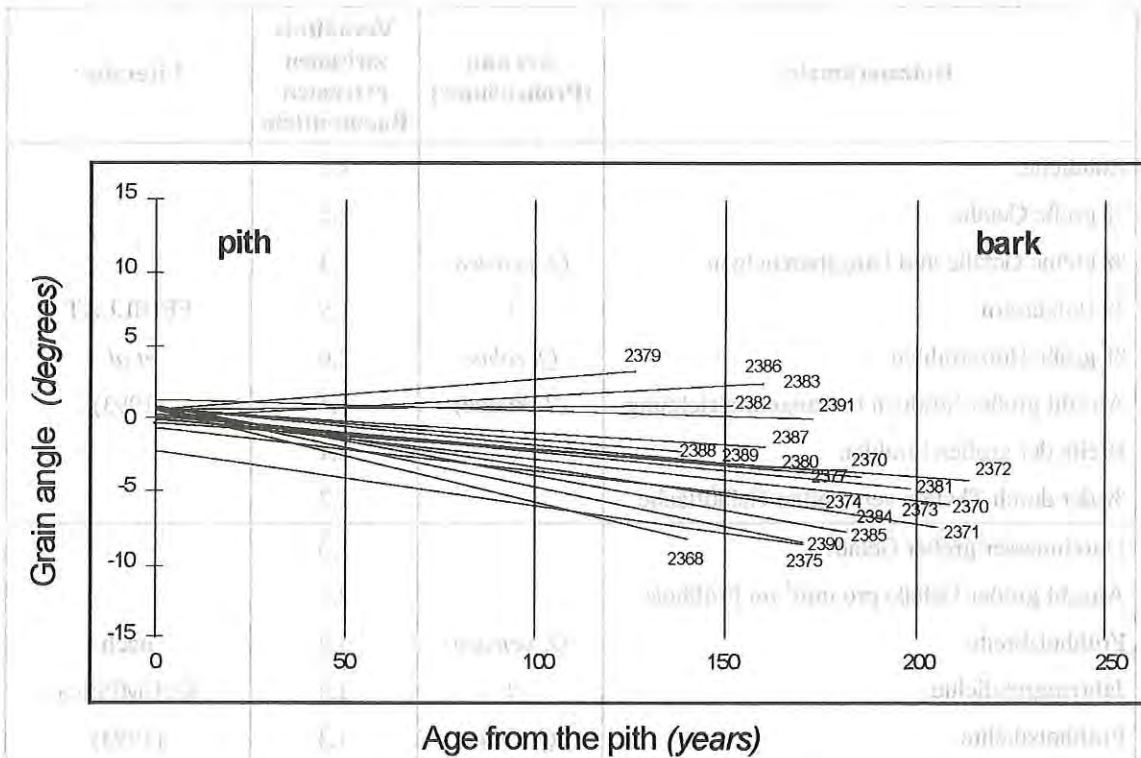


Abb. 1 Entwicklung des Faserwinkels (Drehwuchs) vom Holzmark zur Rinde in 24 Eichen (*Quercus petraea*) (nach BOEDEC und TOSTEN 1994). Jede Linie repräsentiert einen Baum. Jede Anpassung entsprechend einem jeden Baum wurde mit 178 bis 538 Daten erstellt.  
 [Age from the pith (years): Alter vom Mark aus (Jahre);  
 Grain angle (degrees): Faserwinkel (Grad)]

Evolution of the grain angle (spiral grain) from the pith to the bark in 24 oak trees (*Quercus petraea*) (according to BOEDEC und TOSTEN 1994). Each line represents a tree. Each fit corresponding to each tree was established with 178 to 538 data.

Tab. 1 Variabilität der Bäume untereinander für die bei *Quercus petraea* und *Quercus robur* beobachteten Holzeigenschaften.

Die Daten beruhen auf einer großen Anzahl von Aufnahmen bei jedem Baum; zumeist war die Größe der entsprechenden Bäume einheitlich, nahe der Größe von Bäumen in einem Endbestand.

Between-tree variability for wood traits observed in *Quercus petraea* and *Quercus robur*.

Data are based on a large number of samples in each tree; in most cases, the size of the trees considered was homogenous, near the size of trees in a final crop.

Holzmerkmale	Art und (Probabäume)	Verhältnis zwischen extremen Baummitteln	Literatur
Rohdichte		1,2	
% große Gefäße		2,5	
% kleine Gefäße und Längsparenchym	<i>Q. petraea</i>	1,4	
% Holzfasern	+	1,9	FEUILLAT
% große Holzstrahlen	<i>Q. robur</i>	2,0	<i>et al.</i>
Anzahl großer Strahlen in Tangentialrichtung	(7 Bäume)	1,5	(1993)
Breite der großen Strahlen		2,1	
% der durch Thyllen verstopften Gefäßfläche		1,3	
Durchmesser großer Gefäße		1,5	
Anzahl großer Gefäße pro mm <sup>2</sup> im Frühholz		2,2	
Frühholzbreite	<i>Q. petraea</i>	3,2	nach
Jahringrohichte	+	1,4	KLUMPERS
Frühholzdichte	<i>Q. robur</i>	1,3	(1994)
Spätholzdichte	(20 Bäume)	1,3	
Farbhelligkeit L		1,1	
Farbton h		1,1	
Frühholzbreite		1,9	nach
Frühholzdichte im Alter 100 vom Mark aus	<i>Q. petraea</i>	1,4	DEGRON und
Spätholzdichte im Alter 100 vom Mark aus	(24 Bäume)	1,2	NEPVEU
			(zur Veröffentlichung eingereicht)
% große Holzgefäße		2,2	
Breite der großen Strahlen	<i>Q. petraea</i>	1,5	NEPVEU
Anzahl großer Strahlen in Tangentialrichtung	(24 Bäume)	2,2	(unveröffentlicht)
Impregnung bei Faßdauben	<i>Q. petraea</i>	1,3	FEUILLAT <i>et al.</i>
Verdunstung über Faßdauben	(8 Bäume)	1,4	(1994)

Nur ein Teil der großen phänotypischen Variabilität für Holzgütemerkmale bei Eiche läßt sich mittels Jahrringbreite und Alter vom Mark aus (plus Alter von der Rinde für die Holzfarbe) erklären. Diese Tatsache, auf die bereits schon 1973 von POLGE und KELLER für die Rohdichte hingewiesen wurde, hat sich größtenteils in neueren Arbeiten von ZHANG *et al.* (1993) für das Holzschwindungsverhalten, von ACKERMANN (zur Veröffentlichung eingereicht) ebenso wie auch von DEGRON und NEPVEU (zur Veröffentlichung eingereicht) für die Rohdichte bestätigt. Zudem haben einige dieser Untersuchungen [BOEDEC und TOSTEN 1994; ACKERMANN (zur Veröffentlichung eingereicht); DEGRON und NEPVEU (zur Veröffentlichung eingereicht)] gezeigt, daß sich der hochsignifikante Baumeffekt bei festgelegtem Alter vom Holzmark und Jahrringbreite nur ganz wenig mit den Standortbedingungen erklären ließ und hauptsächlich auf die Variabilität der Bäume untereinander auf der Bestandesebene zurückzuführen ist.

Wie NEPVEU (1993) betont, läßt dieses hohe Maß an phänotypischer Variabilität die Annahme einer genetischen Kontrolle der Holzqualität bei Eiche unter festgelegten Wuchsbedingungen im Bestand als ziemlich sicher zu.

In den folgenden Teilen dieser Arbeit stellen wir zuerst die bereits vorliegenden Ergebnisse dar, welche bestätigen, daß die hohe Variabilität der Bäume untereinander für die Holzqualität bei Eiche unter genetischer Kontrolle bei festgelegten Wuchsbedingungen steht. Es werden zwei Ebenen der genetischen Variabilität betrachtet: die Interspecies-Ebene, d.h. Unterschiede zwischen *Quercus petraea* und *Quercus robur* sowie die Intraspecies-Ebene, d.h. (zumeist) Variabilität zwischen Klonen und Halbgeschwister-Nachkommenschaften.

Im zweiten Teil dieser Arbeit werden dann zwei Punkte in Hinblick auf eine mögliche Selektion bezüglich der Holzqualität bei Eiche diskutiert: (1) die Festlegung brauchbarer und wichtiger Merkmale zwecks Selektion für eine angemessene industrielle Nutzbarkeit sowie (2) die Festlegung von Bedingungen zur Durchführung einer optimalen Selektion bezüglich der Holzqualität im Wald.

## 2. Ergebnisse, die bereits über die genetische Kontrolle von Holzgütemerkmalen bei Eiche vorliegen

### 2.1 Interspecies-Ebene:

#### Unterschiede zwischen *Quercus petraea* und *Quercus robur*

Trotz des hohen Maßes an Variabilität zwischen den Bäumen bei jeder der beiden Arten gibt es eindeutige statistische Unterschiede zwischen Stiel- und Traubeneiche bezüglich der Holzgütemerkmale. Auch wenn in den meisten Fällen die vorliegenden Ergebnisse nicht von speziell dafür angelegten Versuchsfeldern für den Vergleich der beiden Arten stammen, zeigen sie doch so weitgehende Übereinstimmung, daß das Vergleichsergebnis letztlich unstrittig ist:

- die Frühholzbreite ist bei Stieleiche höher (HUBER *et al.* 1941; WALKER 1978; HUBER und KELLER 1993);
- die Anzahl der Reihen von Frühholzgefäßen ist bei Stieleiche höher (HUBER *et al.* 1941; WALKER 1978; FEUILLAT *et al.* 1993; HUBER und KELLER 1993);
- die Querschnittsfläche des einzelnen Frühholzgefäßes ist bei Stiel- und Traubeneiche statistisch gleich (MATHER *et al.* 1993);
- andere anatomische Merkmale (nämlich die Gestalt von Frühholzgefäßen, das Vorkommen von Spätholzgefäßgruppen) wurden von HUBER *et al.* (1941) sowie von WALKER (1978) für eine Unterscheidung von Stiel- und Traubeneiche angesehen;
- Gewebeanteile im Jahrring und/oder einige Holzstrahlmerkmale wurden ebenfalls bei den beiden Arten von POLGE *et al.* (1977) und von FEUILLAT *et al.* (1993) untersucht, jedoch läßt die geringe Anzahl an genetischen Einheiten sowie das Baumalter in der Untersuchung von POLGE *et al.* (1977) wie auch die geringe Anzahl der in die Untersuchung von FEUILLAT *et al.* (1993) einbezogenen Bäume keinen klaren Rückschluß auf die Unterscheidbarkeit der beiden Arten hinsichtlich dieser anatomischen Merkmale zu;

- die Rohdichte ist bei *Quercus petraea* größer (SALLENAVE 1964; COURTOISIER 1976; PELLECUER 1976; BECKER 1979; DUPOUEY 1983; DERET-VARCIN 1983; NEPVEU 1984a; DRAPIER 1987; FEUILLAT *et al.* 1983). Dies wird ganz eindeutig durch die neueren (unveröffentlichten) Befunde von DUPOUEY und LEBAN bestätigt. Diese letzten Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung 2 dargestellt.

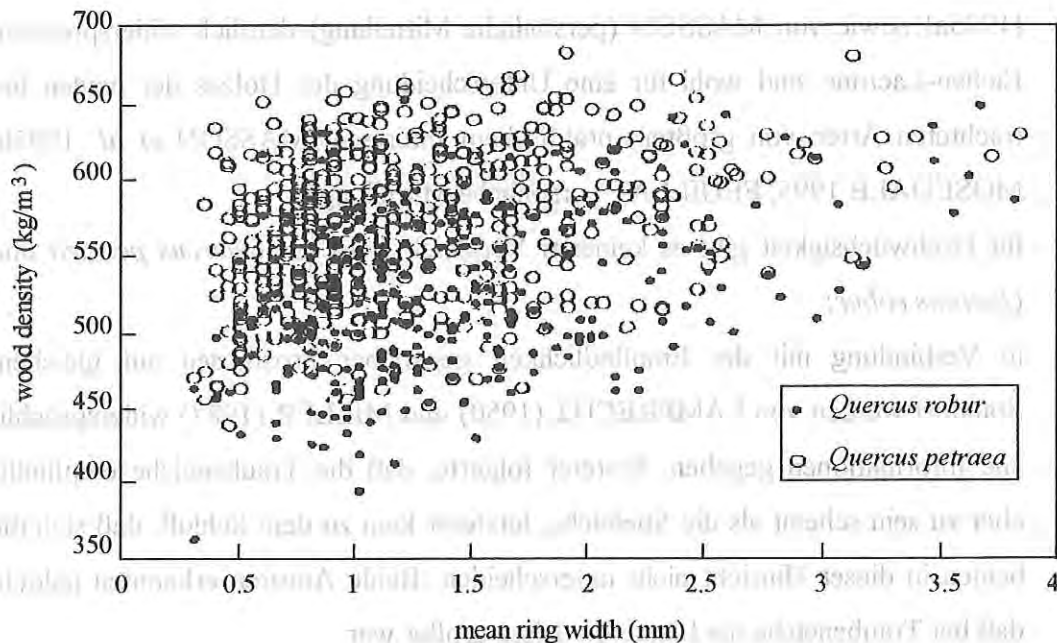


Abb. 2: Vergleich zwischen *Quercus robur* und *Quercus petraea* bezüglich der Rohdichte bei festgelegter Jahrringbreite (DUPOUEY und LEBAN unveröffentlicht).

88 Bäume (59 *Q. petraea* und 29 *Q. robur*), beprobt in 23 Beständen im Nordostteil Frankreichs; Baumalter: 54 - 198 Jahre; 8 Aufnahmen an jedem Baum.

[mean ring width (mm): mittlere Jahrringbreite (mm); wood density (kg/m³): Rohdichte (kg/m³)]

Comparison between *Quercus robur* and *Quercus petraea* for basic wood density when ring width is fixed (from DUPOUEY and LEBAN unpublished).

88 trees (59 *Q. petraea* and 29 *Q. robur*) sampled in 23 stands in the northeastern part of France; trees aged 54 - 198; 8 samples in each tree.

- die Holzschwindung ist bei *Quercus petraea* höher (SALLENAVE 1964; COURTOISIER 1976; NEPVEU 1984a);

- mechanische Eigenschaften sind bei *Quercus petraea* besser (SALLENAVE 1964);

- das Splintholz enthält bei *Quercus petraea* mehr Jahrringe (PELLECUER 1976; DERET-VARCIN 1983);
- die Farbhelligkeit des Holzes von Stiel- und Traubeneiche ist statistisch gleich, jedoch tendiert das Traubeneichenholz mehr zu rötlich als das der Stieleiche (KLUMPERS *et al.* 1993);
- statistische Unterschiede treten zwischen Stiel- und Traubeneiche für Ellagitannine auf (FEUILLAT persönliche Mitteilung; MOSEDALE und CHARRIER persönliche Mitteilung). Einem solchen Ergebnis wird jedoch von MASSON *et al.* (1995a) sowie von MASSON (persönliche Mitteilung) deutlich widersprochen. Eichen-Lactone sind wohl für eine Unterscheidung des Holzes der beiden betrachteten Arten von größtem praktischem Interesse (MASSON *et al.* 1995b; MOSEDALE 1995; FEUILLAT persönliche Mitteilung);
- für Drehwüchsigkeit gibt es keinerlei Vergleich zwischen *Quercus petraea* und *Quercus robur*;
- in Verbindung mit der Empfindlichkeit gegenüber Frostrissen auf gleichem Standort werden von LAMPRECHT (1950) und MILLER (1987) widersprüchliche Informationen gegeben. Ersterer folgerte, daß die Traubeneiche empfindlicher zu sein scheint als die Stieleiche; letzterer kam zu dem Schluß, daß sich die beiden in dieser Hinsicht nicht unterscheiden. Beide Autoren erkannten jedoch, daß bei Traubeneiche die Länge der Risse größer war.

## 2.2 Intraspecies-Ebene: Herkünfte, Nachkommenschaften, Klone

1993 wurden von SAVILL und KANOWSKI sowie von NEPVEU eine Übersicht über die Literatur, die sich mit der intraspezifischen genetischen Kontrolle von Holzgütemerkmalen bei Eiche (*Quercus robur* und *Quercus petraea*) beschäftigte, zusammengestellt. Aus der von diesen Autoren (NEPVEU 1982, 1984a, 1984b; KANOWSKI *et al.* 1990) zitierten Literatur geht hervor, daß die jeweilige genetische oder genotypische Kontrolle

- sehr stark ist für den einzelnen Gefäßbereich im Frühholz ( $h^2 = 0,6 - 0,9$ ; *Quercus petraea* und *Quercus robur*);

- stark ist für die Rohdichte ( $h^2 = 0,3 - 0,9$ ; *Quercus petraea* und *Quercus robur*);
- interessant ist bezüglich des Holzschwindungsverhaltens und der Frühholzbreite ( $h^2 = 0,3 - 0,4$ ; *Quercus petraea* und *Quercus robur*: Holzschwindung; *Quercus robur*: Frühholzbreite);
- gering, aber dennoch signifikant ist für den prozentualen Anteil der Gefäße im Frühholz und Spätholz sowie der Fasern im Spätholz ( $h^2 = 0,10 - 0,25$ ; *Quercus robur*).

Seither wurden weitere Ergebnisse von Autoren wie MATHER *et al.* (1993), SAVILL *et al.* (1993), RINK und McBRIDE (1993), MOSEDALE (1995) sowie MOSEDALE und CHARRIER (persönliche Mitteilung) erzielt. Diese Ergebnisse belegen allesamt das hohe Ausmaß der genetischen Kontrolle bei Stiel- und Traubeneichen für Merkmale wie die Anzahl der Splintholzjahrringe, die Rohdichte einschließlich Dichteverteilung innerhalb der Jahrringe, den Gefäßbereich und die Holzinhaltstoffe (Phenole, Gehalte an Ellagitanine wie Vescalagin, Castalagin, Roburin E, Eichen-Lactone, Ligninderivate). Bezüglich der Holzfarben-Parameter (Helligkeit und Farbton) erwiesen sich die Ergebnisse als gegensätzlicher.

Eine Zusammenstellung der oben aufgeführten Ergebnisse ist in Tabelle 2 gegeben.

Unter Berücksichtigung des durchweg hohen Ausmaßes an genetischer Variabilität für die elementaren Holzeigenschaften bei Eiche und, wie hier bereits anfänglich hervorgehoben, des hohen Maßes an phänotypischer Variabilität für Holzgütemerkmale, erscheint es höchst vorteilhaft, Selektion und Züchtung bezüglich der Holzqualität voranzutreiben.

Hierzu sind jedoch zwei Voraussetzungen zu erfüllen: (1) die Verfügbarkeit von brauchbaren und geeigneten Merkmalen zwecks Selektion hinsichtlich einer angemessenen industriellen Nutzbarkeit von Eiche; (2) verfügbare Methoden für zerstörungsfreie Messungen, um am stehenden Baum die Merkmale zu evaluieren, die zuvor hinsichtlich einer industriellen Verwendbarkeit von Eichenholz als relevant festgelegt worden sind. Diese beiden Bedingungen werden nun im zweiten Teil der Arbeit besprochen.

Tab. 2: Übersicht über die hinsichtlich einer genetischer Kontrolle von Holzgütemerkmalen erzielten Ergebnisse seit der 1993 von SAVILL und KANOWSKI sowie von NEPVEU durchgeführten Zusammenstellung.

Survey on the results gained on genetic control of wood quality criteria since the synthesis done in 1993 by SAVILL and KANOWSKI and by NEPVEU.

Untersuchungsmaterial	Holzeigenschaften	Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse	Literatur
- 34 Halbgeschwister-Nachkommenschaften 94 Bäume <i>Q. robur</i>	Rohdichte Helligkeit des Holzes	$h^2 = 0,51$ bis $0,55$ $h^2 =$ nicht signifikant	RINK und McBRIDE (1993)
- 26 Halbgeschwister-Nachkommenschaften 192 Bäume <i>Q. robur</i>	Anzahl der Spintholzringe	$h^2 = 0,57$ (Einzelbaum-Level)	SAVILL <i>et al.</i> (1993)
- 10 Klone 48 Bäume <i>Q. robur</i> und <i>Q. petraea</i>		$h^2 = 0,87$ (gemittelter Wert bei Klonen)	
- 2 Arten ( <i>Q. robur</i> und <i>Q. petraea</i> ) 2 Standorte 8 Herkünfte von jedem Standort und jeder Art 218 Bäume	jeweilige Querschnittsfläche von Frühholzgefäßen	hochsignifikanter Herkunftseffekt  (Standorteffekt und Arteffekt: nicht signifikant)	MATHER <i>et al.</i> (1993)
- 32 Halbgeschwister-Nachkommenschaften <i>Q. robur</i>		$h^2 = 0,60$ (Einzelbaum-Level)	
- 37 Klone 122 Bäume <i>Q. robur</i> und <i>Q. petraea</i> (2 Standorte für <i>Q. petraea</i> )  20 Halbgeschwister-Nachkommenschaften, 160 Bäume (5 Herkünfte, 4 Nachkommenschaften je Herkunft)	Holzfarbe  Ellagitannine (Castalagin, Vescalagin, Roburin E)  Mikrodensitometrie	- hoher Level an jeweiliger genetischer Variation für die Ellagitannine und die Mikrodensitometrie  - signifikanter Herkunftseffekt  - geringere genetische Variation für Holzfarbe	MOSEDALE (1995)
- Herkunft und Standort / Artenvergleiche <i>Q. robur</i> und <i>Q. petraea</i>	Gesamtphenolgehalt, Eichen-Lactone, Ligninderivate,  Geschmacks- bestimmung nach Erhitzen	hochsignifikanter Inter- species-Effekt	
- 2 Standorte für <i>Q. petraea</i> - 1 Standort für <i>Q. robur</i> - 3 Klone je Standort und Art  - 2 bis 5 Bäume je Klon und Standort	Ellagitannine (Castalagin, Vescalagin, Roburin E)	hochsignifikanter Intraspecies-Kloneffekt (Interspecies- Effekt: hochsignifikanter)  (Standorteffekt: nicht signifikant)	MOSEDALE und CHARRIER  (persönliche Mitteilung)



### **3. Die beiden Voraussetzungen für die Einbeziehung von Holzgütemerkmalen in ein mögliches Züchtungsprogramm**

#### **3.1 Verfügbarkeit von brauchbaren und relevanten Merkmalen zwecks Selektion hinsichtlich einer angemessenen industriellen Nutzbarkeit von Eiche**

In Verbindung mit dem hohen Preis, der für Eichenstämme geboten wird, welche sich für Tischlereierzeugnisse und Möbelherstellung (Messerfurnier oder Massivholz) oder für die Anfertigung von Faßdauben eignen, ist die Produktion solcher Endprodukte zweifelsohne als eine gute Option für die Eichenbewirtschaftung anzusehen.

Zusätzlich zu einwandfrei geformten Stämmen sind hierzu die folgenden Merkmale notwendig:

- geringe Holzschwindung;
- keine inneren Risse, nämlich Frostrisse;
- gerader Faserverlauf;
- geeignete Farbe und andere ästhetische Merkmale, insbesondere regelmäßiges Dickenwachstum;
- geringer Splintholzanteil.

Faserwinkel und Splintholzanteil kann wohl direkt am stehenden Baum bestimmt werden (zu Faserwinkel, siehe Abschnitt 3.2). Das Holzschwindungsverhalten kann indirekt, wie von ZHANG *et al.* (1994) gezeigt wurde, über die Rohdichte ermittelt werden; die Einführung von Angaben über die Holzstrahlverteilung als eine zusätzliche Schätzgröße des Holzschwindungsverhaltens könnte das signifikante  $R^2$  zwischen Holzschwindung und Dichte noch verbessern.

In Hinsicht auf ästhetische Eigenschaften sind die Zielsetzungen für eine Selektion nicht so klar: wenn helle Hölzer ohne Bedenken zu bevorzugen sind (MAZET und JANIN 1990) und falls die Selektion auf den Farbton als uninteressant angesehen werden kann, ist die Auswirkung von anatomischen Merkmalen wie Gefäßgröße, Frühholzbreite, Prozentanteil an Fasern im Spätholz auf die Bewertung der Eichenprodukte durch die

Endverbraucher wie auch auf Holzfarbmerkmale (HOFFMAN 1987; KLUMPERS 1994) zum jetzigen Zeitpunkt nicht abzusehen.

Für einige anatomische und physikalische Holzmerkmale hat man kürzlich festgestellt, daß sich mit ihnen statistisch Eichen mit Frostrissen oder anderen inneren Rissen unterscheiden lassen von solchen Eichen, die keine dieser äußerst schwerwiegenden Mängel aufweisen: Untersuchungen von HENMAN (1984) und SAVILL (1986) machen deutlich, daß Bäume mit großen Gefäßquerschnittsflächen für Risse (Mondringe und Sternrisse) anfällig sind. Aus der Untersuchung von CINOTTI (1991) geht hervor, daß sich Eichen mit Frostrissen von fehlerfreien Bäumen durch das Holz mit höherer Rohdichte, Schwindungsverhalten, Faserwinkel, Feuchtigkeitsgehalt im stehenden Baum, größerer Querschnittsfläche von Frühholzgefäßen und höherer Anzahl von Holzstrahlen statistisch unterscheiden lassen. Wir glauben allerdings, daß eine solche statistische Unterscheidbarkeit zwischen den beiden Baumgruppen (Bäume mit Rissen und Kontrollbäume) einfach zu gering ist, um damit umgehend eine relevante Selektion gegen Frostrisse sowie gegen Mondringe/Sternrisse vorschlagen zu können, die auf anatomischen Merkmalen oder elementaren Holzeigenschaften sowie auf einer Kombination von diesen beruht.

Für Eigenschaften, die die Zielsetzung Qualität der Messerfurniere (Verformung nach Trocknung, Oberflächenstruktur, Homogenität der Dicke) beschreibt, wurden bisher noch keine eindeutigen, auf anatomische oder physikalische Eigenschaften zurückgehenden Selektionsmerkmale festgestellt, auch wenn sich hochsignifikante Unterschiede zwischen Bäumen erwiesen haben (MARCHAL 1983).

In Verbindung mit der Anfertigung von Faßdauben läßt sich erhoffen, daß die verhältnismäßig große Anzahl von Arbeiten, welche derzeit zu diesem Thema durchgeführt werden, Beziehungen für die Anwendung im Wald liefern wird, um geeignete Bäume für die Daubenanfertigung auf der Basis von brauchbaren Messungen bezüglich anatomischer, chemischer und/oder der elementaren Holzeigenschaften zu selektieren (MOSEDALE 1995; FEUILLAT, MASSON sowie VIDAL persönliche Mitteilung).

### **3.2 Vorhandene Möglichkeiten für zerstörungsfreie Messungen zwecks Evaluierung am stehenden Baum von den Merkmalen, deren Eignung kürzlich für die industrielle Nutzbarkeit von Holz bei Eiche nachgewiesen wurde**

Aufgrund des hohen Maßes an phänotypischer Variabilität für Holzgütemerkmale bei Eiche wie auch der ermutigenden Ergebnisse hinsichtlich des verhältnismäßig hohen Ausmaßes der genetischen Kontrolle über diese erscheint es uns von größtem Interesse, Holzgütemerkmale in mögliche Züchtungsprogramme bei Eiche einzubeziehen anstelle anderer klassischer Merkmale wie Anpassungsfähigkeit, Stammform und Wüchsigkeit.

Unter diesem Gesichtspunkt können in Zukunft für den Anbau von Eiche zwei Situationen berücksichtigt werden:

- die Fortführung des „klassischen“ Anbaus, d.h. Naturverjüngung: in diesem Falle könnte die mögliche genetische Verbesserung darin bestehen, Bäume zu entnehmen, welche als Elternbäume für die Holzqualität sowie für andere Merkmale unerwünscht sind;
- die Entwicklung künstlicher Verjüngung im bestehenden Bestand oder Pflanzung von neuem (plantagenartigem „Farm-Wald“); in diesem Fall könnte die mögliche genetische Verbesserung „klassischer“ sein, nämlich auf dem Weg von Klonen.

In beiden Fällen wird die Zeit zwischen den Generationen groß sein. Aus diesem Grund müssen sich die Forschungsarbeiten bezüglich der Holzqualität auf die Vorgehensweise konzentrieren, damit das genetische Ziel rasch erreicht wird. Folglich muß die Bestimmung des genetischen Wertes der ausgewachsenen Elternbäume mittels einer detaillierten und unumgänglichen Evaluierung ihres Phänotyps als Hauptaufgabe durchgeführt werden.

Abgesehen davon, daß es absolut notwendig ist, für Selektionsmerkmale hinsichtlich der Holzqualität einen hohen Level an genetischer Jugend-Alter-Wechselbeziehung („Heritabilität im Wald“) zuzulassen, ist es von allerhöchster Bedeutung, zerstörungsfreie und einfache Methoden an der Hand zu haben, um damit die „guten“ Bäume bezüglich der Merkmale zu erkennen, die sich zuvor bezüglich der industriellen Nutzbarkeit eines solchen Holzes als geeignet erwiesen haben.

Wenn auch immer noch unverbindlich, so sind doch eine Reihe von unlängst unter diesem Gesichtspunkt für Eiche erhaltenen Ergebnisse ermutigend. Diese machen deutlich, daß einige (phänotypische) Beziehungen bestehen zwischen der äußerlich nicht erkennbaren Holzqualität des Baumes und Außenmessungen oder Messungen an nahe des Fußes des entsprechenden Baumes entnommenen Zuwachskernen:

- BOEDEC und TOSTEN (1994) zeigten, daß der auf der Rinde des Baumes bestimmte Faserwinkel mit den Parametern des Modells, welches die im Baum vorhandene Variation des Faserwinkels in Verbindung mit dem Alter vom Holzmark aus angibt, korreliert ist;
- ZHANG *et al.* (1994) stellten fest, daß die Parameter des Modells, welches die Rohdichteverteilung eines bestimmten Baumes in Verbindung mit dem Alter vom Holzmark aus und der Jahrringbreite angibt, annehmbare Vorhersagewerte der Verteilung des Schwindungsverhaltens im entsprechenden Baum darstellen;
- DEGRON und NEPVEU (zur Veröffentlichung eingereicht) zeigten eine relativ enge Beziehungen auf zwischen einerseits den Parametern des Rohdichtemodells, welche spezifisch für einen gegebenen Baum sind und die nahe des Fußes dieses Baumes nachgewiesen wurden sowie andererseits den entsprechenden Parametern für den wirtschaftlich genutzten Stammteil.

Diese beiden letzten Ergebnisse (jene von ZHANG *et al.* ebenso wie diejenigen von DEGRON und NEPVEU) belegen, daß es mittels zerstörungsfreier Messungen der Rohdichte, welche aus einem nahe des Fußes des ausgewachsenen Baumes entnommenen Zuwachskern entnommen wurde, möglich ist, geeignete Holzgütemerkmale im wirtschaftlich genutzten Teil des Baumes zu evaluieren.

- MATHER *et al.* (1993) haben den Beweis erbracht, daß ganz eindeutige Unterschiede zwischen spät- und frühaustreibenden Bäumen für ein anatomisches Merkmal wie der Querschnittsfläche der Frühholzgefäße bestehen, mit welcher sich anerkanntermaßen frostrissige Eichen von den anderen unterscheiden lassen (SAVILL 1986;  $67.000 \mu\text{m}^2$  für frühaustreibende Eichen -  $84.000 \mu\text{m}^2$  für spätaustreibende Eichen).

## 4. Diskussion und Folgerungen

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es eine relativ hohe Anzahl von jüngst gewonnenen bzw. derzeit anfallenden Versuchsergebnissen bezüglich der Holzqualität bei unseren beiden Haupteichenarten (Stiel- und Traubeneiche). Diese Ergebnisse stehen in Bezug mit Forschungsbereichen wie phänotypischer Variabilität und Modellbildung im Baum für anatomische, chemische, physikalische und technologische Holzeigenschaften, wie genetischer Kontrolle über Holzgütemerkmale, wie dem Nachweis von wesentlichen Holzmerkmalen in Verbindung mit industrieller Nutzbarkeit der Eiche, wie sie von den Endverbrauchern gesehen wird, und wie der zerstörungsfreien Bestimmung solcher elementarer Holzmerkmale.

Diese Ergebnisse insgesamt beweisen, daß sich viel von einer genetischen Verbesserung der Holzqualität bei Eiche (*Quercus petraea* und *Quercus robur*) erhoffen läßt. Allerdings müssen zwangsläufig in nächster Zeit eine Reihe von Arbeiten durchgeführt werden, um eine klare und effiziente Strategie für eine Selektion hinsichtlich der Holzqualität bei Eiche an der Hand zu haben. Nach unserer Auffassung sollten vier Hauptaufgaben gelöst werden:

- die Festlegung ausgewählter wesentlicher Holzgütemerkmale, die in Beziehung stehen (1) mit der industriellen Nutzbarkeit von Eichenholz für Möbel, für Tischlereierzeugnisse und für die Faßdaubenanfertigung wie auch (2) mit schwerwiegenden Mängeln wie Frostrissen, Sternrissen und Mondringen. Eine solche Aufgabe erfordert die Entwicklung von technologischen Untersuchungen (Mechanik, Wärme- und Massentransfer, Erkenntnisse über die Anforderungen der Endverbraucher etc.);
- die Vorgabe einer eindeutigen Vorgehensweise, um die zerstörungsfreie Selektion von ausgewachsenen Eichen bezüglich der oben erwähnten Liste mit den wesentlichen Holzmerkmalen durchzuführen. In diese Aufgabe schließen wir den Nachweis von möglichen Zusammenhängen zwischen phänologischen Merkmalen, der Baumarchitektur und den wesentlichen Holzmerkmalen mit nachgewiesener Eignung für die industrielle Nutzbarkeit von Holz ein. Aufgrund unserer ersten Ergebnisse (noch zu bestätigen) ist zu hoffen, daß solche grundlegenden

Holzmerkmale mittels mikrodensitometrischer Messungen an einem in der Nähe des Baumfußes entnommenen Zuwachskern bestimmt werden können;

- eine vollständige Ausnutzung der (leider nur spärlich) vorhandenen genetischen Versuche bei Eiche vorzunehmen. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften des größten Teils der verfügbaren Versuche (geringe Anzahl an genetischen Einheiten, geringe Zahl von Bäumen in jeder Einheit, das Fehlen von Wiederholungen, verhältnismäßig junges Alter, keine Informationen über die Elternbäumen *etc.*) ist die Hilfe von den Personen, die sich mit quantitativer Genetik und Statistik beschäftigen, für diese Aufgabe hinsichtlich einer genauen Information über die zu erfassenden Daten unbedingt erforderlich;
- die Förderung der Anpflanzung von neuen genetischen Versuchen mit einer hinreichenden Anzahl an genetischen Einheiten (Herkunft, Nachkommenschaft, Klone) sowie mit einer angemessenen Anzahl an Wiederholungen. Besondere Aufmerksamkeit sollte notwendigerweise der Charakterisierung der Holzgütemerkmale der Elternbäume gewidmet werden, um die Erbllichkeit von diesen Merkmalen im Wald richtig zu bestimmen.

Zudem erscheint es höchst interessant, wissenschaftliche Kontakte mit Ökophysiologen herzustellen, um die Folgen einer möglichen Selektion von Eigenschaften wie der Querschnittsfläche der Frühholzgefäße und der Splintholzbreite in Hinsicht auf die Anpassungsfähigkeit des Baumes abzuschätzen.

Die Kooperationsprojekte für Holz, Waldbau und Genetik von Eiche, die gegenwärtig in der Planung bzw. bereits im Gange sind und die auch bei der *EU* im Rahmen des *Fair Forschungsprogramms 1994-1998* von mehreren Forschungsgruppen aus Deutschland, Frankreich und anderen europäischen Ländern eingereicht worden sind, lassen einen daran glauben, daß bei unseren beiden Haupteichenarten in naher Zukunft bezüglich der Züchtung auf Holzqualität mehr bekannt sein und getan werden dürfte.

## 5. Literatur

- ACKERMANN, F.: Étude de l'influence du type de station forestière sur la qualité du bois de Chêne pédonculé (*Quercus robur*) dans les chênaies de l'Adour et des côteaux basco-béarnais. *Annales des Sciences Forestières* (zur Veröffentlichung eingereicht).
- BECKER, M. (1979): Une étude phyto-écologique sur les plateaux calcaires du Nord-Est (massif de Haye, 54). Utilisation de l'analyse des correspondances dans la typologie des stations. Relations entre la productivité et la qualité du Hêtre et du Chêne. *Annales des Sciences Forestières*, 36(2), pp. 93-124.
- BIROT, Y.; DUFOUR, J.; FERRANDES, P.; TEISSIER DU CROS, E.; AZOEU, P. et HOSLIN, R. (1980): Variabilité de l'angle du fil du bois chez quelques feuillus: Hêtre, Chêne et *Eucalyptus dalrympleana*. *Annales des Sciences Forestières*, 37, pp. 19-36.
- BOEDEC, S. et TOSTEN, G. (1994): Modélisation statistique intraarbre de l'angle du fil du bois chez le Chêne rouvre (*Quercus petraea* Liebl.). Effets individuels. Possibilités d'une estimation non destructive en forêt. Rapport de stage d'IUT, IUT de Vannes, Université de Rennes II, Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois, INRA-CRF, Nancy-Champenoux, 88 pp.
- CINOTTI, B. (1991): Recherche de propriétés intrinsèques du bois pouvant expliquer la sensibilité à la gélivure de *Quercus petraea* (Liebl.) et *Q. robur* (L.). *Annales des Sciences Forestières*, 48(4), pp. 453-468.
- COURTOISIER, F. (1976): Étude des relations entre stations et qualité du bois de Chêne en forêt de Bride et de St. Jean. Rapport de stage ENITEF, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, INRA-CRF, Nancy-Champenoux, Juillet, 54 pp. + annexes.
- DEGRON, R. et NEPVEU, G.: Modélisation intracerne de la densité du bois de Chêne rouvre (*Quercus petraea* Liebl.). Application à l'étude de la variabilité dans l'arbre et entre les arbres de la densité du bois. *Annales des Sciences Forestières* (zur Veröffentlichung eingereicht).
- DERET-VARCIN, E. (1983): Étude comparative de la qualité du bois de trois types de Chênes (rouvre, pédonculé et intermédiaire) en forêt de Morimond. *Annales des Sciences Forestières*, 40(4), pp. 373-398.
- DRAPIER, J. (1987): Étude de la potentialité forestière des stations par l'Inventaire Forestier National. Les plateaux calcaires de Haute-Marne. *Revue Forestière Française*, XXXIX, 5, pp. 425-435.
- DUPOUEY, J.L. (1983): Étude phyto-sociologique et écologique du massif forestier de Haguenau (Bas-Rhin). Apports méthodologiques, potentialités sylvicoles. INRA Paris-Grignon. Thèse de Docteur-Ingénieur, 140 pp.

- EYONO OWOUNDI, R. (1991): Modélisation de la rétractibilité du bois par la largeur de cerne, l'âge médullaire et la densité du bois des Chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* Liebl.). Appendix to the final report of EC contract: Genetics and Breeding of Oaks. Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 23 pp.
- FEUILLAT, F.; HUBER, F. et KELLER, R. (1993): La porosité du bois de Chêne (*Quercus robur* L.; *Quercus petraea* Liebl.) utilisé en tonnellerie. Relation avec la variabilité de quelques caractéristiques physiques et anatomiques du bois. *Revue Française d'Oenologie*, 142, pp. 5-19.
- FEUILLAT, F.; PERRIN, J.R. et KELLER, R. (1994): Simulation expérimentale de „l'interface tonneau“: mesure des cinétiques d'imprégnation du liquide dans le bois et d'évaporation de surface. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 28(3), pp. 227-245.
- FLOT, J.L. (1988): La couleur du Chêne de tranchage français. Méthodologie de la mesure, variabilité géographique, classement industriel et incidences économiques. 3rd year thesis, ENITEF, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 89 pp.
- HENMANN, G.S. (1984): Oak wood structure and the problem of shake. *In*: Report of the 4th Meeting of National Hardwoods Programme. Commonwealth Forestry Institute, Oxford, pp. 10-16.
- HOFMANN, P. (1987): Mesure de la variabilité de la couleur du bois: méthodologie et influences de l'anatomie du plan ligneux et des variations angulaires du débit. DEA Sciences du Bois, Université de Nancy I, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, INRA-CRF, Nancy-Champenoux, Octobre, 74 pp.
- HUBER, B.; HOLDHEIDE, W. und RAACK, K. (1941): Zur Frage der Unterscheidbarkeit des Holzes von Stiel- und Traubeneiche. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 4(11), S. 373-380.
- HUBER, F. (1991a): Variabilité et liaisons phénotypiques juvénile-adulte pour la structure anatomique du bois des Chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* Liebl.). Appendix to the final report of EC contract: Genetics and Breeding of Oaks, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 89 pp.
- HUBER, F. (1991b): Modélisation de l'infradensité du bois en fonction de la largeur de cerne et de l'âge médullaire chez les Chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* Liebl.). Appendix to the final report of EC contract: Genetics and Breeding of Oaks, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 21 pp.
- HUBER, F. et KELLER, R. (1993): Variabilité de la constitution anatomique d'accroissements annuels de Chênes indigènes. *Acta Botanica Gallica*, 140(4), pp. 383-388.



- KANOWSKI, P.J.; MATHER, R.A. and SAVILL, P.S. (1990): Genetic control of oak shakes: some preliminary results. *Silvae Genetica*, 40(3-4), pp. 166-168.
- KLUMPERS, J. (1994): Le déterminisme de la couleur du bois de Chêne. Étude sur les relations entre la couleur et les propriétés physiques, chimiques et anatomiques ainsi que des caractéristiques de croissance. Thèse de Docteur de l'ENGREF, spécialité Sciences du Bois, ENGREF, Equipe de Recherches sur la Qualité des Bois, INRA-CRF, Nancy-Champenoux, 195 pp. + annexes.
- KLUMPERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. and LEVY, G. (1993): The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. *Annales des Sciences Forestières*, 50, suppl. 1, pp. 403-409.
- LAMPRECHT, H. (1950): Über den Einfluss von Umweltfaktoren auf die Frostrissbildung bei Stiel- und Traubeneiche in Nordostschweizerischen Mittelland. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 26(2), S. 359-418.
- MARCHAL, R. (1983): Intérêt de la prise en compte de caractéristiques physiques et anatomiques simples du bois de Chêne pour l'appréciation de la qualité des placages d'ébénisterie. DEA thesis, Université de Nancy I, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 105 pp.
- MASSON, G.; MOUTOUNET, M. and PUECH, J.L. (1995a): Ellagitannin content of oak wood as a function of species and of sampling position in the tree. *American Journal of Enology and Viticulture* (im Druck).
- MASSON, G.; GUICHARD, B.; FOURNIER, N. and PUECH, J.L. (1995b): Stereoisomers of  $\beta$ -methyl  $\gamma$ -octalactone. II. Contents in wood of French (*Quercus robur* and *petraea*) and American (*Quercus alba*) oaks. *American Journal of Enology and Viticulture* (im Druck).
- MATHER, R.A.; KANOWSKI, P.J. and SAVILL, P.S. (1993): Genetic determination of vessel area in Oak (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* Liebl.): a characteristic related to the occurrence of stem shakes. *Annales des Sciences Forestières*, 50, suppl. 1, pp. 395-398.
- MAZET, J.F. et JANIN, G. (1990): La qualité de l'aspect des placages de Chênes: mesures de couleur et critères d'appréciation des professionnels français et italiens. *Annales des Sciences Forestières*, 47(3), pp. 255-268.
- MILLER, P. (1987): La gélivure des Chênes pédonculé et sessile dans le centre de la France. Aspects descriptif, stationnel, technologique et sylvicole. 3rd year thesis, ENITEF, 70 pp.
- MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE (1994): Graph forêt bois 1994. Agreste, La Statistique Agricole, 70 pp.

- MOSEDALE, J. (1995): Variation of oak wood properties influencing the maturation of whisky. Thesis submitted to the University of Oxford for a Ph.D. degree, February 7, 181 pp.
- NEPVEU, G. (1982): Variabilité clonale de l'infradensité chez *Quercus petraea*. Premiers résultats obtenus sur boutures d'un an. *Annales des Sciences Forestières*, 39(2), pp. 151-164.
- NEPVEU, G. (1984a): Contrôle héréditaire de la densité et de la rétractibilité du bois de trois espèces de Chênes (*Quercus petraea*, *Quercus robur* et *Quercus rubra*). *Silvae Genetica* 33(4-5), pp. 110-115.
- NEPVEU, G. (1984b): Déterminisme génotypique de la structure anatomique du bois chez *Quercus robur*. *Silvae Genetica*, 33(2-3), pp. 91-95.
- NEPVEU, G. (1993): The possible status of wood quality in oak breeding programs (*Quercus petraea* Liebl. and *Quercus robur* L.). *Annales des Sciences Forestières*, 50, suppl. 1, pp. 388-394.
- NEPVEU, G. et HUBER, F. (1991): Variabilité inter- et intra-arbre du nombre de rayons ligneux chez les Chênes indigènes (*Quercus robur* L. et *Quercus petraea* Liebl.). Procédure d'échantillonnage. Appendix to the final report of EC contract: Genetics and Breeding of Oaks, Station de Recherches sur la Qualité des Bois, CRF, INRA, Nancy, 14 pp.
- PELLECUER, B. (1976): L'écologie des Chênes en forêt de Morimond et ses applications sylvicoles. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Nancy I, 173 pp.
- POLGE, H. et KELLER, R. (1973): Qualité du bois et largeur d'accroissement en forêt de Tronçais. *Annales des Sciences Forestières*, 30, pp. 91-126.
- POLGE, H.; LEMOINE, M. et DERET, E. (1977): Étude de la variabilité spécifique et infraspécifique de la structure du bois de Chêne à l'aide d'un analyseur d'images. *Annales des Sciences Forestières*, 34(4), pp. 285-292.
- RINK, G. and McBRIDE, F.D. (1993): Variation in 15-year-old *Quercus robur* L. and *Quercus alba* L. heartwood luminance and specific gravity. *Annales des Sciences Forestières*, 50, suppl. 1, pp. 430-434.
- SALLENAVE, P. (1964): Propriétés physiques et mécaniques des bois tropicaux. Document Centre Technique Forestier Tropical, Premier supplément, 79 pp.
- SAVILL, P.S. (1986): Anatomical characters in the wood of Oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* Liebl.) which predispose trees to shake. *Commonwealth Forest Review*, 65, pp. 109-116.
- SAVILL, P.S. and KANOWSKI, P.J. (1993): Tree improvement programs for European oaks: goals and strategies. *Annales des Sciences Forestières*, 50, suppl. 1, pp. 368-383.

WALKER, F.S. (1978): Pedunculate and sessile oaks: species determination from differences between their wood. *Dendrochronology in Europe*. National Maritime Museum, Greenwich, Archeologia, series no. 4. Research Laboratory for Archeology and History of Art, Oxford University publication no. 2, Bar intern. Series 51 (J. FLETCHER, ed.).

ZHANG, S.Y.; EYONO OWOUNDI, R.; NEPVEU, G.; MOTHE, F. and DHÔTE, J.F. (1993): Modelling wood density in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) and simulating the silvicultural influence. *Canadian Journal of Forest Research*, 23, pp. 2587-2593.

ZHANG, S.Y.; NEPVEU, G. and MOTHE, F. (1994): Modelling intratree wood shrinkage in European oak by measuring wood density. *Forest Products Journal*, 44(10), pp. 42-46.

ZHANG, S.Y.; EYONO OWOUNDI, R.; NEPVEU, G. and MOTHE, F. (1995): Modelling wood shrinkage and simulating the silvicultural influence in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). *Holzforschung*, 49(1), pp. 35-44.

# Nachzucht und Kulturpflege von Werteichenbeständen in den Buntsandsteingebieten Unterfrankens - also im wesentlichen im Spessart, Bayer. Odenwald und Vorrhön <sup>1)</sup>

Rudolf Grimm

Bayerische Oberforstdirektion Würzburg  
D-97070 Würzburg

**Keywords:** *Quercus petraea*, high-quality oak, regeneration, tending, thinning measures

## Summary

Title of the paper: Regeneration and tending of high-quality oak stands in the new red sandstone regions of Lower Franconia - particularly in the Spessart, Bavarian Odenwald and Vorrhön.

Our intention is to cultivate high-quality oak with narrow annual rings (ring width  $\pm 2$  mm) in stands of high stem numbers. We strive for long branchless boles (15 - 20 m). Our thinning operations must be performed continuously and carefully so that particularly in the period of time up to increment thinning, the repeatedly mentioned gentle crown tension will not be removed.

We hope that we will read properly from the development of our mature stands which arose by the outlined way so that we will be successful in managing the same within a period of 250 years by applying the methods given. In a period of service of only 20 years „on the spot“ this goal is worked on by 10 - 15 generations of forest people. We think that experiments should be avoided in the course of this.

**Schlüsselwörter:** *Quercus petraea*, Werteiche, Nachzucht, Kulturpflege, Durchforstungseingriffe

## Zusammenfassung

Wir wollen Werteichen mit schmalen Jahrringen ( $\pm 2$ mm) in stammzahlreichen Beständen nachziehen. Wir streben lange, astreine Schäfte an (15 - 20 m). Unsere Durchforstungseingriffe müssen stetig und behutsam sein, damit vor allem in der Zeitspanne bis zur Lichtwuchsdurchforstung die mehrfach erwähnte sanfte Kronenspannung nicht aufgehoben wird.

Am Werdegang unserer Altbestände, die im großen und ganzen auf die geschilderte Art und Weise entstanden sind, hoffen wir richtig abzulesen, daß es uns gelingt, mit dem beschriebenen Verfahren ähnliches in einem Zeitraum von rund 250 Jahren zu schaffen. Bei einer Dienstzeit von nur 20 Jahren „vor Ort“ arbeiten an diesem Ziel 10 - 15 Generationen von Forstleuten. Experimente glauben wir dabei vermeiden zu sollen.

<sup>1)</sup> gemäß der „Erziehungs- und Pflegegrundsätze für Wert-Eiche“, derzeit gültig für die Forstämter der Oberforstdirektion Würzburg (Urfassung im wesentlichen zusammengestellt von Wolfgang Fleder).

# 1. Einleitung

Hier ziehen wir die Eiche grundsätzlich bestandsweise alleinherrschend über zwischen- und unterständigem Laubschattholz - Buche, z.T. auch Hainbuche und Linde nach. Das geschieht so seit etwa 200 Jahren - mit dem Ziel „Wertholz“ seit gut 100 Jahren.

Das dabei entwickelte Verfahren, an dem viele Generationen von Forstleuten mitgearbeitet haben, schließt selbstverständlich auch die weiter zurückreichende Bestandsgeschichte der sehr viel älteren, heute hiebsreifen Erntebestände - wie den Rohrbrunner Heisterblock - ein.

# 2. Bedeutung der Traubeneiche

Die **Bedeutung der Traubeneiche im öffentlichen Wald Unterfrankens** ergibt sich aus folgenden Zahlen:

Sie nimmt eine Holzbodenfläche von rund 40.000 ha ein (Staatswald und Wald öffentlich-rechtlicher Körperschaften). Das sind rund 19% der gesamten Holzbodenfläche des öffentlichen Waldes in Unterfranken.

Im allgemeinen Bestockungsziel für diese Waldungen sollte sie aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten nach unseren derzeitigen Vorstellungen auf rund 27% der Fläche vorkommen.

Von diesem Ziel sind wir derzeit noch weit entfernt. Dies zeigt besonders deutlich die Tatsache, daß sich in der 1. Altersklasse nur rund 14% der Holzbodenfläche finden, die mit Eiche bestockt sind.

### 3. Verfahren der bestandsweisen Eichennachzucht

Nun zum eigentlichen Verfahren der bestandsweisen Eichennachzucht. Wir sehen darin folgende Vorteile:

- die Mischwuchsregelung entfällt;
- es werden mit Sicherheit große Mengen an wertvollem Eichenholz auf der Bestandsfläche erzeugt;
- es bietet sich ein hohes Maß für eine gleichmäßige, wenn auch nicht übermäßig starke Kronenentwicklung der Eiche. Stärkere Schlußunterbrechungen, wie sie die Entnahme herrschend beteiligter Buche in der Regel mit sich bringt, können vermieden werden. Die Gefahr von Jahrringsprüngen und Wasserreisern ist kaum gegeben;
- wir gehen bei alleinherrschender Eiche mit einer hohen Zahl gutveranlagter Individuen in das Durchforstungsstadium,
- und das zwischen- und unterständige Laubholz bleibt bis zur Hiebsreife der Eiche bei etwa 250 Jahren im allgemeinen funktionsfähig. Seine Holzerzeugung spielt im Bestandsleben keine Rolle.

Die Bestände, die für eine Werteichennachzucht vorgesehen sind, sollen hiebsreif sein. Nur dann kann der Verjüngungszeitraum dem Lichtbedürfnis der jungen Eiche so angepaßt werden, daß dies ohne Wertzuwachsverlust am Verjüngungsbestand möglich ist. Andernfalls läuft man Gefahr, nicht hiebsreife, wertvolle Altbäume zu opfern, damit die junge Eiche nicht wegen Lichtmangel wieder verschwindet.

Als besonders geeignete Standorte des Buntsandsteins für das Bestockungsziel „Werteiche“ sehen wir die mäßig frischen bis schwach wechselfeuchten an, nicht so sehr die Eichenzwangsstandorte der Buntsandsteinverebnungen.

Die Begründung dieser Bestände erfolgt in der Regel durch Saat, ausnahmsweise durch Pflanzung oder Naturverjüngung.

Es werden zwischen 12 und 15 Zentnern pro Hektar gesät. Die Saatflächen betragen etwa 1 - 3 ha. Die Saat erfolgt bei Laubholzvorbestockung grundsätzlich unter Schirm, bei

Fichtenvorbestockung ist dies auch in Ausnahmefällen auf der Kahlfläche denkbar, nicht allerdings bei Frostlagen.

Die Saat erfolgt in Reihen in den Mineralboden, d.h. nach entsprechender Bodenbearbeitung. Die dabei eingesetzten Maschinen und Verfahren sind örtlich unterschiedlich. Der Altholzschirm wird dann nach dem Lichtbedürfnis der aufgelaufenen Saat in mehreren Eingriffen zurück- und schließlich ganz entnommen.

Spätestens zu diesem Zeitpunkt soll die Laubschattholzbeimischung ausreichend vorhanden sein - durch Naturverjüngung im Idealfall - oder durch Pflanzung.

Wenn wir das Bestockungsziel durch Pflanzung erreichen wollen, sehen wir 8.000 - 10.000 Eichen und 3.000 - 5.000 Buchen, Hainbuchen, Linden vor. Auch die Pflanzung erfolgt in der Regel unter Schirm.

In der **Phase der Jungwuchspflege** sollen die Eichenflächen bis zum Schließen freigehalten werden von verdämmender Konkurrenzflora. Dabei muß man sich vor Übertreibungen hüten. Die Eiche verträgt einiges.

In der etwa mannshohen, gerade noch überschaubaren Fläche werden in einem nächsten Schritt die unerwünschten vorherrschenden „Nicht-Eichen“ entnommen. In der Eiche selbst fallen nur die allergrößten Vorwüchse. Anschließend ist eine Pflegeruhe bis zur 4 - 5 m hohen Dichtung durchaus denkbar.

Die eigentliche Dichtungspflege beginnt mit der Anlage von Pflegepfaden. Unerwünschte „Nicht-Eichen“ der Oberschicht, vor allem Nadelhölzer, werden entnommen. Dies gilt auch für ausgesprochene Eichen-Protzen. Wenn die Schattlaubholz-Unterstufe kümmernd, wird in der mitherrschenden Eiche etwas Luft gemacht. Ansonsten werden überwachsene Eichen nicht beachtet.

Die Eiche wird bei uns **nicht** geastet.

Nach in der Regel mehrjähriger Pflageruhe erfolgen die nächsten Eingriffe dann, wenn sich Laubschatthölzer wieder im Herrschenden breit machen und wenn vorwüchsige Eichen ausladend werden. Auch dieser Eingriff hat noch den Charakter einer ausgesprochenen Negativauslese.

In der eigentlichen Höhenwuchsphase beginnen wir dann mit der behutsamen Förderung der Gutveranlagten bei stetiger Erhaltung sanfter Kronenspannung. Schlechtformige Vorherrschende werden aber auch jetzt noch entnommen. Die oben erwähnte sanfte Kronenspannung ist uns deshalb so wichtig, weil die Äste, die am unteren und mittleren Abschnitt des künftigen Stammes sitzen, nicht verkernen, also nicht zu stark werden dürfen. Der Baum muß sie abstoßen können.

Bei jedem Durchforstungsgang werden die Gutveranlagten erneut überprüft bzw. ausgewählt. Ein Z-Baum-Verfahren, orientiert an einer Endbaumzahl, kennen wir nicht. Es wird auch keine Abstandsdurchforstung durchgeführt, bei der etwa eine gute Eiche von einer noch besseren weggenommen wird - jedenfalls nicht über das Ziel hinaus, eine sanfte Kronenspannung zu erhalten.

Rottenstrukturen werden, wo immer notwendig, erhalten. Das Beispiel „Heisterblock“ im Forstamt Rohrbrunn lehrt uns, daß 350jährige Alteichen mit 15 - 18, ja 20 m langen astfreien Schäften in ganz geringem Abstand nebeneinander stehen können.

Zum endgültigen Kronenausbau erfolgt dann in der **Phase der Lichtwuchsdurchforstung** auch eine Schlußdurchbrechung. Eine generelle Endbaumzahl wird nicht angestrebt. Sie ist nach Standort und Bestand unterschiedlich.

Die in das Kronendach durchstechende Buche wird auch jetzt noch (in der Lichtwuchsdurchforstung) fortlaufend entnommen, sofern sie eine gute Eiche bedrängt.

Auflichtungen in der Eiche zugunsten eines eventuellen Unterbaus oder der Laubholz-Unterstufe erfolgen in der Regel nicht. Die Angst vor dem Wasserreiser verbietet das.



# Überschirmungstoleranz von Stiel- und Traubeneichen als Voraussetzung für Verjüngungsverfahren unter Schirm

Burghard von Lüpke

Institut für Waldbau, Abt. 1  
Georg-August-Universität  
D-37077 Göttingen

**Keywords:** *Quercus*, sheltering tolerance, shading experiments, increment, height, diameter, dry matter, mature stand shelters, beech, Scots pine

## Summary

Title of the paper: Sheltering tolerance of pedunculate and sessile oaks as a requirement for methods of regeneration under shelter.

As a rule, new silviculture programs reject clearcuttings as a regenerating method, on the other hand however, they provide the conversion of spruce and Scots pine stands which grow on unsuited sites into deciduous tree stands being in accordance with the local conditions. The question arises how far these objectives can be linked with each other when establishing oak stands. Similar problems arise also for including oak in beech natural regenerations, for the natural regeneration of oak stands and for the small-scale, all-aged regeneration in very uneven mature stands. In these cases information as accurate as possible is required on how much sheltering the oak regeneration tolerates, *i.e.* how big the sheltering tolerance of oak is in the brush stage.

When growing under a mature stand shelter, the juvenile oak which is exposed to reduced irradiation, has to assert itself against the competing roots of the sheltering trees as well as the competition exerted above and below ground by the accompanying tree species in their juvenile state and the soil vegetation. For this reason the effect of different sheltering densities in mature stands of Scots pine and beech on height, diameter and dry matter growth of the juvenile pedunculate and sessile oaks from seeds and planting is discussed. Besides the qualitative development of young oaks subjected to different sheltering situations is touched on briefly.

Finally the limitation of sheltering density for an effective oak planting is discussed.

**Schlüsselwörter:** *Quercus*, Überschirmungstoleranz, Schattierungsversuche, Zuwachs, Höhe, Durchmesser, Trockensubstanz, Altbestandschirme, Buche, Kiefer

## Zusammenfassung

Neue Waldbauprogramme lehnen in der Regel Kahlschläge als Verjüngungsverfahren ab, sehen aber auf der anderen Seite die Umwandlung nicht standortgerechter Fichten- und Kiefernbestände in standortgerechte Laubholzbestände vor. Dabei stellt sich die Frage, wieweit sich diese Ziele bei der Begründung von Eichenbeständen miteinander verbinden lassen. Ähnliche Probleme stellen sich auch bei der Anreicherung von Buchennaturverjüngungen mit Eiche, bei der natürlichen Verjüngung von Eichenbeständen und bei der kleinflächigen, femelartigen Verjüngung in sehr ungleichmäßigen Altbeständen. In all diesen Situationen ist es notwendig, möglichst genaue Kenntnisse darüber zu haben, wieweit Überschirmung die Eichenverjüngung verträgt, d.h. wie groß die Überschirmungstoleranz der Eiche in der Jugend ist.

Beim Wachsen unter einem Altbestandsschirm muß die junge Eiche sich bei verminderter Einstrahlung gegenüber der Wurzelkonkurrenz der Schirmbäume und der ober- und unterirdischen Konkurrenz des begleitenden Baumartenjungwuchses und der Bodenvegetation durchsetzen. Die Intensität dieser Konkurrenzfaktoren ändert sich mit der Überschirmungsdichte. Es werden daher die Einflüsse unterschiedlicher Überschirmungsdichten in Kiefern- und Buchenaltbeständen auf das Höhen-, Durchmesser- und Trockengewichtswachstum der jungen Stiel- und Traubeneichen aus Saat und Pflanzung dargestellt. Daneben wird auch kurz die qualitative Entwicklung der Eichenjungwüchse bei unterschiedlichen Überschirmungssituationen gestreift.

Abschließend werden die Grenzen der Überschirmungsdichte für einen zweckmäßigen Eichenanbau diskutiert.

## 1. Einleitung

Eine Baumart in der Verjüngungsphase ist um so toleranter gegenüber Überschirmung, je weniger sie mit einem Zuwachsrückgang, einer Einbuße an Vitalität oder einer Verschlechterung der Form auf eine zunehmende Schirmdichte des Altbestandes reagiert. Mit der Überschirmung wird nicht nur die Einstrahlung reduziert, sondern es ändert sich zugleich ein ganzes Bündel von Wachstumsfaktoren. Wir können jedoch aufgrund mehrerer Arbeiten, wie z.B. in letzter Zeit die Untersuchungen über die Verjüngung des Bergmischwaldes in den Kalkalpen durch das Waldbau-Institut der Universität München (BRUNNER u. HUSS 1994), davon ausgehen, daß auf Standorten mit normalen (oder mittleren) Wachstumsverhältnissen der Faktor Strahlungsreduzierung weitaus die größte Rolle spielt. Er wird deshalb bei meinen folgenden Darlegungen ganz im Vordergrund stehen.

In seiner bekannten Eichen-Monografie zieht KRAHL-URBAN (1959) folgendes Fazit: "Obwohl die Eichen von der Mehrzahl der Autoren und von der Praxis zu den sogenannten Lichtholzarten gerechnet werden, ist ihr Lichtbedarf offensichtlich ebenso wie bei jeder anderen Holzart eine sehr variable Größe". Er sei vom Standort im weitesten Sinne abhängig (so z.B. im Norden größer als im Süden, auf trockeneren Böden größer als auf frischeren), von der genetischen Veranlagung der Population und des Individuums und vom Alter. Traubeneichen scheinen vor allem in der Jugend schattenertragender als Stieleichen zu sein. KRAHL-URBAN weist auch darauf hin, daß DENGLER (1935) das außerordentlich große Schattenerträgnis von Eichenjungwuchs in Rumänien auffiel, was er selbst für Trauben- und Stieleiche auch für Slowenien bestätigt. Die Eichen seien dort unter einem wesentlich dichteren Altholzschirm so gut gediehen, wie das in Deutschland oder gar in Schweden keinesfalls möglich gewesen wäre.

Für den vom Forstmann unbeeinflussten Urwald in Mitteleuropa nimmt KRAHL-URBAN auch für die Eichen eine gruppen- bis kleinhorstweise Verjüngung an, wie sie FRÖHLICH (1947) für Urwälder in Bosnien, Slawonien und Rumänien beschrieben hat. Die Eichen könnten sich allerdings nur dort halten, wo die Konkurrenz der Buche aus standörtlichen Gründen gemildert sei. Da sich Eichenwirtschaftswälder bei uns aber in der Regel auf Standorten mit gutem Buchenwachstum befinden, sei dort bei kleinflächiger

Verjüngung die Gefahr der Verdrängung der Eichen durch die Buche so ernst, daß KRAHL-URBAN dringend davon abrät. Eine maximale Wertholzleistung sei nur mit großflächigen Verjüngungsverfahren auf der Freifläche oder allenfalls bei sehr kurzfristiger, leichter Überschirmung zu erreichen. Diese Auffassung deckt sich mit der von GAYER (1895), der eine Mindestfläche von einem Hektar bei der Eichennachzucht forderte. Bis in die jüngste Vergangenheit ist nach dieser Auffassung denn auch die Verjüngung der Eichen betrieben worden. Besonders FLEDER (1981) hat für den bayerischen Spessart diese Form der Eichennachzucht immer wieder entschieden vertreten.

Erst in den letzten Jahren ist im Zuge der allgemeinen Bemühungen um eine kahlschlagfreie Gestaltung des Verjüngungsbetriebes auch bei der Eiche das Interesse an kleinflächigen Verfahren im Femel- oder Schirmschlag stark gewachsen (LANG 1988, MERGNER 1988, SCHEEDER 1989).

Eine neue Gewichtung der Vorteile

- insbesondere die Vermeidung von Nährstoffverlusten und zusätzlicher Bodenversauerung,
  - die Ausnutzung des Lichtungszuwachses im Schirmbestand,
  - die einzelstammweise Nutzung nach Zieldurchmessern und
  - der Aufbau ungleichaltriger, mehrschichtiger Mischbestände
- lassen die altbekannten Nachteile und Risiken
- so z.B. größere Ästigkeit bei einem höheren Anteil von Randeichen,
  - ungleichmäßigerer Jahrringaufbau,
  - stärkere Konkurrenz der Buche
- in vielen Betrieben heute in den Hintergrund treten. Es lohnt sich daher, sich mit der Reaktion der Eichen auf unterschiedliche Überschirmungsverhältnisse zu beschäftigen.

## 2. Künstliche Schattierungsversuche

Versuchsergebnisse mit dieser Methodik wurden von OVERTON und MCRAE (1960), JARVIS (1964), RÖHRIG (1967) und ZIEGENHAGEN und KAUSCH (1993) publiziert. Es handelt sich um Versuche mit ein- oder zweijährigen Sämlingen, die meist in Töpfen unter Schattiereinrichtungen aus Netzen, Tüchern oder Jalousien wuchsen. Trotz mancher Widersprüche und Unstimmigkeiten lassen sich daraus folgende mehr oder weniger einheitliche Reaktionen auf den Strahlungsentzug ableiten:

1. In den meisten Fällen stieg der **Höhenzuwachs** mit zunehmender Beschattung bis zu einem Maximalwert bei 20-30% Strahlung an. Bei weiter zunehmender Beschattung bis zu 10% Strahlung ging der Höhenzuwachs deutlich zurück. Diese Reaktion ist vor allem in den Untersuchungen von ZIEGENHAGEN und KAUSCH (1993) mit zweijährigen Stieleichen sehr ausgeprägt.
2. Die **Trockensubstanzproduktion** nahm schon bei den geringsten Beschattungsstufen ab. Besonders interessant sind die Ergebnisse, die JARVIS (1964) mit der Methode der Wuchsanalyse (zusammenfassend dargestellt von EVANS 1972 oder SESTAK *et al.* 1971) erzielte.

Dazu muß kurz auf die Methodik der Wuchsanalyse eingegangen werden. Sie ermittelt zunächst den gesamten Trockengewichtszuwachs als Gewichtszunahme je Einheit vorhandener Trockensubstanz (Relative Wachstumsrate RWR in mg/g) und zerlegt dann diesen Wert in die beiden Bestandteile:

- **Nettoassimilationsrate** (Gewichtszunahme je Einheit vorhandener Blattfläche, NAR in g/cm<sup>2</sup>) als Ausdruck der photosynthetischen Leistungsfähigkeit, und das
- **Blattflächenverhältnis** (Blattfläche je Gewichtseinheit Gesamttrockensubstanz, LAR in cm<sup>2</sup>/g) als Maß für den Anteil produktiven Gewebes an der Gesamtsubstanz.

Für Momentan- oder Mittelwerte einer Periode gilt die Beziehung:

$$\text{RWR} = \text{NAR} \times \text{LAR}.$$

JARVIS stellte bei den Traubeneichen-Sämlingen in der ersten Vegetationsperiode einen deutlichen Rückgang der Relativen Wachstumsrate, aber eine noch stärkere Reduzierung der Nettoassimilationsrate fest (s. Abb. 1).

Die Pflanzen vergrößerten dagegen den Anteil der Blattfläche an der Gesamtmasse, so daß dadurch ein Teil des Rückgangs der Leistungsfähigkeit der Blätter kompensiert werden konnte und die Reduzierung der Gesamttrockensubstanzproduktion nicht so stark ausfiel wie die der Nettoassimilationsrate. Diese Reaktionsweise ist für JARVIS ausschlaggebend, um einjährige Traubeneichensämlinge als Schattenpflanzen einzustufen.

Im deutlichen Gegensatz zu allen anderen Ergebnissen stellen ZIEGENHAGEN und KAUSCH (1993) merkwürdigerweise als Mittelwert der ganzen zweiten Vegetationsperiode bei Stieleichensämlingen einen Anstieg der Nettoassimilationsrate bis zu 25% Strahlung fest. Bei diesem Strahlungswert konnten sie ein ausgeprägtes Wachstumsoptimum feststellen. Für kurze, besonders strahlungsintensive Perioden läßt sich diese Erscheinung sicherlich so erklären, wie es JARVIS (1964) anhand seiner Ergebnisse für einen dreiwöchigen Zeitraum im August vorgeschlagen hat. Für eine ganze Vegetationsperiode fehlt meines Erachtens aber eine überzeugende Interpretation.

3. Die höheren Blattflächenanteile wurden z.T. zu Lasten der Wurzelgewichtsanteile gebildet. Mit abnehmender Strahlung stiegen die Sproß/Wurzel-Verhältnisse an.

Insgesamt änderte sich der Pflanzenaufbau im Schatten derart, daß längere und schwächere Pflanzen mit relativ größerer Blattfläche und relativ geringerer Wurzelmasse heranwuchsen.

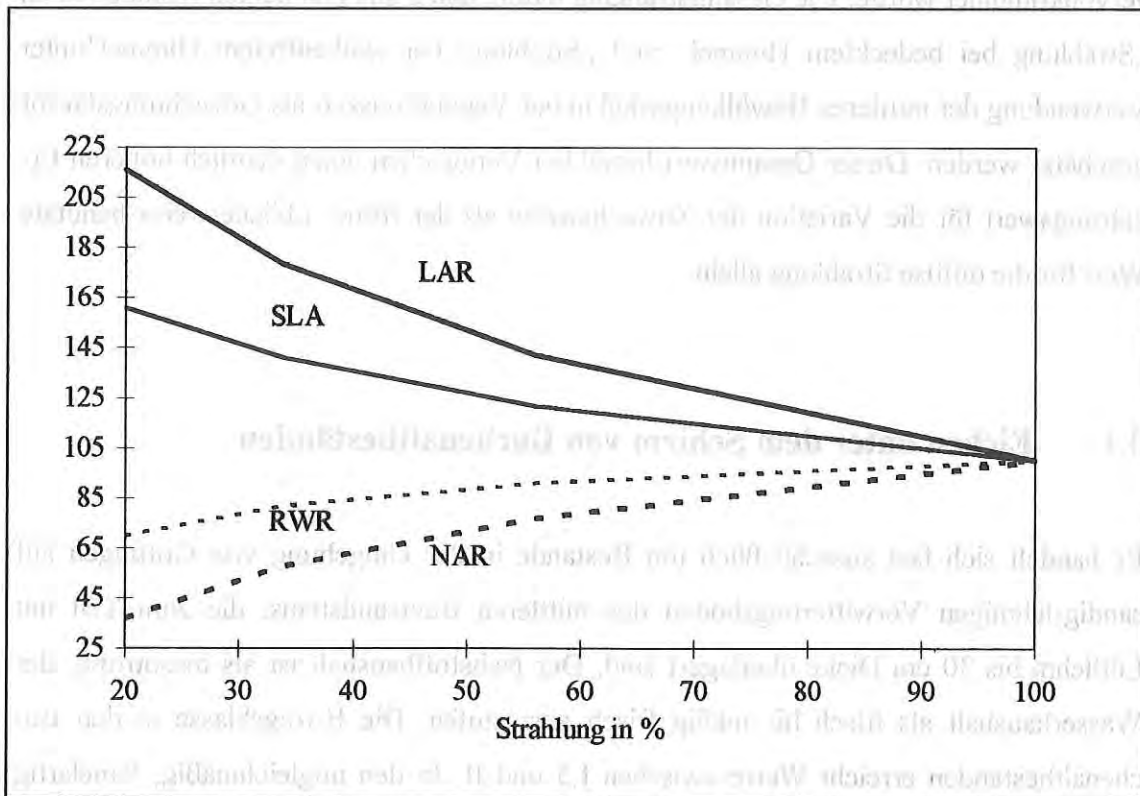
Diese grob skizzierten Ergebnisse mit jungen Sämlingen in künstlichen Schattieranlagen lassen sich sicher nicht ohne Probleme auf Freilandverhältnisse übertragen. Hierzu sind gesonderte Versuche notwendig, über die im Folgenden berichten werden soll.

Abb. 1: Relative Wachstumsrate (RWR), Nettoassimilationsrate (NAR), Blattflächenverhältnis (LAR) und Spezifische Blattfläche (SLA, Blattfläche/Blattgewicht) bei Traubeneichensämlingen in der ersten Vegetationsperiode in Abhängigkeit von der Strahlung (in % der Freilandstrahlung) bei einem künstlichen Schattierungsversuch.

Alle Angaben in % des Wertes bei Freilandstrahlung (nach JARVIS 1964).

Relative growth rate (RWR), neto assimilation rate (NAR), lear area ratio (LAR) and specific leaf area (SLA, leaf area / leaf weight) as observed in sessile oak seedlings in the first vegetation period as a function of radiation (in percent of open site radiation) in an artificial shading experiment.

All data given in percent of the open site radiation value (according to JARVIS 1964).



### **3. Versuche unter Buchen- und Kiefernaltbestandeschirm**

Die nachstehenden Ergebnisse beruhen in der Regel auf eigenen Messungen an Eichen, die unter Altbestände mit einer möglichst großen Variation im Auffichtungsgrad gepflanzt oder gesät wurden.

Die Strahlung wurde fast ausschließlich nach der Methode der hemisphärischen Fotografie (Fish-Eye-Technik) ermittelt, die in letzter Zeit von WAGNER und NAGEL (1992) vervollkommen wurde. Die Gesamtstrahlung mußte dabei aus den beiden Komponenten „Strahlung bei bedecktem Himmel“ und „Strahlung bei wolkenfreiem Himmel“ unter Verwendung der mittleren Bewölkungszahl in der Vegetationszeit als Gewichtungsfaktor geschätzt werden. Dieser Gesamtwert besaß bei Vergleichen einen deutlich höheren Erklärungswert für die Variation der Zuwachswerte als der früher üblicherweise benutzte Wert für die diffuse Strahlung allein.

#### **3.1 Eichen unter dem Schirm von Buchenaltbeständen**

Es handelt sich fast ausschließlich um Bestände in der Umgebung von Göttingen auf sandig-lehmigen Verwitterungsböden des mittleren Buntsandsteins, die zum Teil mit Lößlehm bis 30 cm Dicke überlagert sind. Der Nähstoffhaushalt ist als mesotroph, der Wasserhaushalt als frisch bis mäßig frisch einzustufen. Die Ertragsklasse in den Buchenaltbeständen erreicht Werte zwischen I,5 und II. In den ungleichmäßig, femelartig aufgelichteten Buchenbeständen beträgt die Strahlung in der Höhe der jungen Eichen zwischen 4% und 50% des Freilandwertes. Bei einem Versuch konnte zusätzlich noch eine nicht überschirmte Freifläche miteinbezogen werden (V. LÜPKE 1982 und 1987).



### 3.1.1 Höhen- und Durchmesserwachstum

Über das Höhen- und Durchmesserwachstum der Eichen unterrichten die Abb. 2-4.

Abb. 2: Höhen- und Durchmesserzuwachs von gepflanzten Traubeneichen (Forstamt Reinhausen, v. LÜPKE 1987).

Heights and diameter increment of planted sessile oaks  
(Forest district Reinhausen, v. LÜPKE 1987).

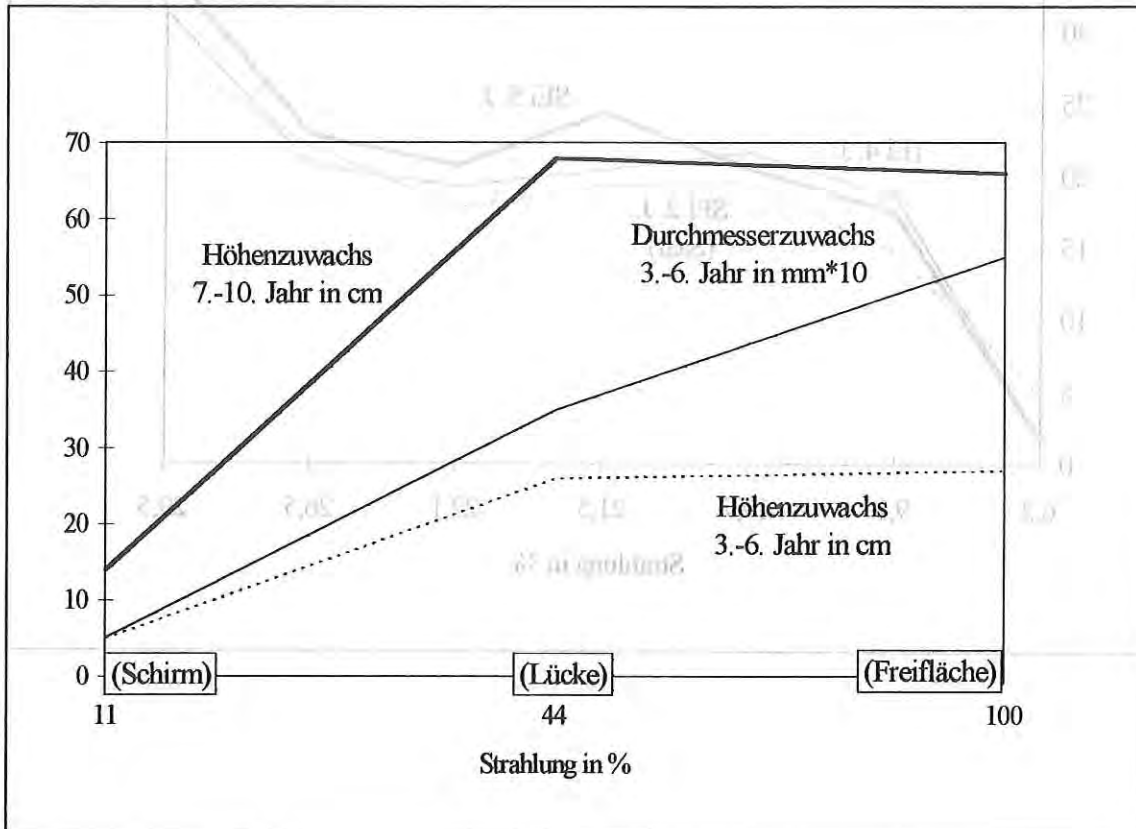


Abb. 3: Höhenzuwachs von Trauben- und Stieleichen 1993, Versuchsfäche Reinhausen Abt. 41.

Height increment of sessile and pedunculate oak in 1993, experimental plot Reinhausen, compartment 41.

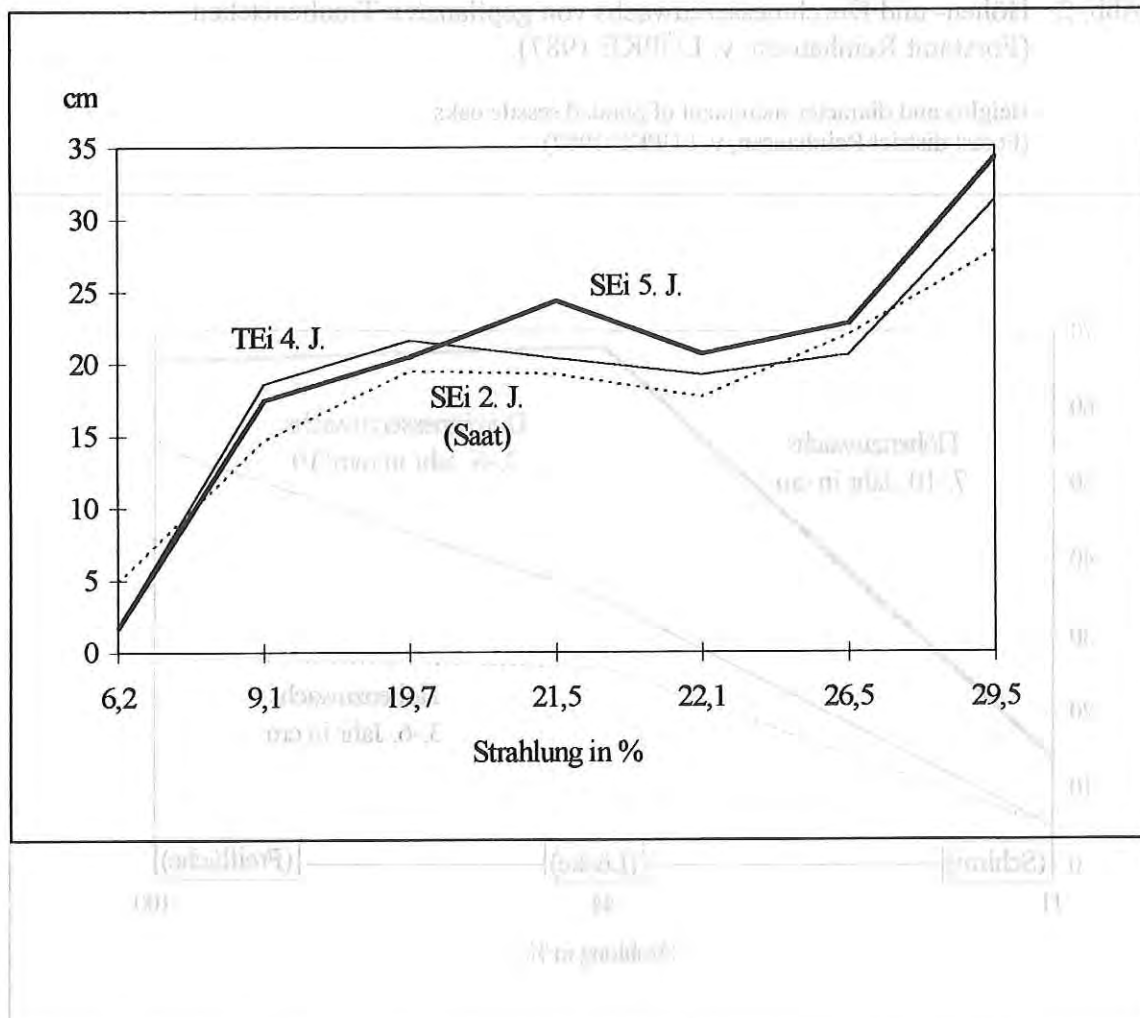
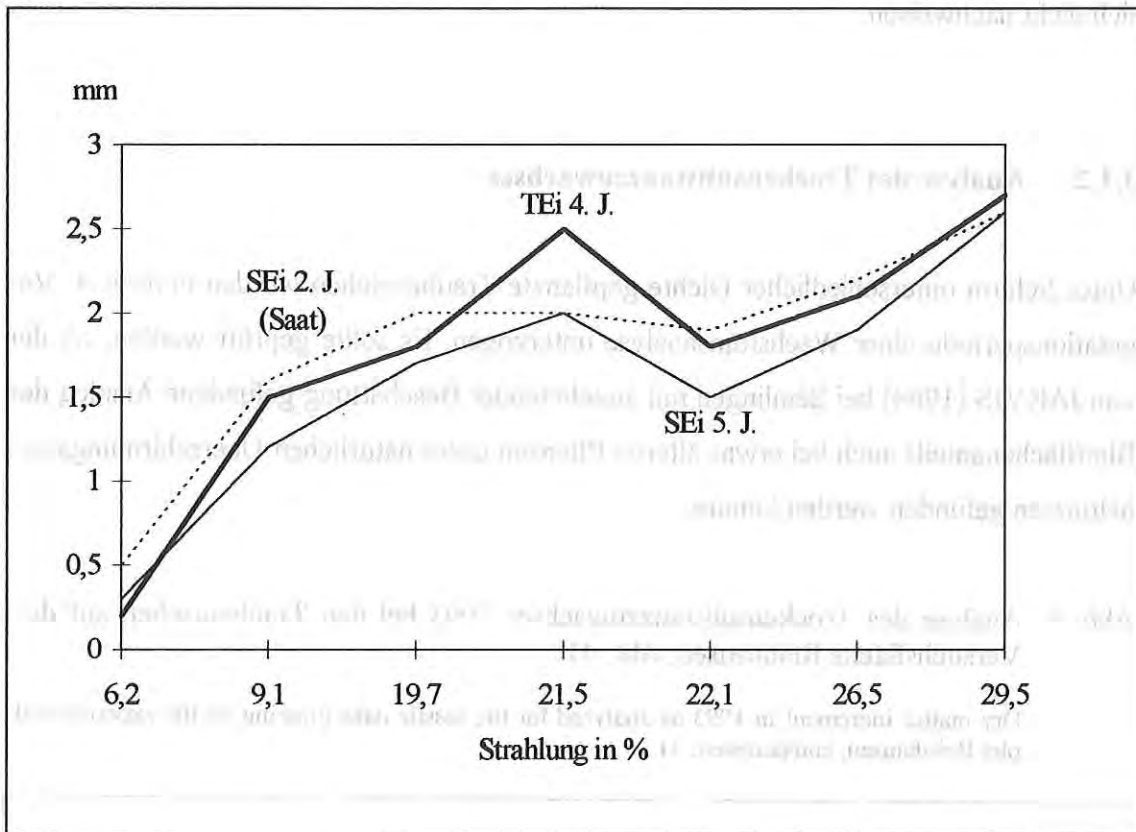


Abb. 4: Durchmesserzuwachs von Trauben- und Stieleichen 1993,  
Versuchsfläche Reinhausen Abt. 41.

Diameter increment of sessile and pedunculate oak in 1993,  
experimental plot Reinhausen, compartment 41.



Danach reduzierten die Eichen ihr Höhenwachstum erst bei Strahlungswerten von unter 50%.

Ein weiterer Grenzwert, bei dessen Unterschreiten ein erneuter und drastischer Rückgang zu verzeichnen war, konnte bei etwa 10% festgestellt werden. Zur groben Orientierung sei angefügt, daß etwa 50% Strahlung auf einer Bestandeslücke von 35 - 40 m Durchmesser (also annähernd der Höhe des umgebenden Schirmbestandes) und etwa 10% unter einem locker geschlossenem Schirm mit einem Bestockungsgrad zwischen 0,7 und 0,8 erreicht werden.

Der Durchmesserzuwachs reagierte ähnlich, wenn auch zum Teil mit einem steileren und schon früher einsetzenden Abfall bei zurückgehender Strahlung.

Aus der Abbildung 2 geht hervor, daß das Höhenwachstum mit zunehmendem Alter der Eichen empfindlicher auf Beschattung reagiert.

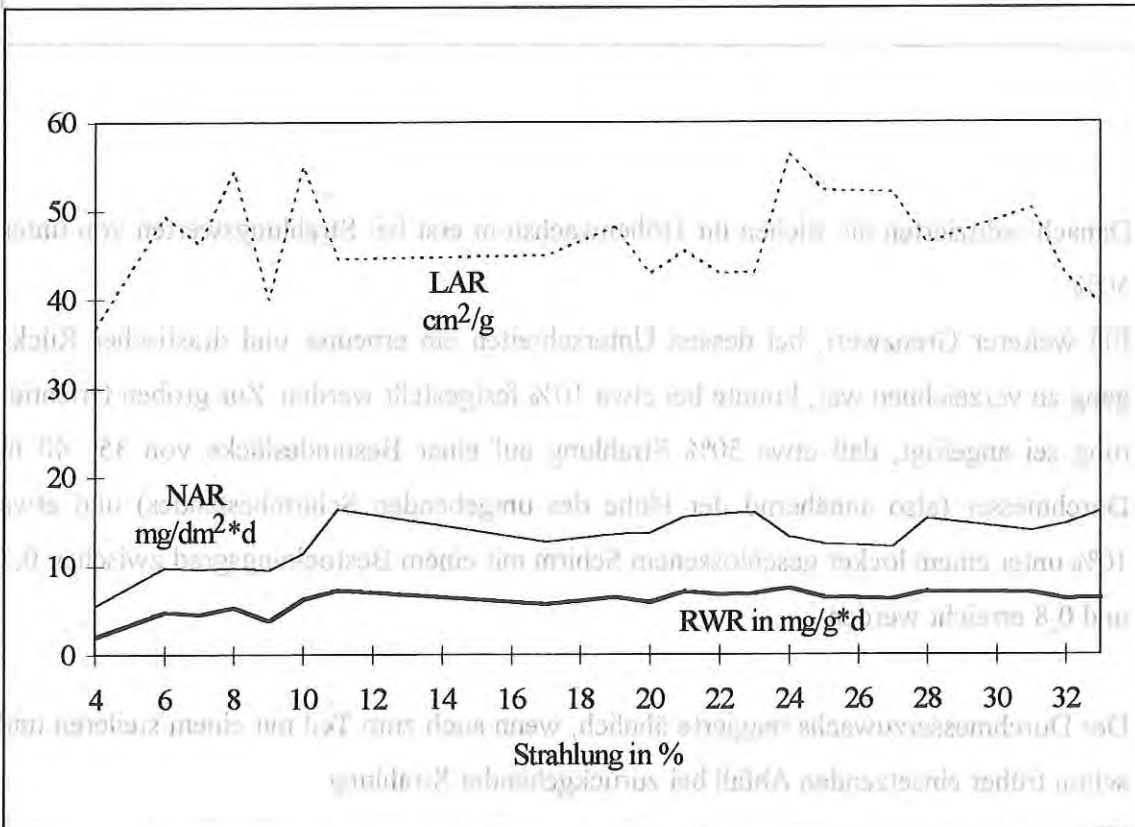
Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Arten konnte nicht beobachtet werden. Die in der Literatur oft behauptete höhere Schattentoleranz der Traubeneiche ließ sich nicht nachweisen.

### 3.1.2 Analyse des Trockensubstanzzuwachses

Unter Schirm unterschiedlicher Dichte gepflanzte Traubeneichen wurden in ihrer 4. Vegetationsperiode einer Wachstumsanalyse unterzogen. Es sollte geprüft werden, ob der von JARVIS (1964) bei Sämlingen mit zunehmender Beschattung gefundene Anstieg des Blattflächenanteils auch bei etwas älteren Pflanzen unter natürlichen Überschirmungsverhältnissen gefunden werden konnte.

Abb. 5: Analyse des Trockensubstanzzuwachses 1993 bei den Traubeneichen auf der Versuchsfläche Reinhausen, Abt. 41.

Dry matter increment in 1993 as analyzed for the sessile oaks growing on the experimental plot Reinhausen, compartment 41.



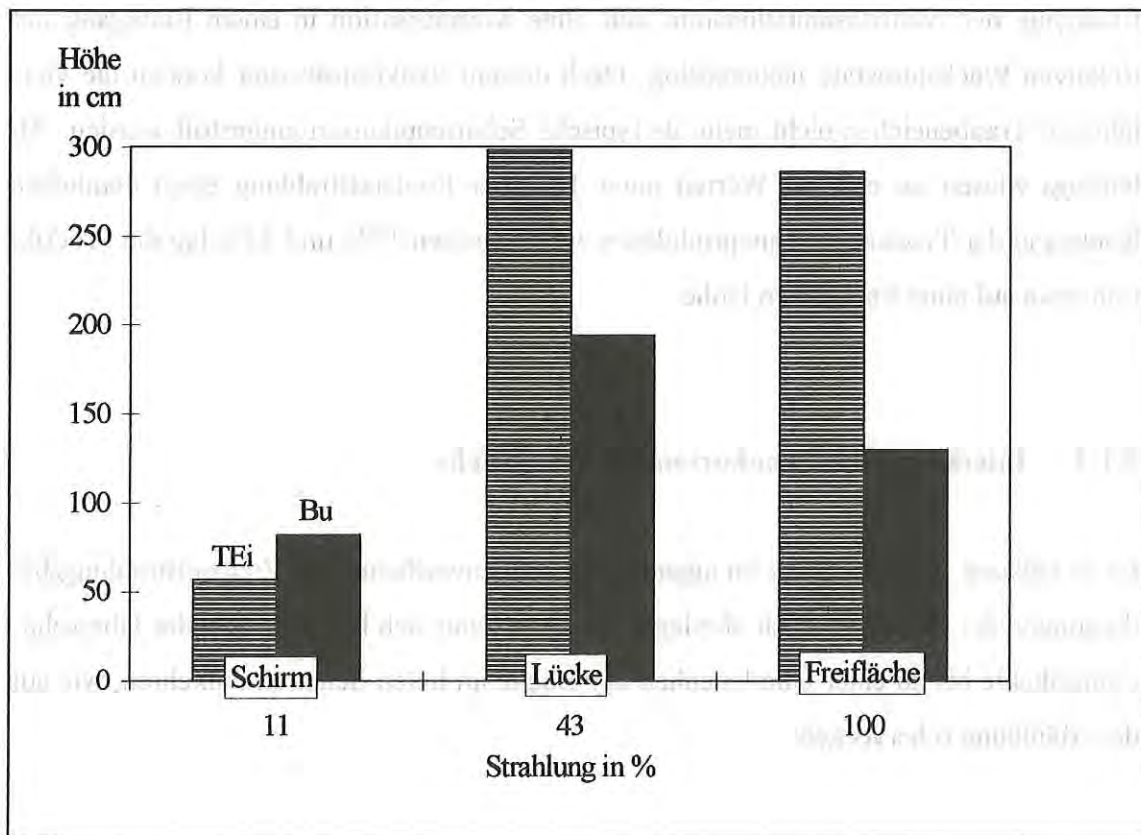
Das Ergebnis der Analyse ließ diese Reaktionsweise bei den älteren Pflanzen im untersuchten Bereich von 4 - 33% der Freilandstrahlung nicht erkennen. Das Blattflächenverhältnis wies keine signifikante Zunahme mit zurückgehender Einstrahlung auf, so daß der Rückgang der Nettoassimilationsrate sich ohne Kompensation in einem Rückgang der Relativen Wachstumsrate niederschlug. Nach diesem Reaktionsmuster können die vierjährigen Traubeneichen nicht mehr als typische Schattenpflanzen eingestuft werden. Allerdings wiesen sie erst bei Werten unter 10% der Freilandstrahlung einen deutlichen Rückgang der Trockensubstanzproduktion auf. Zwischen 10% und 33% lag die Produktion etwa auf einer konstanten Höhe.

### 3.1.3 Interspezifische Konkurrenz im Jungwuchs

Es ist bekannt, daß die Eiche im jugendlichen Höhenwachstum bei Freilandstrahlungsbedingungen der Buche deutlich überlegen ist. Dies kann sich bei zunehmender Überschirmungsdichte bis zu einer Überlegenheit der Buche im tiefen Schatten umkehren, wie aus der Abbildung 6 hervorgeht.

Abb. 6: Mittelhöhen 10j. Buchen und Traubeneichen, Reinhausen (v. LÜPKE 1987).

Mean heights of 10-year-old beech and sessile oak trees, Reinhausen (v. LÜPKE 1987).



Auch die Analyse einer 11-jährigen Dichtung aus gleichaltrigen Traubeneichen und Buchen unter lockerem bis lichtem Altbestandsschirm im Forstamt Bramwald ergab, daß der Abstand zwischen Eichen- und Buchenhöhen sich mit zunehmender Überschirmung verringerte:

Betrachtet man zunächst nur die vorherrschenden Bäume, da sie für die zukünftige Entwicklung entscheidend sind, so erreichen die Buchen

- bei einer als schwach eingestuften Überschirmung 82% der Eichenhöhen,
- bei starker Überschirmung holen sie aber auf 89% auf.

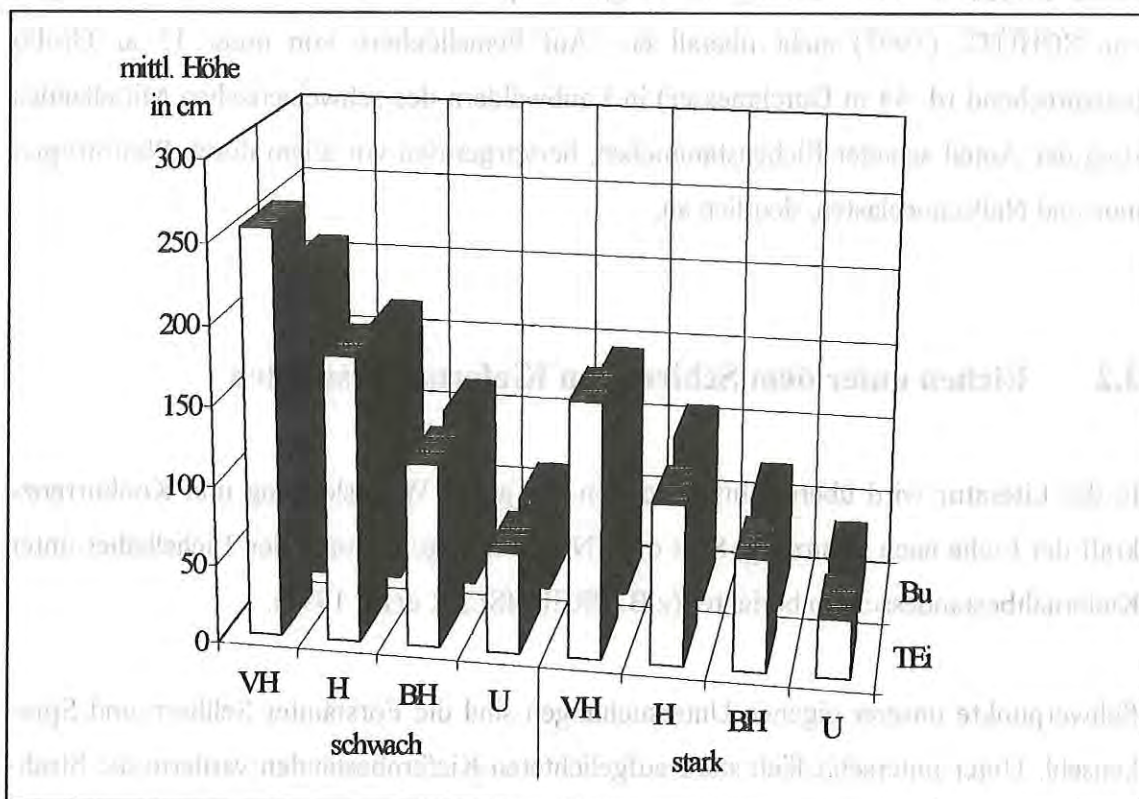
Das ist sicherlich keine dramatische Veränderung, aber innerhalb der herrschenden Baumklasse sind die Buchen bei diesem Überschirmungsgrad den Eichen schon im Mittel um 6% überlegen.

Wie in vielen anderen Untersuchungen und praktischen Erfahrungen zeigt sich hier deutlich die mit zunehmender Überschildungsdichte relativ zur Eiche ansteigende Konkurrenzkraft der Buche.

Oder anders ausgedrückt: Durch die Gestaltung der Überschildungsdichte läßt sich das Konkurrenzverhältnis zwischen Eiche und Buche steuern.

Abb. 7: 11jährige Traubeneichen- und Buchendickung mit stellenweiser Buchenaltbestandsüberschildung aus Naturverjüngung (Forstamt Bramwald).

11-year-old sessile oak and beech thicket with locally mature beech stand shelter originating form natural regenerationi (Forest dictrict Bramwald).



Für die Hainbuche trifft dies nach vielen praktischen Erfahrungen und nach Untersuchungen von DOHRENBUSCH (1994) im Forstamt Kirchheimbolanden nicht zu. Sie war der Traubeneiche nicht nur im tiefen Schatten, sondern sehr deutlich auch im vollen Licht im Höhenwachstum bis zum Alter 8 überlegen.

### 3.1.4 Qualität des Eichenjungwuchses

In diesem Zusammenhang kann auf diesen Punkt nur ganz kurz eingegangen werden. Aus eigenen Untersuchungen (V. LÜPKE 1982) geht hervor, daß der Traubeneichenjungwuchs bei mittleren Überschirmungsdichten (etwa 25 - 60% der Freilandstrahlung) zwar schlanker, aber auch feinästiger und mit größeren Häufigkeiten gerader und wipfelschäftiger Schaftformen erwächst. Das Dickenwachstum der Äste ging in einem signifikant größerem Maße zurück, als es dem allgemeinen Wachstumsrückgang mit abnehmender Strahlung entsprochen hätte.

Diese erfreuliche Verbesserung der Jungwuchsqualität tritt aber nach Beobachtungen von SCHÜTZ (1992) nicht überall ein. Auf Femellöchern von unter 15 ar Größe (entsprechend rd. 44 m Durchmesser) in Laubwäldern des schweizerischen Mittellandes stieg der Anteil schiefer Eichenstämmchen, hervorgerufen vor allem durch Phototropismus und Naßschneelasten, deutlich an.

## 3.2 Eichen unter dem Schirm von Kiefernaltbeständen

In der Literatur wird übereinstimmend von der guten Wuchsleistung und Konkurrenzkraft der Eiche nach Pflanzung, Saat oder Naturverjüngung durch den Eichelhäher unter Kiefernaltbestandesschirm berichtet (z.B. PREUHLER *et al.* 1994).

Schwerpunkte unserer eigenen Untersuchungen sind die Forstämter Sellhorn und Sprakensehl. Unter unterschiedlich stark aufgelichteten Kiefernbeständen variierte die Strahlung zwischen 30% und 70% des Freilandes. Die gepflanzten, gesäten oder natürlich verjüngten Stiel- und Traubeneichen ließen in ihrem Höhen- und Durchmesserwachstum bis zu Höhen von maximal 2 m keinen Einfluß der unterschiedlichen Überschirmungsdichten erkennen. Das Fazit, das PREUHLER *et al.* (1994) für den Nürnberger Reichswald ziehen, daß nämlich die Eiche bis zum ältesten noch untersuchten Alter von 9 Jahren mit dem Schirmdruck durch den Kiefernaltbestand offensichtlich gut zurechtkommt, kann aus den eigenen Untersuchungen bestätigt werden.



Zusätzlich hat eine Ansprache der Jungwuchsqualität ergeben, daß ein höherer Überschirmungsgrad mit einer Strahlung von im Mittel 36% des Freilandes zu einem deutlich höheren Anteil besserer Schaftformen führte als ein lockerer Überschirmungsgrad mit im Mittel 58% Strahlung (LIENAU 1993).

Als Grund für die gute Verträglichkeit des Kieferschirms ist sicherlich die hohe Strahlungsdurchlässigkeit anzunehmen. Bei den genannten Werten von über 30% der Freilandstrahlung wächst die Eiche auch unter Buchenschirm sehr gut, wie gezeigt wurde. Man muß also keine sonstige für Kiefer typische und die hohe Verträglichkeit erklärende Eigenschaft vermuten. Allerdings hat sich in unseren Untersuchungen gezeigt, daß die Wurzeldichte des Altbestandes, die als Maß für die Wurzelkonkurrenz dienen mag, unter Kieferschirm deutlich geringer als unter Buchenschirm war. Außerdem muß sicherlich in der Praxis beachtet werden, daß sich Buchenschirme im Unterschied zu Kieferschirmen schnell wieder schließen können, wenn nicht nachgelichtet wird.

#### 4. **Schlußfolgerungen**

Die Einteilung in Licht- und Schattenbaumarten wird offensichtlich den Eigenschaften der jungen Eichen nicht gerecht. Passender in diesem Zusammenhang ist sicherlich ein Vorschlag von GRIME (1979 und 1981), der von „schattentoleranten“ und „Schattenvermeidenden“ Arten spricht.

„Schattentolerante“ Pflanzen sind an strahlungsarme Habitate dadurch angepaßt, daß sie durch eine Einschränkung der Stoffwechselaktivitäten und des Wachstums lange Perioden überleben können, bis sich eventuell die Strahlungsverhältnisse, z.B. durch Ausfall von Bäumen des Schirmbestandes verbessern. Dann können sie in die Höhe wachsen, reagieren aber auf die zunehmende Strahlung nur mit einem langsamen Anstieg des Wachstums. Sie weisen im allgemeinen geringe Stoffwechsel- und Zuwachsraten auf. Ihr Aufbau bleibt unabhängig von der Schattenbelastung weitgehend stabil. Diese Strategie ist dort gut angepaßt, wo sich durch ein Wachsen in die Höhe über weite Distanzen kein größerer Strahlungsgenuß erreichen läßt, wie z. B. in einem voll geschlossenen Bu-

chenaltbestand. Diesem Typ dürften von unseren Baumarten Weißtanne und Buche noch am meisten entsprechen.

„Schatten vermeidende“ Arten besiedeln aufgelockerte, mäßig überschirmte Waldbestände oder Lücken mit mäßiger bis mittlerer Einstrahlung am Waldboden und einer dementsprechenden dichten Bodenvegetationsschicht. Hier ist mit einer geringen Zunahme an Höhe über dem Boden, d.h. mit dem Überwachsen der konkurrierenden Bodenvegetation ein erheblicher Gewinn an Strahlungsintensität zu erreichen. Für dort siedelnde Arten ist es daher ökologisch zweckmäßig, auf Beschattung mit einem gesteigerten Höhenwachstum und einer möglichst großen Wuchsleistung zu reagieren, da gute Chancen bestehen, die Konkurrenten zu überwachsen und dadurch die Wuchsverhältnisse entscheidend zu verbessern. Diese Chancen sind größer als das damit verbundene Risiko, mit dieser Wachstumsaktivität die Reserven zu erschöpfen und danach unterzugehen. Diesem Verhaltensmuster scheinen unsere Eichen in der Jugend gut zu entsprechen. Das über weite Bereiche der zunehmenden Schattenbelastung nur geringfügig reagierende, z.T. sogar ansteigende Höhenwachstum spricht dafür. Allerdings scheint ihre Fähigkeit, bei abnehmender Strahlung ihren Aufbau durch eine kompensatorische Vergrößerung des Blattflächenanteils zu optimieren, geringer ausgeprägt zu sein, als es GRIME für diesen Typus postuliert hat.

Die dargestellten Eigenschaften der beiden Eichenarten lassen sicherlich eine erfolgreiche natürliche oder künstliche **Verjüngung auf kleineren Bestandeslücken im Femelschlag** oder unter nicht zu dichten **Schirmstellungen** zu. Dabei sollte über längere Zeiträume eine relative Strahlungsintensität von **15 - 20%** des Freilandes nicht unterschritten werden. Kurzfristig, d.h. bis zu 6 Jahren etwa, ist ein Überleben bei geringem Wachstum auch noch bei mindestens **8 - 10%** möglich.

Diese Werte sollten bei Konkurrenz durch mehr oder weniger gleichaltrige Buche im Jungwuchs um etwa 10% erhöht werden. Ähnlich ist wohl auch bei sonstigen Belastungen, wie z.B. durch Wildverbiß oder häufigen Raupenfraß vorzugehen.

Dies sind ziemlich grob geschätzte Werte. Weitere Forschungen, insbesondere über den Einfluß des Bodenwasser- und Nährstoffhaushaltes wären dringend erwünscht.

## 5. Literatur

- BRUNNER, A. und HUSS, J. (1994): Die Entwicklung von Bergmischwaldkulturen in den Chiemgauer Alpen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 113, S. 194-203.
- DENGLER, A. (1935): *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. Verlag J. Springer, Berlin, 2. Auflage.
- DOHRENBUSCH, A. (1993): Untersuchungen zur natürlichen Verjüngung der Traubeneiche (*Quercus petraea*) in Rheinland-Pfalz. Unveröffentlichter Forschungsbericht des Instituts für Waldbau, Abt. I, der Universität Göttingen. 64 S.
- EVANS, G.C. (1972): *The quantitative analysis of plant growth*. Blackwell, Oxford u. London.
- FLEDER, W. (1981): Furniereichenwirtschaft heute. *Holz-Zentralblatt*, 107, S. 1509-1511.
- FRÖHLICH, J. (1947): Über Vorkommen, Zusammensetzung und Aufbau der südosteuropäischen Laubmisch-Urwälder. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 98, S. 165-8.
- GAYER, K. (1895): *Über den Femelschlagbetrieb und seine Ausgestaltung in Bayern*. Berlin.
- GRIME, J.P. (1979): *Plant strategies and vegetation processes*. Verlag J. Wiley & Sons, Chichester u.a., 222 S.
- GRIME, J.P. (1981): Plant strategies in shade. In: Smith, H. (ed.): *Plants and the daylight spectrum*. Academic Press, London u.a., pp. 159-186.
- JARVIS, P.G. (1964): The adaptability to light intensity of seedlings of *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.. *Journal of Ecology*, 52, pp. 545-571.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): *Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 288 S.
- LANG, P. (1988): Die Eiche im Buchengebiet - eine Frage der Vorratspflege, der Verjüngung und der Jagd. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 43, S. 203-4.
- LIEBER, K.-H. (1990): Wuchsrelation und Konkurrenzverhalten gruppen- bis horstweise verjüngter Eichen und Buchen in einem Eichenüberführungsbestand des Gemeindewaldes Burgsinn/Spessart. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Forstwissenschaftl. Fachbereich, Universität Göttingen. 58 S.
- LIENAU, P. (1993): Untersuchungen zum Wachstum und zur Form junger Traubeneichen unter Kiefernschirm im Staatlichen Forstamt Sellhorn. Diplomarbeit am Forstwiss. Fachbereich d. Univ. Göttingen, unveröffentlicht, 50 S.

LÜPKE, B. v. (1982): Versuche zur Einbringung von Lärche und Eiche in Buchenbestände. *Schriften Forstl. Fak. d. Universität Göttingen u.d. Nieders. Forstl. Vers. Anstalt*, 74, 123 pp.

LÜPKE, B. v. (1987): Einflüsse von Altholzüberschirmung und Bodenvegetation auf das Wachstum junger Buchen und Traubeneichen. *Forstarchiv*, 58, S. 18-24.

MERGNER, U. (1988): Zur Spessarter Eichenwirtschaft im 19. Jahrhundert. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 43, S. 200-1.

OVINGTON, J.D. and McRAE, C. (1960): The growth of seedlings of *Quercus petraea*. *Journal of Ecology*, 48, pp. 549-555.

PREUHLER, T.; KÜHNEL, S. und BOCK, K. (1994): Zum Wachstum von Eichensaat unter Kieferschirm im Forstamt Nürnberg. *Forst und Holz*, 49, S. 123-128.

RÖHRIG, E. (1967): Wachstum junger Laubholzpflanzen bei unterschiedlichen Lichtverhältnissen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 138, S. 224-239.

SCHEEDER, T. (1989): Die Eiche im naturgemäßen Wirtschaftswald. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 44, S. 854-9.

SCHÜTZ, J.-P. (1992): Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 143, S. 442-460.

SESTÁK, Z.; CATSKY, J. and JARVIS, P.G. (1971): Plant Photosynthetic Production. Manual of Methods. *The Hague*, pp. 343-391.

WAGNER, S. und NAGEL, J. (1992): Ein Verfahren zur PC-gesteuerten Auswertung von Fish-Eye-Negativfotos für Strahlungsschätzungen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163, S. 110-116.

WATZEK, A. (1986): Wachstum junger Traubeneichen bei unterschiedlichen Überschirmungsverhältnissen. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Forstwissenschaftl. Fachbereich, Universität Göttingen. 80 S.

ZIEGENHAGEN, B. und KAUSCH, W. (1993): Die Reaktion junger Eichen auf Licht und Schatten. *Forst und Holz*, 48, S. 198-201.

# Ein Vergleich natürlicher und pflegebedingter Selektionsprozesse

Heinrich Spiecker

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg  
Institut für Waldwachstum  
D-79850 Freiburg i. Br.

**Keywords:** oak, genetics, selection, selective thinning

## Summary

Title of the paper: A comparison of natural selection processes and selection by management.

The number of trees in a stand diminishes during the life of a stand without human activities. This reduction is especially high in oak stands, since old dominant oaks need a rather large growing space whereas suppressed oaks have little chance to survive. Natural as well as human selection may change the genetic structure of a stand.

The effect of management on the genetic structure of a stand is influenced by the number of trees being selected as future crop trees and by the selection criteria used. As long as a small number of vital trees is selected the effect is not much different from natural selection.

**Schlüsselwörter:** Eiche, Genetik, Selektion, Auslesedurchforstung

## Zusammenfassung

Ein wichtiges Ziel der Eichenwirtschaft ist die Steigerung der Wertleistung durch Erhöhung des Wertholzanteils. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde bisher eine Veränderung der genetischen Struktur der Bestände in Kauf genommen oder sogar bewußt angestrebt. Vor dem Hintergrund der Diskussionen über globale Standortsveränderungen gewinnt die Erhaltung einer genetischen Vielfalt zunehmende Bedeutung. Forstwirtschaft und Forstwissenschaft sollten daher den Auswirkungen forstlichen Handelns auf die genetische Struktur von Beständen erhöhte Aufmerksamkeit widmen.

Die genetische Struktur eines Bestandes wirkt sich nicht nur auf die Entwicklung eines Bestandes selbst, sondern auch auf natürlich verjüngte Folgebestände und natürlich verjüngte Nachbarbestände aus.

## 1. Baumwachstum und Baumzahlabnahme

Mit dem Wachstum eines Baumes nimmt sein Standflächenbedarf zu. Daher verringert sich im Laufe eines Bestandeslebens die Zahl der Bäume. Die Baumzahlabnahme ist bei Eiche besonders stark ausgeprägt, da ausgewachsene Alteichen einen besonders großen Standraum beanspruchen und unterständige Eichen nur eine geringe Überlebenschance besitzen. Zwischen dem Schaftdurchmesser und der Standfläche von Eichen bestehen enge Zusammenhänge, die im folgenden näher beschrieben werden. Aus diesen Gesetzmäßigkeiten läßt sich der künftige Flächenbedarf eines Baumes berechnen.

Mit der Durchforstung kann die Größe der verfügbaren Standfläche gezielt gesteuert werden. Durch die Entnahme von bedrängenden Nachbarbäumen wird die Standfläche des verbleibenden Baumes erweitert und sein Schaftdurchmesserwachstum gefördert (s. Abb. 1). Aber auch ohne Einfluß des Menschen weiten vitale Bäume ihre Standfläche auf Kosten der Standfläche schwächerer Nachbarbäume aus.

Zwischen der Kronenbreitenentwicklung und dem Dickenwachstum bestehen enge Zusammenhänge, die für Stiel- und Traubeneiche auf den wichtigsten Eichenstandorten in Mitteleuropa in nahezu gleicher Weise ausgeprägt sind (SPIECKER 1991). Eine Verbesserung der Beschreibung dieser Zusammenhänge wird erreicht, wenn das Baumalter berücksichtigt wird. Auch Auswirkungen der sozialen Baumklasse, der einseitigen Kronenentwicklung sowie der Ertragsklasse konnten nachgewiesen werden. Sie sind jedoch so gering, daß sie bei der vorliegenden Untersuchung vernachlässigt werden können.

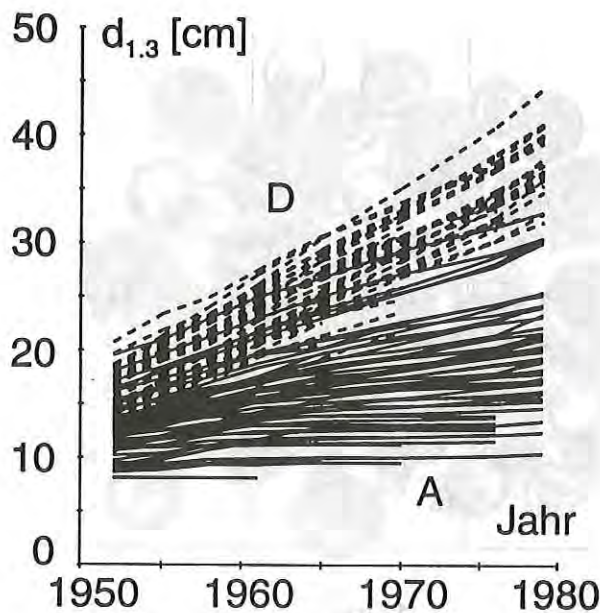


Abb. 1: Durchmesserwachstum und Durchforstung von Stieleichen in einem dänischen Durchforstungsversuch (BREGENTVED).

Das Wachstum der Durchmesser ( $d_{1,3}$ ) von Eichen aus dem undurchforsteten Feld A (durchgezogene Linien) und dem stark durchforsteten Feld D (gestrichelte Linien) ist über den Kalenderjahren dargestellt. Die sehr starken Durchforstungen in Feld D steigern das Durchmesserwachstum. Die Selbstdifferenzierung in Feld A führt dazu, daß die bis 1952 im Durchmesserwachstum überlegenen Bäume ihren Vorsprung beibehalten, während die damals schon unterlegenen Bäume im Zuwachs weiter zurückfallen.

Diameter growth and thinning of pedunculate oak in a Danish thinning experiment (BREGENTVED).

Growth of diameters ( $d_{1,3}$ ) of oaks from the plot A without thinning (solid lines) and the intensively thinned plot D (dashed lines) is plotted over the calendar year. The very intensive thinnings in plot D result in an increase in diameter growth. Self-differentiation brings about the maintenance in the lead of the trees which are superior in their diameter growth before 1952, whereas those trees fall more and more behind in their increment which were inferior at that time.

Die Beziehung zwischen Durchmesser, Alter und Kronenbreite soll nun an einigen Beispielen erläutert werden. Betrachtet man die Ausdehnung der Kronenschirmflächen und vergleicht diese mit dem Durchmesserzuwachs, erkennt man die Zuwachsüberlegenheit der großkronigen Bäume (Abb. 2; weitere Angaben zu den Versuchsflächen s. BRYNDUM 1965 und 1966).

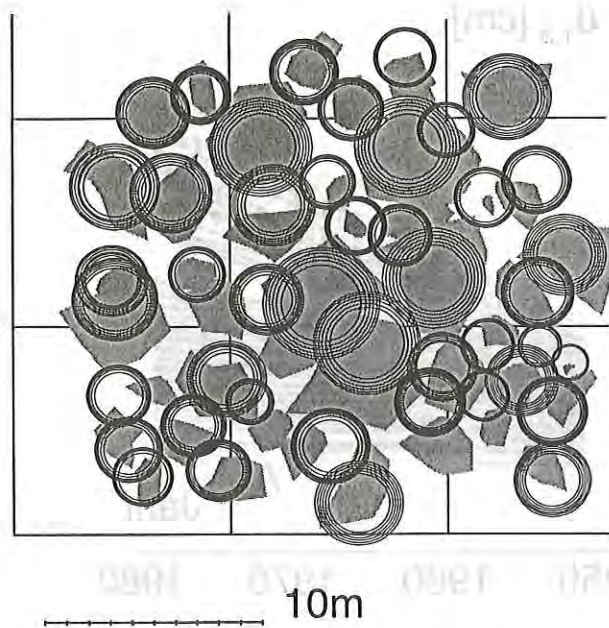


Abb. 2: Baumverteilung, Kronenschirmfläche, Durchmesser und Durchmesserzuwachs von 56jährigen Eichen aus dem undurchforsteten Feld A.

In den Baumverteilungsplänen sind die Kronenschirmflächen und 17fach vergrößert die periodische Durchmesserentwicklung eingezeichnet. Der Meßzeitraum von 1956 - 1979 ist in sechs Perioden von jeweils vier Jahren aufgeteilt. Großkronige Eichen haben ihren hohen Zuwachs meistens beibehalten oder sogar noch gesteigert, kleinkronige Eichen ließen häufig im Zuwachs nach.

Tree distribution, crown area, diameter and diameter increment of 56-year-old oaks of plot A without thinning.

In the tree distribution maps the crown areas and the periodical diameter development (enlarged 17fold) are plotted. The measuring period from 1956 - 1979 is subdivided in six 4-year-periods. Large crowned oaks have mostly maintained their high increment or even improved it, whereas small crowned oaks frequently decreased their increment.

Zwischen der Kronenbreite und dem Schaftdurchmesser gleichaltriger Eichen bestehen Zusammenhänge. Diese Zusammenhänge wurden u. a. von HECK 1924; BURGER 1947; KENK 1979; SPIECKER 1983; SZAPPANOS 1984 sowie HOCHBICHLER *et al.* 1988 untersucht.

Kronenbreite und Schaftdurchmesser von Eichen aus dem dänischen Durchforstungsversuch sind in Abb. 3 dargestellt.



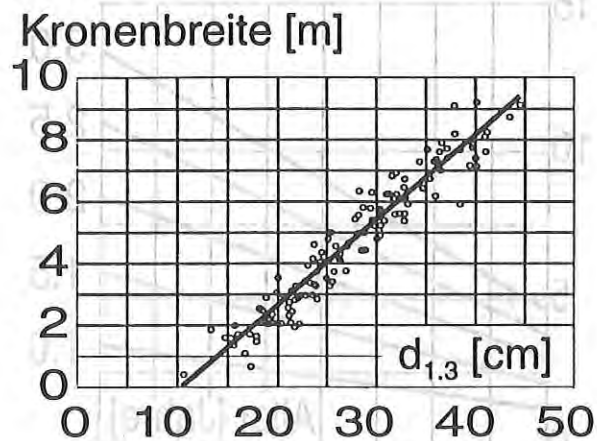


Abb. 3: Kronenbreite (b) und Durchmesser (d<sub>1,3</sub>) auf der 56jährigen Stieleichen-Versuchsfläche QY in BREGENTVED.

Die Kronenbreiten von 147 Eichen sind über deren Durchmesser aufgetragen. Die Kronenbreiten steigen von den geringwüchsigen dünnen zu den wüchsigen dicken Bäumen linear an.

Crown-width (b) and diameter (d<sub>1,3</sub>) on the 56-year-old experimental plot QY in BREGENTVED.

The crown-widths of 147 oaks are plotted as a function of their diameters. The crown-widths increase linearly from the slow growing thin trees to the well growing thick ones.

Bei der Untersuchung von mehr als 1.000 Eichen aus verschiedenen Stiel- und Traubeneichenbeständen im Oberrheinischen Tiefland, in der Schwarzwaldvorbergzone, auf der Schwäbischen Alb, im Neckarland, im Pfälzerwald, im Spessart und in Dänemark (SPIECKER 1991) ergaben sich folgende Zusammenhänge zwischen der Kronenbreite, dem Durchmesser und dem Alter:

$$b = f(d_{1,3}, \text{Alter})$$

$$b = 0,20 + 0,209 \times d_{1,3} - 0,015 \times \text{Alter}.$$

Aufgrund dieses Zusammenhangs läßt sich die für ein bestimmtes Durchmesserwachstum erforderliche Kronenbreite in Abhängigkeit vom Alter ausrechnen (s. Abb. 4).

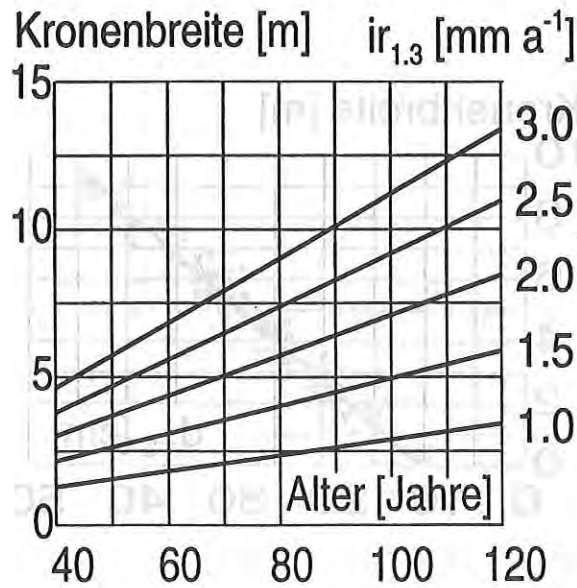


Abb. 4: Kronenbreite ( $b$ ), durchschnittlicher jährlicher Radialzuwachs ( $ir_{1,3}$ ) und Alter. Die Kronenbreite ist in Abhängigkeit vom durchschnittlichen bisher geleisteten jährlichen Radialzuwachs und vom Alter dargestellt. Bei gleichbleibendem jährlichen Radialzuwachs steigt die Kronenbreite mit dem Alter linear an.

Crown-width ( $b$ ), mean annual radial increment ( $ir_{1,3}$ ) and age.

Crown-width is presented as a function of the mean annual radial increment so far produced and the age. At constant annual radial increment the crown-width increases linearly with age.

Unterstellt man eine durchschnittliche Kronenüberschirmung von 30%, was bei Eichen als Durchschnittswert gefunden wurde, so kann die Baumzahl je Hektar in Abhängigkeit vom Alter und vom durchschnittlichen Dickenwachstum berechnet werden. In Abb. 5 ist die Baumzahlentwicklung für Modellbestände mit jeweils konstantem Dickenwachstum dargestellt. Die Baumzahlentwicklung wird durch die waldbauliche Norm von PARDE (1978) und dem Behandlungsprogramm von HOCHBICHLER *et al.* (1988) bestätigt.

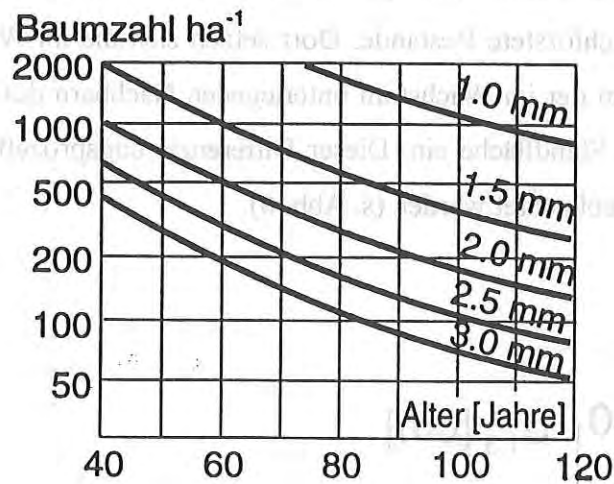


Abb. 5: Baumzahl und Alter bei jeweils konstantem Dickenwachstum. Die Baumzahlen der fünf Modellbestände nehmen parallel zueinander ab. Die Abnahme verlangsamt sich mit dem Alter.

Number of trees and age each at a constant radial growth rate.  
 The number of trees of the five model stands decreases in a parallel way. The decrease slows down with age.

Auf der Grundlage dieser Zusammenhänge ließen sich die Baumzahlentwicklungen für beliebige Durchmesserverteilungen berechnen.

## 2. Natürliche Selektion

Die oben dargestellten Zusammenhänge zwischen Dickenwachstum und Standfläche gelten auch für undurchforstete Bestände. Dort setzen sich die im Wachstum überlegenen Bäume auf Kosten der im Wachstum unterlegenen Nachbarn durch und nehmen im Laufe der Zeit deren Standfläche ein. Dieser Differenzierungsprozeß kann in undurchforsteten Beständen beobachtet werden (s. Abb. 6).

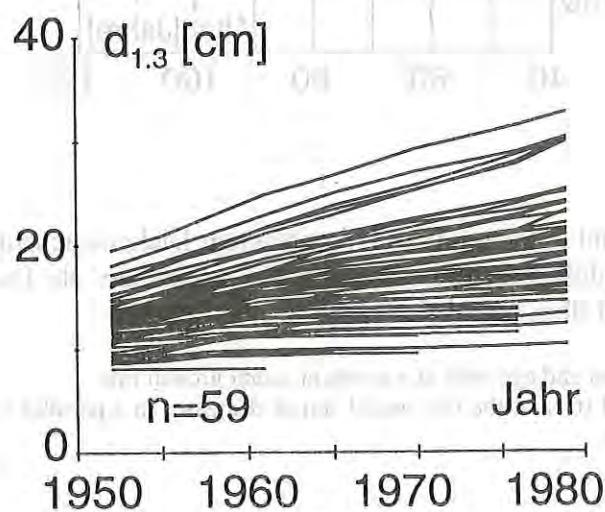


Abb. 6: Selektionsprozesse in einem undurchforsteten Eichenbestand. Die im Wachstum überlegenen Bäume setzen sich auf Kosten ihrer schwächeren Nachbarn durch. Diese werden zunehmend bedrängt, bis sie schließlich absterben.

Selection processes in an oak stand without thinning.

The trees being superior in their growth are growing superior at the expense of their weaker neighbours. These trees are increasingly oppressed until they finally die.

Der in Abbildung 6 dargestellte Differenzierungs- und Selektionsprozeß kann auch in anderen undurchforsteten Beständen beobachtet werden. Er kann als typisch für natürliche Differenzierungsprozesse betrachtet werden. Allerdings wirken sich neben der Konkurrenz auch andere Einflußfaktoren auf das Wachstums- und Überlebenspotential der einzelnen Bäume im Bestand aus. Beispielsweise können Unterschiede in der Genetik und im Alter, kleinstandörtliche Unterschiede, aber auch plötzlich auftretende Einflüsse

wie Blitzschlag, Schneebruch, Dürre, Durchforstungseingriffe sowie Schädigungen durch Insekten, Pilze oder Menschen (u. a. durch Fäll- und Rückeschäden) die Selektionsprozesse modifizieren (s. Abb. 1 und 7).

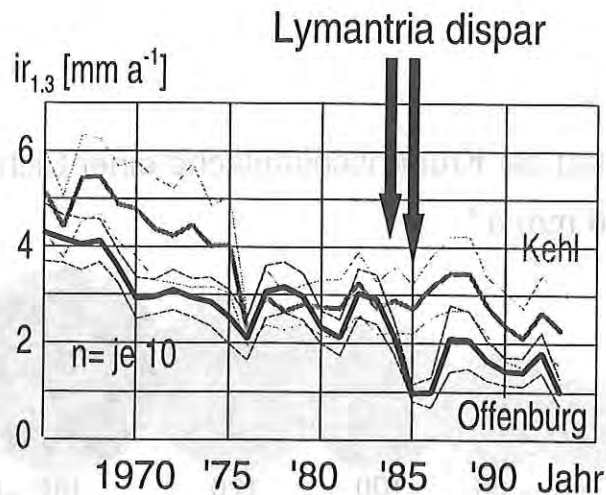


Abb. 7: Auswirkungen von Schwammspannerkahlfraß auf den Radialzuwachs ( $ir_{1,3}$ ) in zwei aufeinanderfolgenden Jahren. Zum Vergleich ist der Radialzuwachs von Eichen dargestellt, die nicht vom Schwammspannerkahlfraß betroffen waren. Auch im Jahr nach dem Schwammspannerkahlfraß bleibt die Zuwachsreduktion bestehen (nach PIPER *et al.* 1995).

Effects of gypsy moth defoliation on radial increment ( $ir_{1,3}$ ) in two successive years. For comparison the radial increment of oaks is presented which were not affected by gypsy moth defoliation. Even in the year following gypsy moth defoliation the increment reduction is maintained (according to PIPER *et al.* 1995).

Die schon in der Jugend im Wachstum überlegenen Bäume haben i. d. R. die höchsten Überlebenschancen. Veränderungen in der Rangfolge des Wachstums sind selten anzutreffen (vgl. LEIBUNDGUT 1976; SCHÜTZ 1979 sowie KENK 1979).

### 3. Natürliche Selektionsprozesse und Auslesedurchforstung

Die Kronenschirmflächenentwicklung einer Eiche mit einem durchschnittlichen jährlichen Radialzuwachs von 2 mm ist in Abb. 8 modellhaft dargestellt.

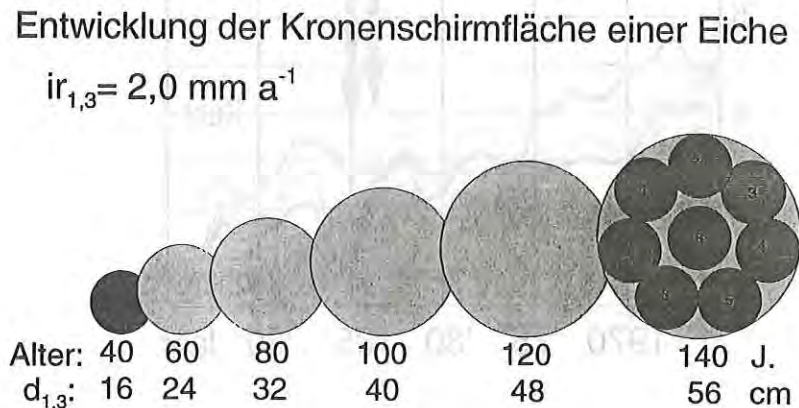
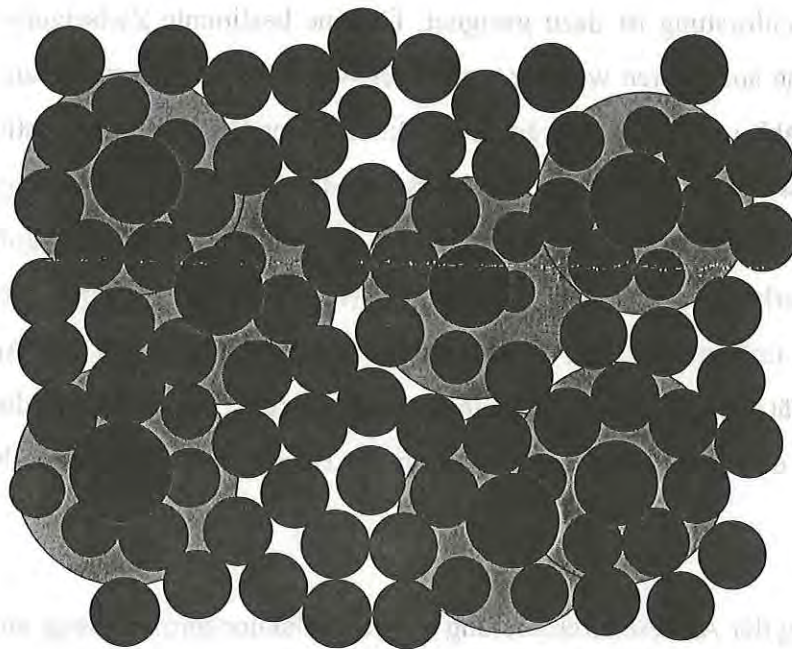


Abb. 8: Modellhafte Darstellung der Kronenschirmflächenentwicklung einer Eiche.  
 Modelized presentation of the development of crown area for an oak tree.

Man erkennt, daß im Alter von 140 Jahren nur noch eine von acht 40jährigen Eichen überleben kann. Für eine vorgegebene Ausgangssituation in einem 40jährigen Eichenbestand sollen nun verschiedene Selektionsprozesse miteinander verglichen werden. Zunächst wird der natürliche Selektionsprozeß modellhaft dargestellt, dann eine Auslese und Förderung von 300 Z-Baumanwärttern je Hektar, von 75 Z-Bäumen je Hektar und schließlich von 50 Z-Bäumen je Hektar.

Wie vorher beschrieben, setzen sich von Natur aus die vitalsten Eichen durch; das sind i. d. R. in gleichaltrigen Beständen die dicksten Bäume. In Abb. 9 sind die 90 vitalsten Eichen je Hektar (insgesamt 7 Bäume) hervorgehoben. Diese werden sich im Laufe der Zeit gegenüber ihren Nachbarn durchsetzen und schließlich den Endbestand bilden. Die Ausdehnung ihrer Kronenschirmflächen im Alter von 140 Jahren ist eingezeichnet. Für andere Eichen bleibt nur noch wenig Raum.

## natürliche Selektion



10 m

- Eichen im Alter von 40 Jahren
- die 90 "vitalsten" Eichen je ha

Abb. 9: Natürliche Selektion. Die eingezeichneten Kreise symbolisieren die Größe und Verteilung der Kronenschirmflächen in einem 40jährigen Eichenbestand. (Dunkel hervorgehoben sind die 90 vitalsten Eichen je Hektar. Ihre Kronenschirmfläche im Alter von 140 Jahren ist als hellgraue Kreisfläche unterlegt.)

Natural selection. The drawn circles symbolize the size and distribution of the crown shelter areas in a 40-year-old oak stand.

(In dark display are the 90 most vital oaks per hectare. Their crown area in the age of 140 years is underlaid as light grey circles.)

Man kann davon ausgehen, daß auch ohne Einfluß des Menschen nur ein geringer Anteil der einmal vorhandenen Eichen ein höheres Alter erreicht. Falls zwischen dem Wachstumspotential und der genetischen Struktur der Bäume Zusammenhänge bestehen, muß angenommen werden, daß auch natürliche Differenzierungsprozesse zu einer Einengung des Genspektrums führen können.

## 4. Auslesedurchforstung

Die Auslesedurchforstung ist dazu geeignet, für eine bestimmte Zielsetzung besonders wertvolle Bäume auf Kosten weniger wertvoller Nachbarn zu fördern. Dazu werden Z-Bäume ausgewählt und deren Bedränger im Rahmen der Durchforstung entnommen (u. a. ABETZ 1974). Wenn durch die Durchforstung der Wertholzanteil gesteigert werden soll, werden besonders hohe Anforderungen an die Qualität der Auslesebäume gestellt. Als Qualitätsmerkmale gelten u. a. Schaftform, Wipfelschäftigkeit, Drehwuchs, Sekundärtrieb Bildung und mechanische Schädigungen. Zusätzlich wird bei der Auslese aber auch die Vitalität berücksichtigt. Es kann vermutet werden, daß zwischen diesen Auslesekriterien und den genetischen Eigenschaften der Bäume Zusammenhänge bestehen (s. Abb. 10).

Die Auswirkung der Auslesedurchforstung auf den Selektionsprozeß hängt einerseits von den Auslesekriterien andererseits von der Zahl der je Hektar ausgelesenen Bäume ab. Würden beispielsweise 300 Z-Baum-Anwärter je Hektar ausgewählt und gefördert, so bleiben nach relativ kurzer Zeit nur noch diese Bäume übrig. Zum Beispiel wäre dieses Stadium bei einem jährlichen Radialzuwachs von 1,5 mm im Alter von 110 Jahren, bei einem Radialzuwachs von 2,0 mm bereits im Alter von ca. 75 Jahren erreicht. Falls zwischen den Auslesekriterien und den genetischen Eigenschaften der Bäume ein Zusammenhang besteht, wäre also schon in diesem frühen Stadium das Genspektrum stark eingeeengt.



## Schaffform und Provenienz

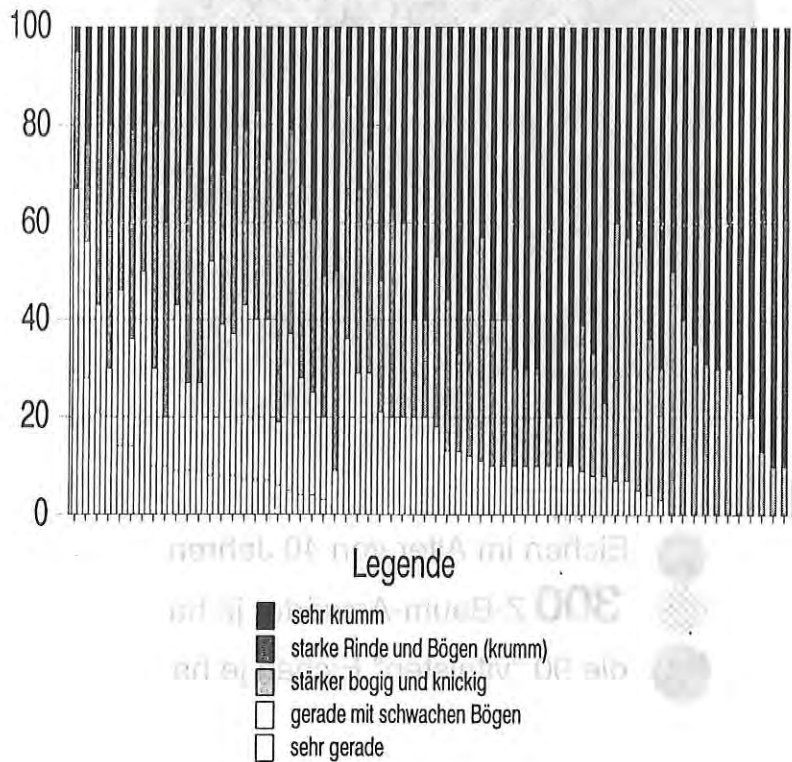


Abb. 10: 40jährige Eichen aus einem von KRAHL-URBAN begründeten Provenienzversuch mit 65 Traubeneichenprovenienzen sind in 5 Stammformenklassen eingeteilt.

Die Anteile an den einzelnen Stammformenklassen unterscheiden sich zwischen den Provenienzen beträchtlich. (Die Daten wurden freundlicherweise von Dr. J. KLEINSCHMIT, NFV Escherode zur Verfügung gestellt.)

40-year-old oaks from a provenance trial established by KRAHL-URBAN including 65 sessile oak provenances are grouped in 5 bole form classes.

The proportions of the individual bole form classes differ considerably between the provenances. (The data were kindly supplied by Dr. J. KLEINSCHMIT, NFV Escherode.)

In Abb. 11 sind die Auswirkungen einer Auslese von 300 Z-Baum-Anwärtern dargestellt. Bei der Auswahl wurde auf Qualität besonders großer Wert gelegt.

## Z-Baum-Anwärter-Selektion

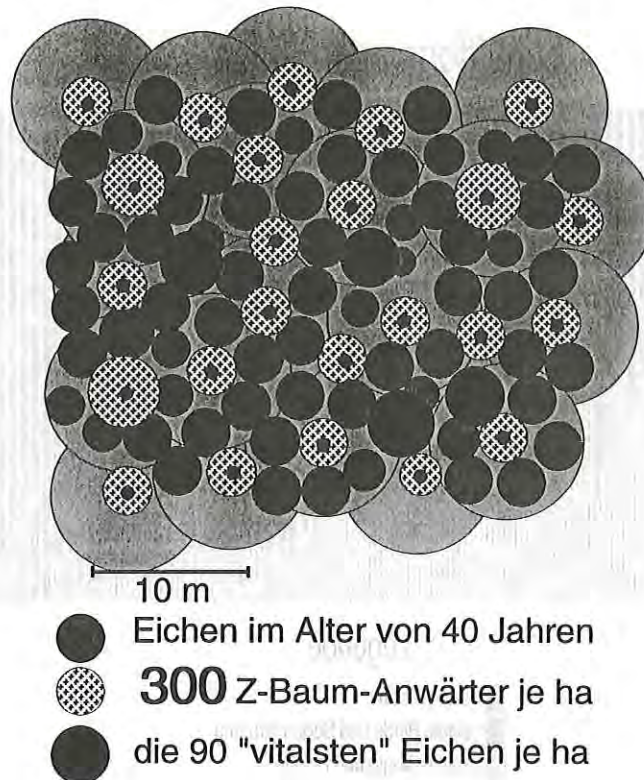


Abb. 11: Auslese und Förderung von 300 Z-Baum-Anwärtern. Von den 90 besonders vitalen Eichen je ha (insgesamt 7; s. auch Abb. 9) wurden weniger als die Hälfte (insgesamt nur 3) als Z-Bäume ausgewählt; die übrigen werden als Bedränger entnommen. Für jeden Z-Baum-Anwärter ist die Kronenschirmfläche im Alter von 140 Jahren maßstabsgetreu als Kreisfläche eingezeichnet. Man erkennt, daß sich diese Kronenschirmflächen mehrfach überlagern. In diesem Stadium werden also nicht mehr alle Z-Baum-Anwärter auf der Fläche Platz finden können.

Selection and promotion of 300 future crop tree candidates.

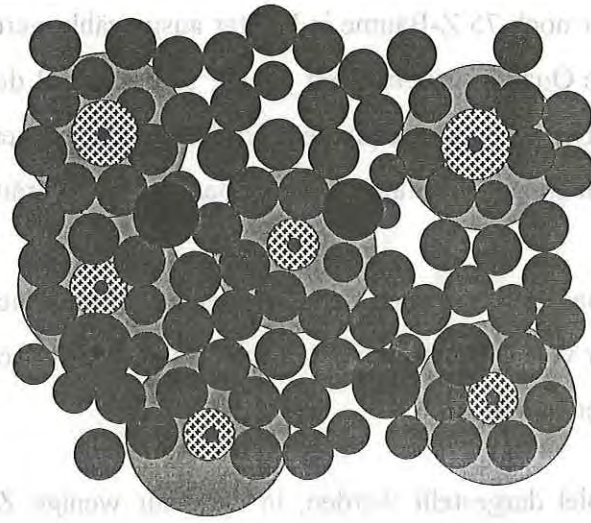
Out of the 90 most vital oaks per ha (a total of 7; *cf.* also fig. 9) less than half (a total of only 3) were selected as future crop trees while the remaining ones were cut off as oppressors. For each future crop tree candidate the crown shelter area in the age of 140 is drawn as a circle area true to scale. It can be seen that these crown areas overlap each other repeatedly. Thus in this state no longer all future crop tree candidates will find space on the area.

Sowohl durch eine Verringerung der Zahl der Ausleseebäume als auch durch eine Anpassung der Auswahlkriterien an natürliche Selektionskriterien wird der Einfluß der Ausleседurchforstung auf die Veränderung der genetischen Struktur reduziert. Im folgenden Beispiel sollen nun nur noch 75 Z-Bäume je Hektar ausgewählt werden. Auch in diesem Beispiel wurde auf die Qualität großer Wert gelegt, so daß nur 2 der 7 vitalsten Bäume ausgewählt wurden. Bei einer konsequenten Förderung dieser geringen Zahl von Z-Bäumen bleiben jedoch einige der vitalen Bäume über längere Zeiträume am Leben.

Außerdem ist erkennbar, daß zwischen den Z-Bäumen größere Flächenanteile bestehen, die auch noch im Alter von 140 Jahren nicht durch Kronenschirmflächen dieser Z-Bäume in Anspruch genommen werden.

Zuletzt soll ein Beispiel dargestellt werden, in dem nur wenige Z-Bäume ausgewählt werden. In diesem Beispiel wurden 50 Z-Bäume je Hektar ausgewählt, 2 von 4 ausgewählten Bäumen gehören zu den vitalsten Bäumen. 100 Jahre später, im Alter von 140 Jahren, wird von diesen Z-Bäumen nur ein Teil der Fläche eingenommen. Es bleiben größere Flächen für die Entwicklung anderer Bäume übrig. Dies bedeutet, daß die Genstruktur vergleichsweise wenig beeinflusst wird.

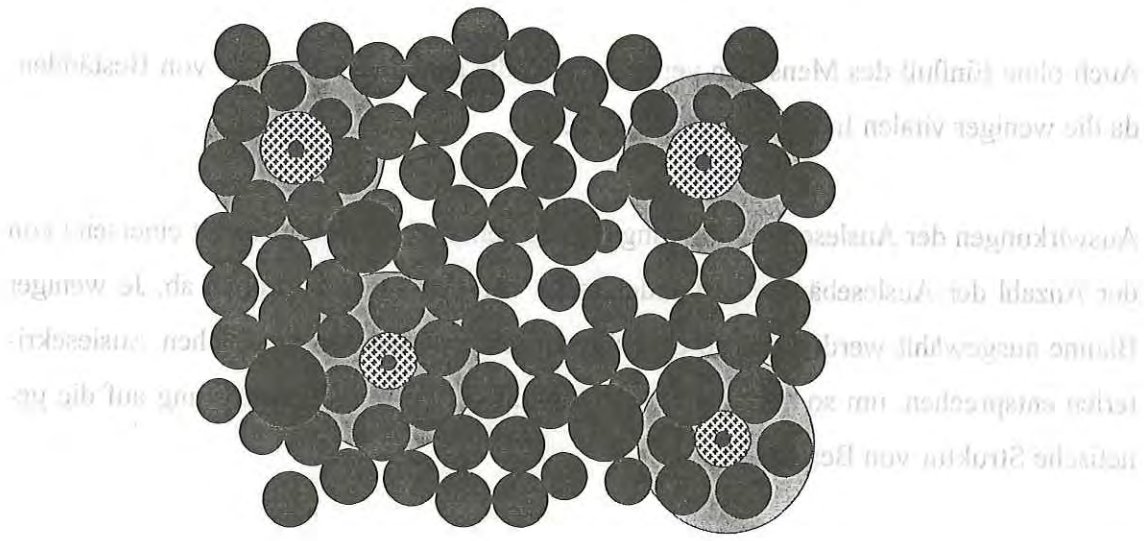
## Z-Baum-Selektion



- 10 m
- Eichen im Alter von 40 Jahren
  - 75 Z-Bäume je ha
  - die 90 "vitalsten" Eichen je ha

Abb. 12: Auslese von 75 Z-Bäumen.  
Im übrigen siehe Text zu Abbildung 11.

Selection of 75 future crop trees.  
For more information *cf.* text to figure 11.







-  10 m
-  Eichen im Alter von 40 Jahren
-  50 Z-Bäume je ha
-  die 90 "vitalsten" Eichen je ha

Abb. 13: Auslese von 50 Z-Bäumen.  
Im übrigen siehe Text zu Abbildung 11.

Selection of 50 future crop trees.  
For more information cf. text to figure 11.

## 5. Folgerungen

Auch ohne Einfluß des Menschen verändert sich die genetische Struktur von Beständen, da die weniger vitalen Individuen zuerst absterben.

Auswirkungen der Auslesedurchforstung auf die genetische Struktur hängt einerseits von der Anzahl der Ausleseebäume und andererseits von den Auslesekriterien ab. Je weniger Bäume ausgewählt werden und je eher die Auslesekriterien den natürlichen Auslesekriterien entsprechen, um so geringer ist der Einfluß der Auslesedurchforstung auf die genetische Struktur von Beständen.

## 6. Literatur

- ABETZ, P. (1974): Zur Standraumregulierung in Mischbeständen und Auswahl von Zukunftsbäumen. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 29, S. 871-873.
- BOUCHON, J. (1970): Norme provisoire pour le chêne de qualité du secteur ligérien. I.N.R.A.-C.N.R.F. Station de Sylviculture et de Production, Doc. no 70-1, 13 pp.
- BRYNDUM, H. (1965): A thinning experiment in young oak stands (Orig. dän.). *Det forstlige Forsøgsvæsen*, XXIX H. 3, pp. 177-243.
- BRYNDUM, H. (1966): Eichen-Durchforstungsversuche in Dänemark. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden* 15, S. 353-358.
- BURGER, H. (1947): Holz, Blattmenge und Zuwachs. VII. Mitteilung. Die Eiche. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für forstliches Versuchswesen*, 25. Bd., S. 211-279.
- HECK, C.R. (1924): Beiträge zur forstlichen Zuwachskunde. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 46, S. 26-40, S. 67-77, S. 145-156, S. 211-219.
- HOCHBICHLER, E. und KRAPPENBAUER, A. (1988): Behandlungsprogramme für die Werteichenproduktion im Wienerwald und Weinviertel. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*, 105, S. 1-23.
- KENK, G. (1979): Pflegeprogramm „Werteiche“. Überlegungen zu einem Betriebszieltyp. MELUF Stuttgart Nr. EM-8-80, S. 89-116.

- KLEINSCHMIT, J. und SVOLBA, J. (1979): Möglichkeiten der züchterischen Verbesserung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* und *Quercus petraea*), III. Nachkommenschaftsprüfung von Eichenzuchtbäumen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 150, S. 111-120.
- KRAHL-URBAN, J. (1957): Über Eichen-Provenienzversuche. *Silvae Genetica*, S. 15-31.
- LEIBUNDGUT, H. (1976): Grundlagen zur Jungwaldpflege - Ergebnisse zwanzigjähriger Untersuchungen über die Vorgänge der Ausscheidung, Umsetzung und Qualitätsentwicklung in jungen Eichenbeständen. *Mitteilungen der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, 52, H. 4, S. 311-371.
- MAYER, R. (1958): Kronengröße und Zuwachsleistung der Traubeneiche auf süddeutschen Standorten. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 129, S. 105-114, S. 151-163, S. 191-201.
- PARDÉ, J. (1978): Normes de sylviculture pour les forêts de chêne rouvre. *Revue forestière française*, vol. XXX, pp. 11-17.
- PIPER, R.; SPIECKER, H. und SEEMANN, D. (1995): Auswirkungen des Schwamm-spinnekahlfraßes von 1984 und 1985 auf den Höhen- und Radialzuwachs von Stieleichen (in Vorbereitung).
- SCHÜTZ, J.P. (1979): Leistung und Behandlung von Eichenversuchsflächen in der Schweiz. MELUF Stuttgart Nr. EM-8-80, S. 79-88.
- SPIECKER, H. (1983): Orientierungshilfe für die Steuerung des Dickenwachstums von Eichen-Z-Bäumen. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 38, 569f.
- SPIECKER, H. (1986): 100jähriger Eichenbestand aus 5 x 2 m-Pflanzverband. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 41, 910.
- SPIECKER, H. (1991): Zur Steuerung des Dickenwachstums und der Astreinigung von Stiel- und Traubeneichen (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl. und *Quercus robur*). *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, Bd. 72, 155 S.
- SZAPPANOS, A. (1984): Richtlinien zur Züchtung von E-Bäumen der Traubeneiche. *Acta Facultatis Forestalis, Sopron Hungaria* 1984, 1, S. 31-50.

# Populationsgröße, genetische Variation und Anpassung - Betrachtungen zu Risiken für die forstliche Praxis bei der Bestandesbegründung

Martin Ziehe, Hans-Rudolf Gregorius und Sven Herzog

Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der  
Georg-August-Universität Göttingen  
D-37077 Göttingen

**Keywords:** Oak, establishment of stands, risks, genetic variation, adaptive potential, selection, reproduction, genetic structure, effective size

## Summary

Title of the paper: Population size, genetic variation and adaptation - reflections on risks associated with the establishment of forest stands.

A considerable proportion of oak stands is still established by planting. Usually, two-year-old saplings are planted in specified formations. This type of stand establishment has diverse consequences for its adaptability:

- The adaptational potential resident in the seed material used to grow the saplings is determined by various factors reflecting the conflict between adaptedness and adaptability. For example, the genetic information within the adult stands chosen to be harvested may be adaptationally insufficient for the establishment site or may itself possess a narrowed adaptational potential. In addition, the system of reproduction, especially the mating system, and the mode of seed harvesting affect the genetic adaptational potential in the seed lots. One of the major determinants of adaptational potential is the reproduction effective population size.
- The mode of cultivation usually prevents selection that would have occurred under field conditions. Natural selection, however, and the associated changes in genetic structure that could be crucial for the continued survival of the stand.
- In an era of global environmental change, the long-term stability of tree stands fundamentally depends on the existence of latent genetic adaptational potential. The preservation of such potential when establishing stands is therefore indispensable.



**Schlagwörter:** Eiche, Bestandesbegründung, Risiken, genetische Variation, Anpassungsfähigkeit, Selektion, Reproduktion, genetische Strukturen, effektive Größe

## **Zusammenfassung**

Bestandesbegründungen von Eichenbeständen werden auch heute noch zu einem erheblichen Anteil durch Pflanzungen vorgenommen. Dabei wird vornehmlich zweijähriges Material in vorgegebenen Pflanzverbänden ausgebracht. Diese Form der Bestandesbegründung hat auf die unterschiedlichste Weise Konsequenzen für die Anpassungsfähigkeit der späteren Bestände:

- In seinem genetischen Anpassungspotential unterliegt das für die Anzucht zum Pflanzmaterial vorgesehene Saatgut bereits unterschiedlichen Einflußfaktoren, in denen sich der Konflikt zwischen Angepaßtheit und Anpassungsfähigkeit widerspiegeln. Die zur Beerntung ausgewählten Altbestände können zum Beispiel mit der in ihnen vorliegenden genetischen Information am Ort der Bestandesbegründung unzureichend angepaßt sein oder besitzen vielleicht schon ein deutlich eingeschränktes Anpassungspotential. Zudem haben die natürliche Reproduktion, die Materialgewinnung und dabei insbesondere auch die Art und Weise der Beerntung der Bestände Auswirkungen auf die genetische Anpassungsfähigkeit der Samen. Derartige Effekte sind beispielsweise mit der reproduktionseffektiven Populationsgröße quantifizierbar.
- Die Art und Weise der Anzucht des Materials umgeht in der Regel Selektion, welche unter natürlichen Freilandbedingungen stattfindet. Diese Selektion und die damit verbundenen Änderungen genetischer Strukturen können aber stützend oder sogar notwendig für die Überlebensfähigkeit des späteren Bestandes sein.
- In einem Zeitalter sich global ändernder Umweltbedingungen ist die langfristige Stabilität der Bestände an die Erhaltung gerade des latenten genetischen Anpassungspotentials gebunden. Einer Einschränkung in diesem Potential durch den Verlust genetischer Variation ist vorzubeugen. Dieses ist auch bei Bestandesbegründungen zu beachten.

## **1. Einleitung**

Eichenbestände werden auch heute noch zu einem überwiegenden Anteil durch Pflanzung von ca. 2jährigem Pflanzmaterial vorgenommen. Bei diesem Verfahren der Neubegründung von Beständen wird allerdings in den wenigsten Fällen ausreichend berücksichtigt, welche ererbten Eigenschaften dieses Pflanzmaterial besitzt und wie gut es sich für die am vorgesehenen Standort herrschenden und künftigen Umweltbedingungen eignet.

Für die Begründung von Beständen werden in erster Linie die Herkunft des Saatguts und die Pflanzenanzahl als kritisch angesehen. Insgesamt sind in der zeitlichen Abfolge der Begründungsmaßnahme jedoch die folgenden drei größeren Problembereiche anzusprechen, wie sie auch in Abb. 1 verdeutlicht werden sollen:

## **1.1 Eigenschaften des Saatguts, welches für die Begründung eines Bestandes Verwendung finden soll**

Hier spielt das genetische Anpassungspotential des zu verwendenden Materials eine wesentliche Rolle. Es wird einerseits durch die Auswahl des oder der zu beerntenden Bestände und deren Ursprung, andererseits aber auch sowohl durch die Reproduktion als auch den Modus der Beerntung oder Materialgewinnung beeinflusst.

## **1.2 Die Art und Weise der Anzucht des Materials**

Der Keimungsprozeß und die anschließend realisierten Anzuchtbedingungen wirken auf die genetische Strukturen in sehr spezieller Weise und schließen unter Umständen die unter Freilandbedingungen ablaufenden notwendigen Anpassungsprozesse aus. Diese Abläufe betreffen damit auch das genetische Anpassungspotential und dessen Entwicklung.

## **1.3 Der Pflanzverband**

Das Pflanzmaterial wird im Verband oder als Trupp mit vorgegebenen Dichten den Freilandbedingungen des Standortes ausgesetzt. Pflanzverband und die daraus resultierende Dichte bzw. Pflanzenanzahl orientieren sich dabei in den wenigsten Fällen an dem dann noch vorhanden oder zu vermutenden genetischen Anpassungspotential.

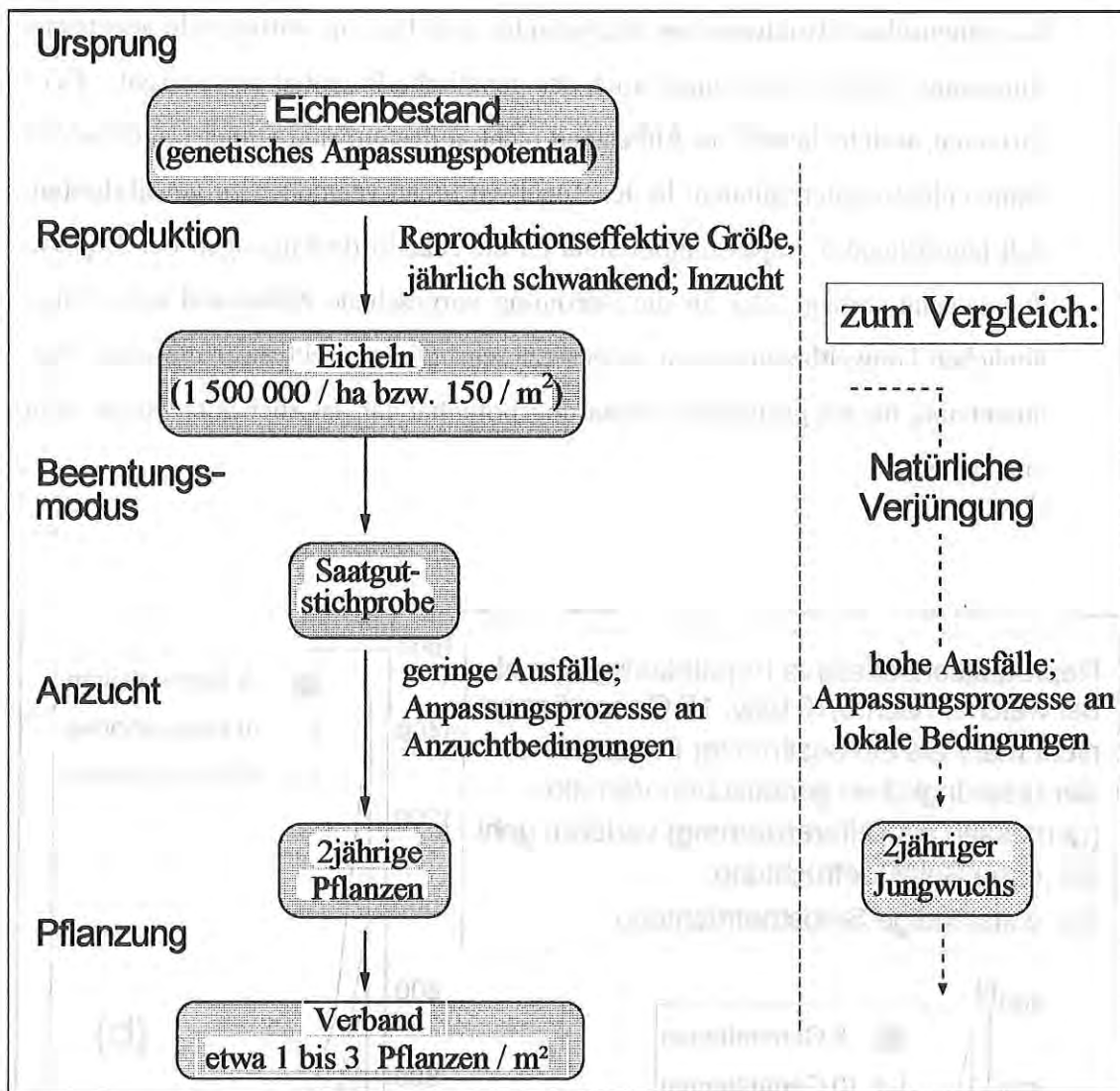


Abb. 1: Schematische Darstellung der Problembereiche bei der Begründung von Eichenbeständen durch Pflanzung.

Schematic presentation of problematic areas in the establishment of oak stands by planting.

## 2. Genetische Eigenschaften des Saatguts

Auf die genetischen Strukturen des Saatguts und damit dessen genetisches Anpassungspotential gibt es die verschiedenartigsten Einflüsse:

- Die Auswahl des Bestandes, aus dem das Saatgut ganz oder teilweise stammen soll.

Die genetischen Strukturen des Altbestandes und das dort vorliegende genetische Anpassungspotential begrenzen auch das genetische Potential des Saatguts. Genvarianten, welche bereits im Altbestand nicht auftreten, sind zumeist auch in den Samen nicht wiederzufinden. In der Regel wird man versuchen zu gewährleisten, daß hinreichendes Anpassungspotential an die Standortbedingungen der Begründungsfläche vorliegt. Der für die Beerntung vorgesehene Altbestand sollte daher ähnlichen Umweltbedingungen ausgesetzt sein. Dieses stellt zwar die erste Voraussetzung für ein geeignetes Anpassungspotential dar, ist aber noch längst nicht ausreichend.

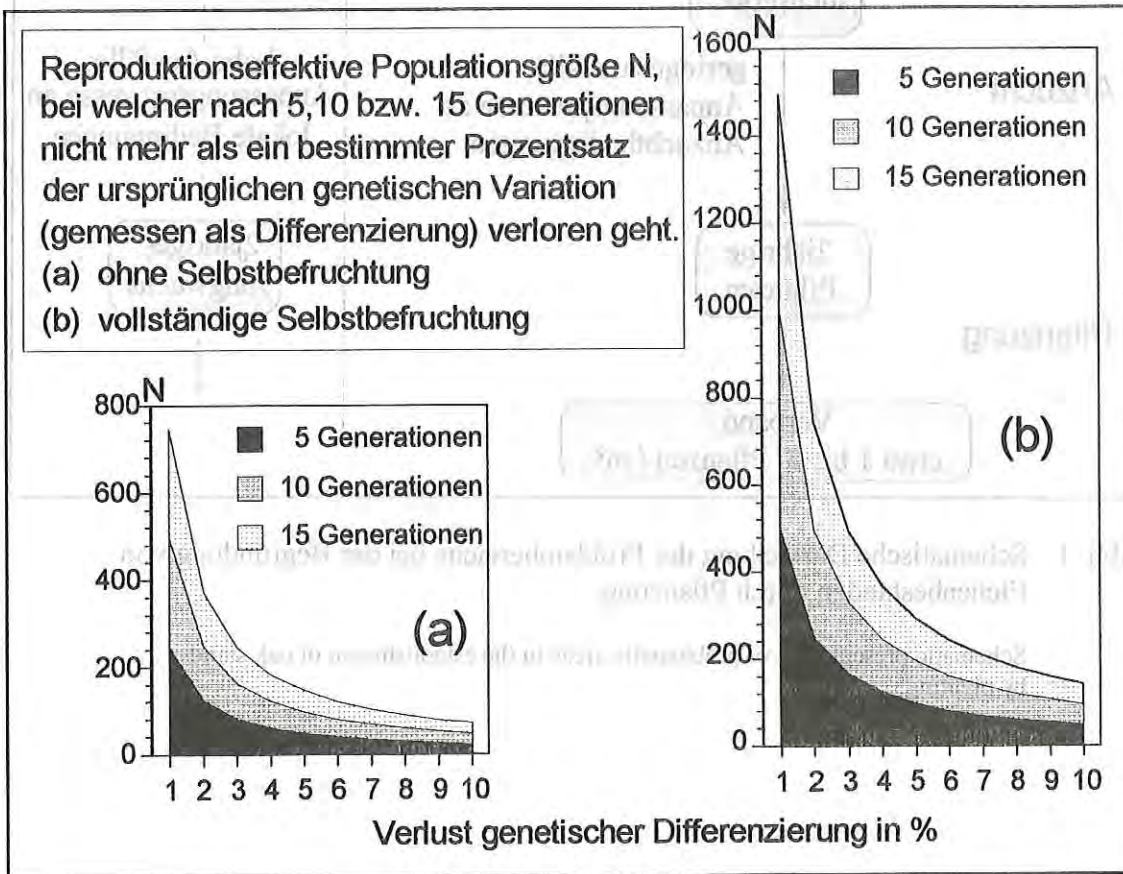


Abb. 2: Reproduktionseffektive Größe und Verlust genetischer Differenzierung (nach GREGORIUS 1991)

Reproduction effective size and loss of genetic differentiation (according to GREGORIUS 1991).

- Reproduktion des ausgewählten Bestandes und Beerntungsmodus.

Reproduktionskomponenten haben, beispielsweise durch Inzuchteffekte, eine stark begrenzende Wirkung auf das genetische Anpassungspotential des Saatguts. Derartige Inzuchteffekte können etwa aufgrund eines geringen Dichtstandes der Altbäume und einer daraus resultierenden erhöhten Selbstbefruchtungsrate gefördert werden (ZIEHE und GREGORIUS 1988). Schätzungen der Selbstbefruchtungsrate oder Kenntnisse über die Pollenproduktion und die Mechanismen der Pollenverbreitung sind für die Auswahl zu beerntender Bestände von großer Bedeutung. Hier gibt es allerdings für die Eiche noch zu wenig fundierte Informationen.

Einen erheblichen Einfluß hat weiterhin die Art und Weise der Beerntung. Für die genetische Repräsentativität einer Samenstichprobe spielt das Ausmaß, in welchem die beiden gametischen Geschlechter in dieser Stichprobe vertreten sind, eine wesentliche Rolle. Besonders deutlich wird dies am Beispiel von Einzelbaumabsaaten, wo die Anzahl der beernteten Samenernter die Zahl unterschiedlicher makrogametischer Beiträge zur Samenstichprobe bestimmt. Andererseits kommen für die Beerntung in jedem Fall nur die zu dem Zeitpunkt auch reproduzierenden Bäume in Frage, deren Anzahl die Bestandesgröße bereits deutlich unterschreiten kann. Bei einer stark begrenzten Anzahl solcher Bäume, die tatsächlich zur Samenproduktion beitragen, ist aber mit einer driftbedingten Verminderung der genetischen Variation an allen Genloci zu rechnen, soweit diese nicht direkt die Fertilitäten oder die Gametenfusion kontrollieren und damit auch anderen Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Ist die reproduktionseffektive Populationsgröße zudem über mehrere Generationen vergleichsweise gering, so akkumuliert sich der in jeder Generation erneut auftretende Verlust genetischer Variation. Abb. 2 stellt diesen Zusammenhang graphisch dar, wobei genetische Variation über das Maß genetischer Differenzierung quantifiziert wird.

Wie der Abb. 2 zu entnehmen ist, ist eine Zahl von etlichen hundert Bäumen notwendig, um die Verminderung genetischer Variation an einem Genlocus in engen Grenzen zu halten. Abb. 2 bezieht sich dabei auf einen einzelnen Genlocus. Aber auch bereits geringe

solcher Verluste können die insgesamt in der Samenproduktion realisierbare genetische Vielfalt deutlich vermindern, wenn sie über viele Genloci hinweg zu beobachten sind.

### 3. Anzuchtbedingungen des Saatguts

Reproduktionsbedingt enthält das Eichensaatgut auch weniger viable Genotypen sowie noch „unerprobte“ Neukombinationen. Letztere können zwar zum Teil auch neue und äußerst vorteilhafte Varianten beinhalten; in der weitaus überwiegenden Zahl tragen sie aber eher zur genetischen Belastung des Materials bei. Ein Teil dieser Belastung dürfte bereits postzygotal während der Samenreife abgebaut werden. Die unter natürlichen Freilandbedingungen zu beobachtende drastische Reduktion während der Keimung und unter den Keimlingen bietet aber weiteres Potential für den Abbau der genetischer Belastung: Die Anzahl der Eicheln wird hier von durchschnittlich anzunehmenden 1.500.000/ha bzw. 150/qm auf vielleicht 5 Jungpflanzen/qm im Alter von 2 Jahren, also auf 1/30 der ursprünglichen Anzahl vermindert.

Wie weit dieses Potential in in einer solch frühen ontogenetischen Phase genutzt wird, ist zwar für die Eiche noch nicht bekannt; jedoch gibt es hierzu Ergebnisse für die Buche (*Fagus sylvatica* L.) als weitere Vertreterin der Fagaceen. Untersuchungen über Buchensämlinge unter Freiland- und Gewächshausbedingungen belegten das Auftreten umweltabhängig unterschiedlicher Selektion an unterschiedlichen Enzymgenloci (MÜLLER-STARCK 1993). Beispiele hierfür sind die Enzymgenloci LAP-A, MDH-C und PER-B. Bei der Buche wird diese frühe ontogenetische Phase offenbar zum Abbau genetischer Belastung genutzt.

Ein extremes Beispiel stellt bei den Buchensämlingen die Veränderung genetischer Strukturen am Genlocus LAP-A dar (siehe Abb. 3). Träger des Allels  $A_4$  erwiesen sich an diesem Genlocus als äußerst viabel, obwohl das Allel im Saatgut der Herkunft St. Märgen nur relativ selten beobachtet werden konnte. Die Beobachtung belegt nicht nur in signifikanter Weise das Auftreten von Viabilitätsselektion. Ein Selektionsvorteil dieser Art und Größenordnung müßte ohne weitere kompensierende Mechanismen langfristig

zu Fixierung führen, was bisher offensichtlich nicht geschehen ist. Dieses kann dadurch erklärt werden, daß

- entweder aufgrund der heutigen Umweltbelastungen sich die Umweltbedingungen für Sämlinge und damit auch die Selektionsbedingungen drastisch geändert haben,
- oder aber die Träger von  $A_4$  in einem späteren Stadium oder auch der Reproduktion benachteiligt sind. Auf diese Weise könnte die Häufigkeit von  $A_4$  in der nächsten Samengeneration wiederum stark vermindert vorliegen.

Ersteres würde die Bedeutung latenten genetischen Anpassungspotentials nachdrücklich betonen, welches in einem späteren Abschnitt behandelt wird. Letzteres wiese auf kompensierende Selektionsrichtungen hin, wie sie auch bei unterschiedlicher Verteilung der Ressourcen auf Überleben und Reproduktion zum Ausdruck kommt. Ein auf solche Weise polymorphismenstabilisierendes System reagiert aber empfindlich auf Modifikation der Selektionsbedingungen in einzelnen ontogenetischen Stadien und kann

- kurzfristig in Verbindung mit Drift zu vorzeitigem Allelverlust und damit zu einer Einengung des genetischen Anpassungspotentials sowie
- langfristig auch in umfangreichen Population zu einem Verlust des Polymorphismus führen.

Daß sich auch der bei der Eiche untersuchte Genlocus LAP-A nicht neutral verhält, zeigt der Vergleich von Eltern und deren Nachkommen der Herkunft Kottenforst in Abb. 4 (Nr. 24 und 25 der Tab. 2). Einzelheiten über Material und Untersuchungsmethode sind an anderer Stelle zu finden (HERZOG 1993). Weitere Informationen über die Stichproben sind zudem den Anmerkungen zu Tab. 2 zu entnehmen. Aus der Abb. 4 wird deutlich, daß es im Vergleich des Altbestandes mit den Samen der nächsten Generation eine signifikante Verschiebung in den Allelhäufigkeiten und den Häufigkeiten bestimmter homozygoter Typen gibt. Wie schon bei der Buche (MÜLLER-STARCK 1993), so läßt auch hier das Ausmaß der Veränderungen an einem Genlocus des Enzymsystems LAP auf Selektionsprozesse im Rahmen der Reproduktion schließen.

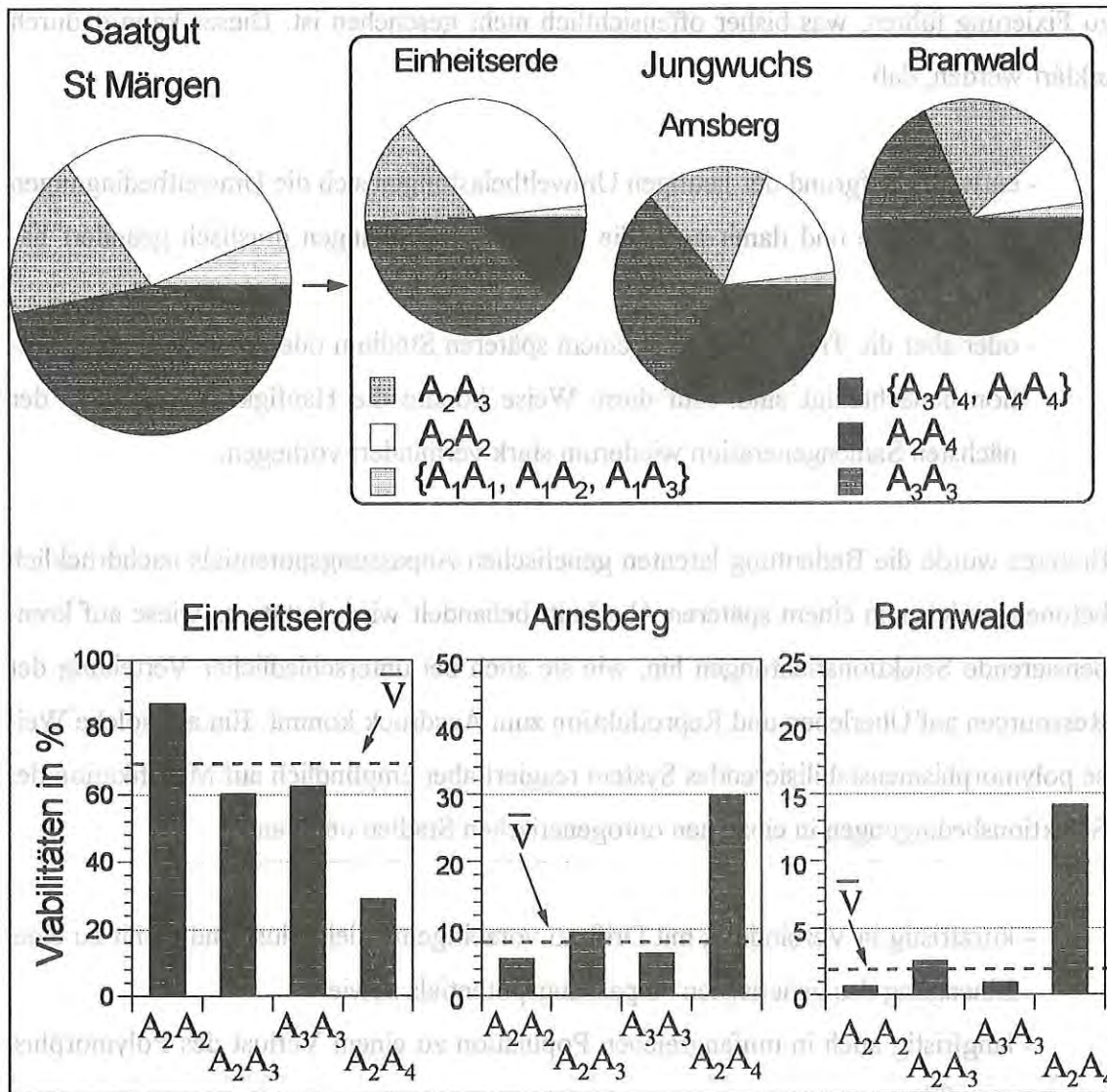


Abb. 3: Strukturveränderungen und Viabilitäten von Genotypen des Genlocus LAP-A während der Entwicklung von gekeimten Bucheckern zum 2-jährigen Jungwuchs unter Gewächshaus- (Einheitserde) und Freilandbedingungen (Arnsberg, Bramwald) (nach HATTEMER *et al.* 1993).

Changes in the distribution and viabilities of genotypes at gene locus LAP-A in the phase between germination of beech-nuts and seedlings at the age of 2 years under greenhouse (standard garden soil) and field (Arnsberg, Bramwald) conditions (from HATTEMER *et al.* 1993).



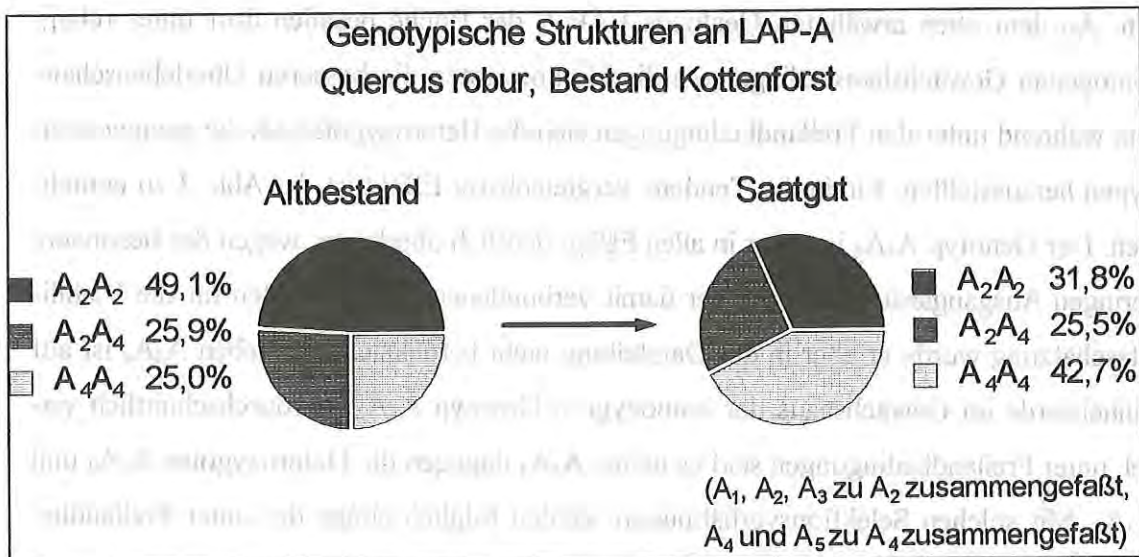


Abb. 4: Veränderungen genotypischer Strukturen der Eiche im Rahmen der Reproduktion.

Changes of genotypic structures of oak during reproduction.

Die oben präsentierten Befunde und Argumente erhärten die Vermutung, daß auch bei der Eiche während der Keimungs- und anschließenden Sämlingsphase in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen genetisch ungeeignete Genotypen herausselektiert werden. Bei den für die spätere Begründung vorgesehenen Eichensämlingen verläuft diese Phase allerdings in der Regel auf eine andere Weise. Unter den anthropogen beeinflussten Anzuchtbedingungen dürften bereits aus ökonomischen Gründen die Ausfälle und damit das maximal mögliche Ausmaß genetischer Selektion während der Anzuchtphase wesentlich vermindert sein. Eine hieraus resultierende „Überbrückung“ natürlicher Anpassungsprozesse hat natürlich erhebliche Auswirkungen auf die genetische Belastung und das Anpassungspotential des 2jährigen Materials. Sind keine oder kaum Ausfälle zu beobachten, so ändert sich das Material in seiner genetischen Zusammensetzung nur wenig; die unter natürlichen Freilandbedingungen nicht oder weniger lebensfähigen Genotypen verbleiben im auszupflanzenden Material und dessen genetische Belastung ist, bezogen auf die Freilandverhältnisse, entsprechend hoch. Gibt es dagegen in nennenswertem Umfang Ausfälle während der Keimungs- und Anzuchtphase, so ist zwar ein Potential für genetische Anpassungsprozesse vorhanden. Wie KIM (1985) am Beispiel der Buche deutlich gezeigt hat, können dabei aber auch gerade die falschen Genotypen der Selektion entge-

hen. An dem oben erwähnten Genlocus LAP-A der Buche besaßen dort unter relativ homogenen Gewächshausbedingungen die Homozygoten die besseren Überlebenschancen, während unter den Freilandbedingungen sich die Heterozygoten als die geeigneteren Typen herausstellten. Ein in der Tendenz vergleichbarer Effekt ist der Abb. 3 zu entnehmen. Der Genotyp  $A_4A_4$  ist zwar in allen Fällen deutlich überlegen; wegen der besonders geringen Ausgangshäufigkeit und der damit verbundenen Unsicherheiten für die Viabilitätsschätzung wurde er aber in der Darstellung nicht berücksichtigt. Neben  $A_4A_4$  ist auf Einheitserde im Gewächshaus der homozygote Genotyp  $A_2A_2$  überdurchschnittlich viabel, unter Freilandbedingungen sind es neben  $A_4A_4$  dagegen die Heterozygoten  $A_2A_3$  und  $A_2A_4$ . Mit solchen Selektionsverhältnissen werden folglich einige der unter Freilandbedingungen weniger geeigneten Typen unter den Gewächshausbedingungen relativ und absolut begünstigt und nehmen in ihrem relativen Anteil zu, während insbesondere  $A_2A_4$  unter Gewächshausbedingungen verstärkt ausfällt. Der von KIM (1985) beobachtete Trend ist also auch hier mit anderem Ausgangsmaterial und unter weiteren Freilandbedingungen bestätigt worden.

Stochastische Assoziation von Genotypen über die Genloci hinweg haben zur Folge, daß Veränderungen genetischer Strukturen nicht nur an denjenigen Genloci wirksam werden, die direkt der Selektion unterliegen. Derartige Assoziationen werden beispielsweise durch Inzuchteffekte (wie erhöhte Selbstbefruchtung) oder Drift erzeugt. Die Dynamik genotypischer Strukturen kann dann bei Ausfall der Selektion oder Modifikation der Selektionsbedingungen unter den Anzuchtbedingungen über das gesamte Genom hinweg anders aussehen als es unter den Freilandbedingungen der Fall wäre (ZIEHE *et al* 1990). Damit hätte ein Ausfall von Selektion oder Selektion in die falsche Richtung unter Umständen Auswirkungen auf das genetische Anpassungspotential, die über das hinausreichen, was der direkt von Selektion betroffene Genlocus kontrolliert.

#### 4. Der Pflanzverband

Die Ausgangssituation eines Pflanzverbandes liegt für die Begründung von Eichenbeständen in der Regel bei 1 bis zu 3 Pflanzen pro m<sup>2</sup>. Die Zielvorgabe beträgt ca. 1 Pflanze/a im Alter 150. Die damit verbundene Reduktion bietet damit noch Spielraum für Anpassungsprozesse an die jeweils herrschenden Freilandbedingungen. Auf Trupppflanzungen mit weitaus weniger Pflanzen pro ha kann hier aufgrund ihrer besonderen Problematik nicht eingegangen werden.

Für einen Genlocus, welcher einer Selektionsepisode unter Freilandbedingungen während der Phase der Anzucht ausgesetzt war, sind zwei wesentliche Szenarien in Betracht zu ziehen:

- *Fall 1:* Die Selektionsepisode unter den Freilandbedingungen ist abgeschlossen, aber unter den Anzuchtbedingungen ausgeblieben. Hierdurch entsteht eine genetische Belastung in derselben Selektionsepisode der Folgegeneration. Dieses kann sich dann in den Eigenschaften von Saatgut oder natürlicher Verjüngung der nächsten Generation negativ bemerkbar machen.

- *Fall 2:* Die Selektionsepisode ist zum Zeitpunkt der Auspflanzung noch nicht abgeschlossen (z.B. bei Pleiotropie). Es können hierdurch nach Auspflanzung zusätzliche Ausfälle entstehen, die bei zu geringer Zahl ausgebrachter Pflanzen eine überproportionale Verringerung der gesamten genetischen Variation nach sich ziehen.

Während sich im ersten Fall die Folgen erst in der nächsten Generation manifestieren, besteht im zweiten Fall bereits im ausgepflanzten Material bei zu geringer Pflanzdichte die Gefahr einer Ausdünnung des Bestandesmaterials. Dieses kann sowohl zu erhöhter Selbstbefruchtung als auch bei mangelndem Bestandesschluß zu einer größeren Bedrohung etwa durch Windbruch führen.

## 5. Das operierende und das latente Anpassungspotential

Das operierende Anpassungspotential (BERGMANN *et al.* 1990) eines bestimmten Genlocus ist in der Regel in der Menge der häufigen Allele repräsentiert. Gerade dann, wenn auf vielen voneinander vielleicht auch weitgehend isolierten Standorten die gleichen Alleltypen die häufigsten darstellen, liegt die Vermutung nahe, daß es sich hierbei um solche Varianten handelt, welche unter den herrschenden Umweltbedingungen aufgrund eines adaptiven Vorteils diese Häufigkeit behalten. Wird das operierende Anpassungspotential durch anthropogene Einflußnahme ohne adaptive Notwendigkeit verändert, ist in der Regel eine erhebliche genetische Belastung die Folge.

Das latente genetische Anpassungspotential ist in den seltenen Alleltypen sichtbar. Es wird erst bei drastischen Veränderungen der Umweltbedingungen aktiviert. Solange Umweltbedingungen kontrolliert werden können oder konstant bleiben, stellt dieses Anpassungspotential aufgrund der geringen Häufigkeiten eine vergleichsweise kleine genetische Belastung dar. Es gibt die verschiedensten Mechanismen, wie Populationen solche Allelvarianten in geringen Häufigkeiten erhalten können.

Für die Nachhaltigkeit einer Bestandesbegründung, insbesondere bei Planung nachfolgender natürlicher Verjüngung, ist das latente Anpassungspotential von besonderer Bedeutung. Dieses gilt um so mehr angesichts anstehender globaler Umweltveränderungen. Wegen der geringen Häufigkeiten der Allelvarianten besteht aber gerade bei geringen Pflanzenzahlen und dem damit verbundenem Driteffekt eine besondere Gefährdung dieses Potentials durch Allelverlust.

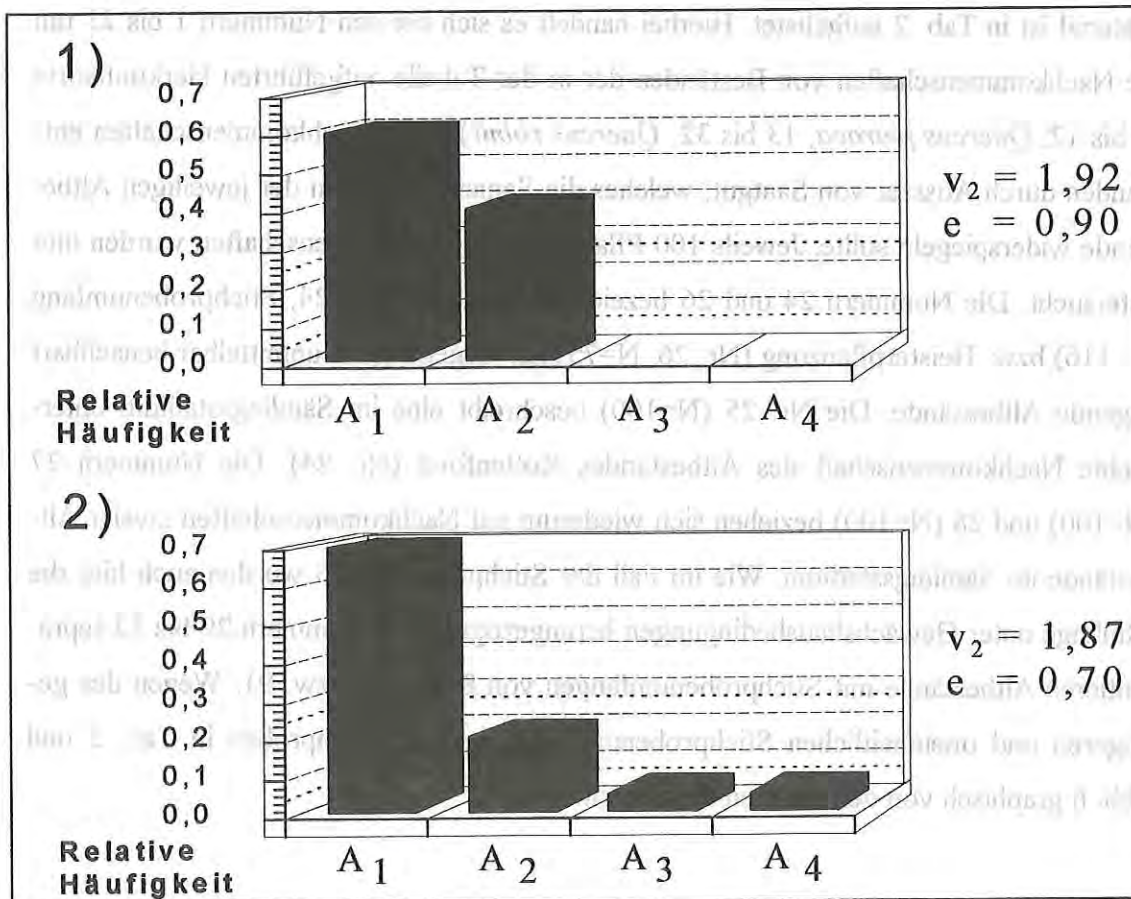


Abb. 5: Diversität und Äquität für 2 verschiedene hypothetische allelische Strukturen.  
Diversity and evenness for 2 different hypothetical allelic structures.

Für die Beurteilung der genetischen Eigenschaften des auszupflanzenden Materials ist die Identifikation des vorhandenen latenten genetischen Anpassungspotentials notwendig. Daß hier sowohl die Diversität  $v_2$  als auch die Äquität (Evenness)  $e$  (vgl. Tab. 1) nur begrenzt aussagekräftig sind, zeigen die Beispiele in Abb. 5. Das Vorhandensein zweier seltener Allelvarianten im *Fall 2* kommt in diesen Parametern nicht entsprechend zum Ausdruck. Das größere latente Ausgangspotential ist hier offensichtlich in der Verteilung mit geringerer Diversität zu finden. Um insbesondere die Trennbarkeit der seltenen von den häufigen Allelen zu quantifizieren, wurden die in Tabelle 1 beschriebenen Parameter gewählt.

Die Beurteilung des Anpassungspotentials soll nachfolgend am Beispiel der Untersuchung verschiedener Eichennachkommenschaften erläutert werden. Das untersuchte

Material ist in Tab. 2 aufgelistet. Hierbei handelt es sich bei den Nummern 1 bis 23 um die Nachkommenschaften von Beständen der in der Tabelle aufgeführten Herkunftsorte (1 bis 12: *Quercus petraea*, 13 bis 32: *Quercus robur*). Die Nachkommenschaften entstanden durch Aussaat von Saatgut, welches die Samenproduktion der jeweiligen Altbestände widerspiegeln sollte. Jeweils 100 Pflanzen der Nachkommenschaften wurden hier untersucht. Die Nummern 24 und 26 bezeichnen aus Saat (Nr. 24, Stichprobenumfang N= 116) bzw. Heisterpflanzung (Nr. 26, N=75) hervorgegangene unmittelbar benachbart liegende Altbestände. Die Nr. 25 (N=100) beschreibt eine im Sämlingsstadium untersuchte Nachkommenschaft des Altbestandes Kottenforst (Nr. 24). Die Nummern 27 (N=100) und 28 (N=100) beziehen sich wiederum auf Nachkommenschaften zweier Altbestände im Sämlingsstadium. Wie im Fall der Stichprobe Nr. 25 wurden auch hier die Sämlinge unter Gewächshausbedingungen herangezogen. Die Nummern 29 bis 32 repräsentieren Altbestände mit Stichprobenumfängen von 8, 40, 81 bzw. 91. Wegen des geringeren und uneinheitlichen Stichprobenumfangs sind die Stichproben in Tab. 2 und Abb. 6 graphisch von den anderen abgetrennt.

Tab. 1: Definition von Parametern zur Charakterisierung der allelischen Häufigkeitsprofile.

Definition of parameters for the characterization of allelic frequency profiles.

$e$ : = **Äquität**; Komplement des Abstandes von der Gleichverteiltheit;  $e = 1$  bei Gleichverteilung der Typen; relative Äquität: Normierung auf  $[0,1]$   
 GREGORIUS (1990)

$v_2$ : = **Diversität**; differenzierungseffektive Zahl von Typen  $v_2 = \frac{1}{\sum_i p_i^2}$   
 mit Häufigkeiten  $p_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ )  
 GREGORIUS (1987)

$\kappa$ : = **Konzentration** auf vorherrschende Typen (maximale Stufenhöhe im Häufigkeitsprofil);  $\kappa = \max_i (p_i - p_{i+1})$ , wobei  $p_i \geq p_{i+1}$  für jedes  $i$  vorausgesetzt wird  
 GREGORIUS (1995)

$\xi$ : = **Trennung** vorherrschender (Häufigkeit  $> q$ ) von seltenen (Häufigkeit  $< r$ ) Typen; maximale und minimale Trennbarkeit sind bei jeweils  $\xi=1$  und  $\xi=-1$  erreicht;  $\xi > 0$  bedeutet Trennbarkeit und  $\xi \leq 0$  keine Trennbarkeit  
 GREGORIUS (1995)

$$\xi := \begin{cases} \frac{\xi'}{r} & \text{für } \xi' \geq 0 \\ \frac{\frac{1}{2}(q-r)}{\xi'} & \text{für } \xi' < 0 \end{cases} \quad \text{mit} \quad \xi' := \min_i |p_i - \frac{1}{2}(r+q)| - \frac{1}{2}(q-r)$$

$\eta$ : = **relative Trennung** vorherrschender von seltenen Typen (auch *lineare Äquität*);  $\eta = 1$  bei Gleichverteilung,  $\eta = 0$  bei linear abfallenden Häufigkeitsprofilen  
 GREGORIUS (1995)

$$\eta := \begin{cases} \frac{\kappa(2-p_1) - p_1^2}{2 \cdot p_1(1-p_1)} & \text{für } p_1 < \frac{2}{3} \\ \frac{\kappa - \frac{1}{3}}{p_1 - \frac{1}{3}} & \text{für } p_1 \geq \frac{2}{3} \end{cases}$$

Tab. 2: Parameter aus Tabelle 1 für verschiedene Eichenstichproben und fünf Enzymgenloci.

Parameters as given in table 1 for different oak samples and five enzyme gene loci.

Herkunft		GOT-C										IDH									
Nr.	Herkunftsort	Nr.	e <sub>rel</sub> %	v <sub>2</sub>	κ	π	ξ	V	I	S	e <sub>rel</sub> %	v <sub>2</sub>	κ	π	ξ	V	I	S			
1	Q. p. GB-Dymock	1	51.0	1.93	0.415	0.243	-0.150	2	1	1	78.0	1.25	0.820	0.874	-0.200	1	1	2			
2	Q. p. DK-Horbylunde	2	68.0	2.31	0.290	0.211	0.000	2	0	3	79.0	1.24	0.825	0.875	-0.200	1	1	2			
3	Q. p. D-Lüß	3	77.0	2.11	0.360	0.387	0.500	2	0	3	86.0	1.15	0.890	0.933	0.200	1	0	3			
4	Q. p. D-Göhrde	4	68.0	2.18	0.260	0.067	-0.300	2	1	0	83.0	1.19	0.865	0.914	0.000	1	0	3			
5	Q. p. D-Seelezerthum	5	90.0	2.07	0.430	0.705	0.600	2	0	1	63.0	1.47	0.725	0.813	-0.400	1	2	1			
6	Q. p. D-Lappwald	6	78.0	2.11	0.345	0.358	0.100	2	0	1	69.0	1.38	0.740	0.795	-0.550	1	1	2			
7	Q. p. D-Kottenforst	7	92.0	1.99	0.460	0.765	1.000	2	0	0	83.0	1.19	0.850	0.888	-0.150	1	1	1			
8	Q. p. D-Bad Münsterfeld	8	69.0	2.13	0.310	0.184	0.300	2	0	3	72.0	1.32	0.725	0.744	-0.850	1	1	1			
9	Q. p. D-Wolfgang	9	65.7	2.71	0.232	0.209	-0.510	2	2	2	73.7	1.32	0.818	0.906	-0.005	1	1	3			
10	Q. p. D-Johanniskreuz	10	60.0	2.04	0.330	0.118	-0.050	2	1	1	80.0	1.23	0.850	0.912	0.000	1	0	2			
11	Q. p. F-Vouille Saint Hilaire	11	78.0	2.07	0.365	0.388	0.500	2	0	3	85.0	1.16	0.860	0.890	-0.150	1	1	2			
12	Q. p. PL-Sycow, Smardze	12	77.0	2.50	0.345	0.657	-0.350	2	1	2	69.0	1.37	0.735	0.785	-0.600	1	1	1			
13	Q. r. GB-Dean, Sutton Bottom I	13	66.0	1.41	0.690	0.718	-0.900	1	1	3	69.0	1.37	0.725	0.765	-0.700	1	1	2			
14	Q. r. GB-Dean, Sutton Bottom II	14	94.0	2.12	0.450	0.879	0.400	2	0	1	67.0	1.40	0.700	0.731	-0.850	1	1	2			
15	Q. r. D-Farchau	15	64.0	2.23	0.275	0.097	0.100	2	0	3	81.0	1.93	0.405	0.446	1.000	2	0	0			
16	Q. r. NL-Heesch	16	87.0	1.14	0.905	0.950	0.400	1	0	3	60.0	1.47	0.600	0.571	-0.500	1	1	0			
17	Q. r. D-Osterholz-Scharmbeck	17	72.0	1.34	0.785	0.858	-0.250	1	1	3	56.0	1.52	0.560	0.507	-0.300	1	1	0			
18	Q. r. D-Bentheim	18	63.0	1.44	0.635	0.626	-0.700	1	1	1	54.0	1.56	0.555	0.508	-0.350	1	1	1			
19	Q. r. D-Ville	19	87.0	1.14	0.885	0.917	0.000	1	0	2	50.0	1.60	0.500	0.400	0.000	2	0	0			
20	Q. r. D-Winnefeld	20	93.0	1.07	0.955	0.984	0.800	1	0	4	53.0	1.93	0.400	0.206	-0.200	2	1	0			
21	Q. r. D-Radolfshausen	21	88.0	1.13	0.920	0.967	0.600	1	0	4	56.0	1.52	0.560	0.507	-0.300	1	1	0			
22	Q. r. D-Ebrach	22	62.0	1.48	0.695	0.759	-0.650	1	2	2	61.0	1.74	0.390	0.157	1.000	2	0	0			
23	Q. r. D-Freilassing, Eichet	23	72.0	1.33	0.765	0.820	-0.450	1	1	3	57.0	1.69	0.430	0.253	0.700	2	0	0			
24	Q. r. D-Kottenforst (Alt. aus Saat)	24	98.3	1.02	0.987	0.993	0.914	1	0	2	53.4	1.56	0.534	0.464	-0.172	1	1	0			
25	Q. r. D-Kottenforst (Saatgut)	25	79.0	1.24	0.805	0.840	-0.400	1	1	1	52.0	1.67	0.470	0.345	0.200	2	0	1			
26	Q. r. D-Kottenforst (Alt. Heisterpfl.)	26	90.7	1.10	0.920	0.946	0.333	1	0	2	81.3	1.93	0.407	0.456	1.000	2	0	0			
27	Q. r. L-Luxemburg West, Clemency	27	80.0	1.22	0.800	0.824	-0.500	1	1	0	99.0	2.00	0.495	0.970	1.000	2	0	0			
28	Q. r. L-Mersch, Kőrich, Steinfurt	28	45.0	1.76	0.535	0.515	-0.600	1	2	0	48.0	1.70	0.555	0.545	-0.650	1	2	1			
29	Q. r. D-Au, Östlicher Oberwald	29	100.0	1.00	1.000	1.000	1.000	1	0	0	75.0	1.28	0.750	0.769	-0.750	1	1	0			
30	Q. r. D-Au, Westlicher Oberwald	30	72.5	1.31	0.725	0.740	-0.875	1	1	0	65.0	1.89	0.325	0.036	0.500	2	0	1			
31	Q. r. D-Rastatt, Otternd. Oberwald	31	84.0	1.18	0.883	0.937	0.259	1	0	3	71.6	1.85	0.358	0.161	1.000	2	0	0			
32	Q. r. D-Rastatt, Bannwald	32	78.0	1.25	0.813	0.862	-0.269	1	1	1	72.5	1.96	0.341	0.196	0.560	2	0	1			



Nr.	LAP										MNR										PGM									
	e <sub>rel</sub> %	v <sub>2</sub>	κ	η	ξ	V	I	S	e <sub>rel</sub> %	v <sub>2</sub>	κ	η	ξ	V	I	S	e <sub>rel</sub> %	v <sub>2</sub>	κ	η	ξ	V	I	S						
1	60.0	1.88	0.365	0.101	0.700	2	0	3	62.7	2.66	0.210	0.118	-0.650	2	1	1	89.0	1.12	0.910	0.943	0.300	1	0	2						
2	62.0	2.85	0.230	0.299	-0.750	2	1	2	72.0	2.09	0.320	0.213	0.200	2	0	3	73.0	2.20	0.315	0.270	0.000	2	0	2						
3	91.0	2.09	0.440	0.763	0.700	2	0	2	61.0	2.67	0.210	0.093	-0.650	2	2	1	97.0	1.03	0.970	0.977	0.700	1	0	1						
4	66.0	2.48	0.255	0.176	-0.250	2	1	2	58.0	2.40	0.280	0.154	-0.150	2	1	2	82.0	1.20	0.860	0.913	0.000	1	0	3						
5	71.0	2.15	0.320	0.242	0.300	2	0	3	46.0	2.35	0.370	0.329	-0.500	1	2	3	95.0	1.05	0.955	0.969	0.600	1	0	2						
6	61.0	2.33	0.265	0.110	-0.500	2	1	1	51.0	2.34	0.335	0.257	-0.600	2	1	2	98.0	1.02	0.985	0.992	0.900	1	0	2						
7	48.0	1.73	0.595	0.643	-0.950	1	2	1	56.7	3.05	0.200	0.182	-0.650	2	2	0	94.0	1.06	0.950	0.969	0.600	1	0	2						
8	82.0	2.10	0.390	0.517	0.600	2	0	3	51.7	3.08	0.200	0.171	-0.950	2	2	2	77.0	1.27	0.815	0.873	-0.200	1	1	2						
9	77.8	2.48	0.343	0.557	-0.056	2	1	3	56.6	2.52	0.273	0.173	-0.308	2	1	5	84.8	1.17	0.894	0.949	0.394	1	0	4						
10	47.0	1.68	0.500	0.415	-0.150	1	1	1	45.0	2.56	0.340	0.343	-0.500	1	3	1	68.0	1.39	0.735	0.793	-0.550	1	1	3						
11	63.0	1.99	0.320	0.072	0.400	2	0	2	43.4	1.79	0.513	0.469	-0.461	1	1	3	85.0	1.17	0.890	0.941	0.300	1	0	4						
12	52.0	1.68	0.670	0.789	-0.400	1	2	2	79.3	1.23	0.807	0.841	-0.397	1	1	1	94.0	1.06	0.955	0.976	0.700	1	0	3						
13	59.0	1.54	0.700	0.794	-0.450	1	2	1	84.3	1.17	0.879	0.927	0.143	1	0	2	66.0	1.41	0.690	0.718	-0.900	1	1	2						
14	58.0	1.56	0.700	0.803	-0.400	1	2	1	66.7	2.15	0.268	0.058	-0.157	2	1	1	46.0	1.73	0.495	0.413	-0.200	1	1	3						
15	71.0	2.23	0.300	0.226	-0.050	2	1	2	82.6	1.20	0.863	0.914	0.006	1	0	5	75.0	2.54	0.320	0.579	-0.500	2	1	3						
16	76.3	2.95	0.200	0.287	-0.350	2	1	2	92.9	1.07	0.929	0.943	0.286	1	0	1	75.0	1.29	0.770	0.806	-0.550	1	1	2						
17	78.0	2.47	0.350	0.577	0.000	2	0	3	90.6	1.10	0.937	0.975	0.685	1	0	4	77.0	2.11	0.350	0.358	0.300	2	0	3						
18	79.0	2.45	0.365	0.664	-0.050	2	1	1	78.9	1.24	0.852	0.925	0.155	1	0	4	87.0	2.28	0.425	0.862	0.200	2	0	3						
19	82.0	2.22	0.365	0.513	0.100	2	0	3	84.7	1.17	0.893	0.948	0.389	1	0	3	59.7	2.79	0.190	0.094	-0.850	2	1	2						
20	53.0	3.02	0.270	0.348	-0.500	1	3	0	71.7	1.34	0.767	0.825	-0.417	1	1	2	82.0	2.39	0.390	0.754	0.000	2	0	2						
21	65.3	3.23	0.200	0.369	-0.900	2	2	1	65.0	1.94	0.315	0.041	0.700	2	0	3	78.0	2.41	0.300	0.387	-0.400	2	1	1						
22	56.0	2.65	0.255	0.176	-0.450	2	2	1	68.0	2.32	0.305	0.255	0.300	2	0	6	81.0	2.11	0.375	0.473	0.400	2	0	2						
23	72.7	3.09	0.215	0.323	0.100	3	0	1	94.0	1.06	0.940	0.953	0.400	1	0	1	92.0	2.16	0.430	0.819	0.200	2	0	1						
24	66.1	2.88	0.203	0.269	-0.862	2	1	2	61.2	2.90	0.241	0.351	-0.664	2	1	3	50.0	2.23	0.358	0.270	-0.793	2	1	2						
25	51.7	2.54	0.315	0.312	-0.600	1	2	2	57.0	1.77	0.410	0.212	0.700	2	0	2	91.0	2.14	0.425	0.747	0.400	2	0	2						
26	48.0	2.44	0.340	0.300	-0.633	1	3	1	72.0	2.35	0.293	0.275	-0.167	2	1	3	88.0	2.21	0.387	0.642	-0.033	2	1	0						
27	66.3	3.14	0.200	0.357	-0.850	2	2	1	56.0	1.53	0.565	0.519	-0.350	1	1	1	62.0	1.88	0.350	0.074	0.400	2	0	1						
28	36.0	2.53	0.400	0.475	-1.000	1	2	2	77.0	2.46	0.295	0.411	-0.500	2	1	3	68.0	2.00	0.305	0.077	0.300	2	0	2						
29	100.0	1.00	1.000	1.000	1.000	1	0	0	62.5	1.75	0.375	0.118	1.000	2	0	0	62.5	1.75	0.375	0.118	1.000	2	0	0						
30	54.2	3.74	0.113	0.066	-0.875	2	3	0	85.0	1.96	0.425	0.563	1.000	2	0	0	78.3	2.85	0.225	0.417	-0.250	2	1	0						
31	75.3	3.71	0.160	0.413	-0.611	3	1	1	75.3	2.14	0.327	0.298	0.012	2	0	2	45.7	2.26	0.377	0.333	-0.957	1	2	1						
32	64.5	3.02	0.137	0.031	-0.742	2	2	1	84.6	2.05	0.401	0.550	0.560	2	0	1	82.4	2.37	0.363	0.618	-0.104	2	1	2						

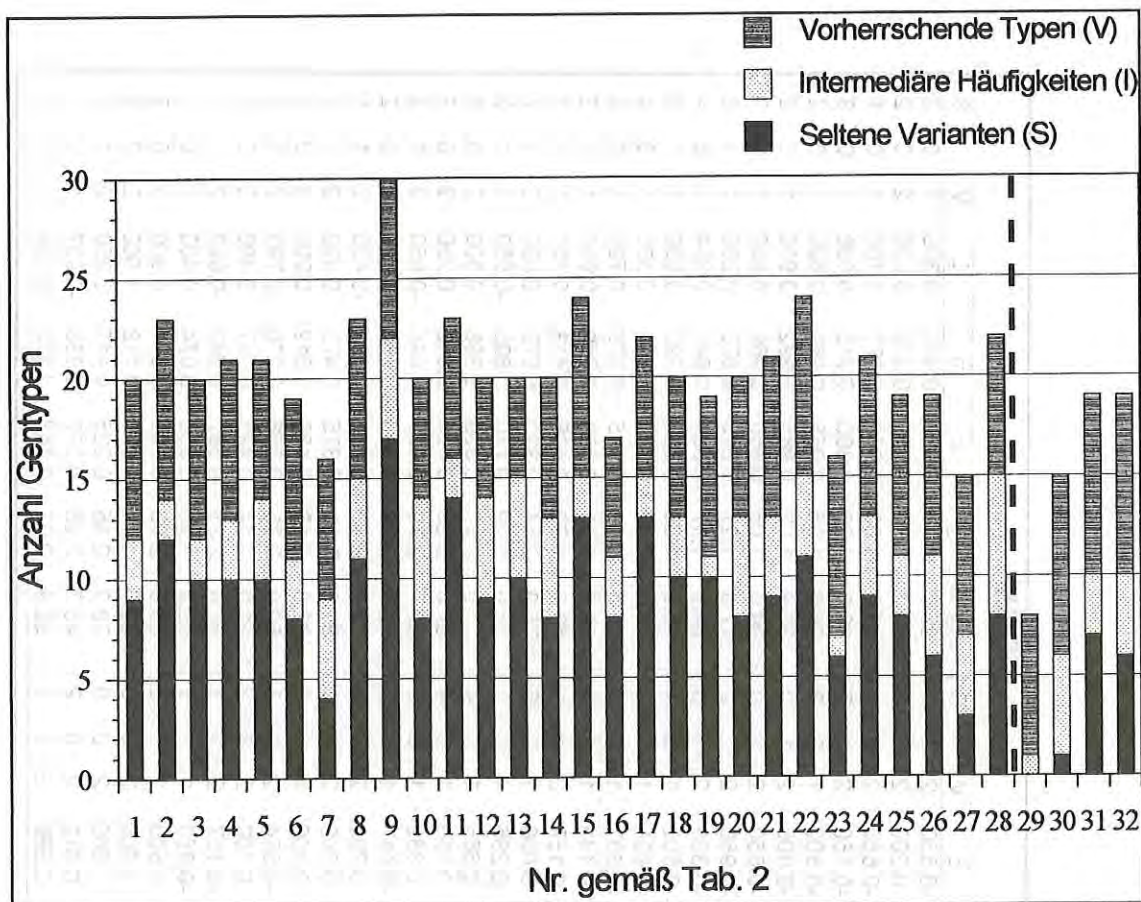


Abb. 6: Anzahlen der in ihrer Häufigkeit seltenen, intermediären ( $0,05 < p_i < 0,25$ ) bzw. vorherrschenden Allele in dem untersuchten Eichenmaterial der Tab. 2, jeweils über die Genorte GOT-C, IDH-A, LAP-A, MNR-A und PGM-A aufsummiert.

Numbers of rare, intermediate ( $0.05 < p_i < .0.25$ ) or prevalent alleles in the studied material of oak as given in table 2 each summed over the gene loci GOT-C, IDH-A, LAP-A, MNR-A and PGM-A.

Für die in Tab. 2 angegebenen Parameter wurde festgelegt, daß die als selten zu klassifizierenden Allele Häufigkeiten unter 5% ( $r = 0,05$ ) besitzen sowie die als vorherrschend zu klassifizierenden in ihrer Häufigkeit über 25% ( $q = 0,25$ ) liegen. Die Parameter V, I und S beschreiben die jeweilige Anzahl vorherrschender (V), intermediär einzustufender (I) und seltener (S) Allele an dem entsprechenden Genlocus. Da bei Stichprobenumfängen von 100 der Zufall noch eine erhebliche Rolle für das Auftreten seltener Allele an den einzelnen Genloci spielt, wurden zusätzlich Summen über die Genloci gebildet und in Abb. 6 veranschaulicht.

In den Daten der Tabelle 2 wird deutlich, daß die Trennbarkeit von operierendem und latentem Anpassungspotential nicht einheitlich über alle Stichproben vorliegt. Es werden insbesondere Unterschiede zwischen *Quercus petraea* und *Quercus robur* deutlich. *Quercus robur* erlaubt eine vergleichsweise gute Trennbarkeit für PGM-A, jedoch eine relativ schlechte für MNR-A. Für *Quercus robur* scheint es eher umgekehrt zu sein, wobei an PGM-A zwar noch wenig intermediär häufige Allele zu beobachten sind, jedoch im Gegensatz zu *Quercus petraea* zumeist zwei vorherrschende Varianten. Am Genlocus IDH-A wird der Unterschied zwischen Stieleichen- und Traubeneichenmaterial noch deutlicher. *Quercus petraea* weist hier besonders wenig seltene Allele und damit zwangsläufig auch ein geringes latentes genetisches Anpassungspotential auf.

Die Anzahl der als selten einzustufenden Allele als Basis für das latente Anpassungspotential schwankt an den meisten Genloci ganz erheblich, was zu einem Teil sicher auf den Stichprobenumfang zurückzuführen ist. Um einzelne Stichproben zuverlässiger vergleichen zu können, ist die Betrachtung von Abb. 6 nötig. Sofern nicht gerade die seltenen Allele über die betrachteten Genloci streng assoziiert sind, können sich die Zufallseffekte über die Genloci hier weitgehend ausgleichen. Deutlich aus dem Rahmen fällt hier das Material der Herkunft Wolfgang. Es beinhaltet eine extreme Anzahl seltener Allelvarianten über die 5 Genloci hinweg, die zum größten Teil auch gut trennbar sind von den häufigeren. Positiv fällt in dieser Hinsicht auch eine französische Herkunft (Vouille Saint Hilaire) auf, nachteilig dagegen eine Clemency (Luxemburg) und Kottenforst mit *Quercus petraea*. Allerdings darf aus geringen Anpassungspotentialen in den Stichproben nicht unmittelbar auf die zugehörigen Herkünfte geschlossen werden, da unter Umständen erhebliche genetische Verluste vor allem der Bestandesreproduktion sowie bei der Art der Beerntung eintreten konnten.

## 6. **Schlußbemerkung**

Insgesamt bleibt festzustellen, daß hohe Pflanzenzahlen allein keine Gewähr für eine „sichere“ Bestandesbegründung bieten. Die erwarteten globalen Umweltveränderungen können nur sehr allgemein spezifiziert werden, und lokale Vorhersagen werden mit erheblichen Unsicherheiten behaftet sein. Hohes latentes genetisches Anpassungspotential ist hier besonders gefragt, wäre aber aufgrund der mit geringen Häufigkeiten auftreten-

den Genvarianten nur unter Verwendung der hieran explizit orientierten Methoden der Bestandesauswahl und der Beerntung, sowie einer an adaptiven Erfordernissen orientierten Anzucht und eines Drift weitgehend vermeidenden Pflanzverbandes zu gewährleisten. Die hier vorgestellten Ergebnisse sollten zeigen, wo in diesem Zusammenhang Risiken liegen, und daß man mit Hilfe von Informationen über genetische Strukturen durchaus wesentliche Entscheidungshilfen für die einzelnen Schritte bei der Bestandesbegründung geben kann.

## 7. Danksagung

Die dem vorliegenden Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden zu wesentlichen Teilen aus Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie (FKZ 0339474B) sowie der Kommission der Europäischen Union (Vertrag MA2B-CT91-022) gefördert.

## 8. Literatur

BERGMANN, F., GREGORIUS, H.-R. and LARSEN, J.B. (1990): Levels of genetic variation in European silver fir (*Abies alba*). Are they related to species decline? *Genetica*, 82, pp. 1-10.

GREGORIUS, H.-R. (1987): The relationship between the concepts of genetic diversity and differentiation. *Theoretical and Applied Genetics*, 74, pp. 397-401.

GREGORIUS, H.-R. (1990): A diversity-independent measure of evenness. *American Nature*, 136 (5), pp. 701-711.

GREGORIUS, H.-R. (1991): Gene conservation and the preservation of adaptability. P. 31-47. In: Species conservation: A Population-Biological Approach (Seitz, A. and Loeschcke V., eds.), Birkhäuser Verlag Basel.

- GREGORIUS, H.-R. (1995): Measurement of genetic diversity, with special reference to the adaptive potential of populations. Beitrag zur Tagung „Measuring and Monitoring Biodiversity in Tropical and Temperate Forests“ in Chiang Mai, Thailand, vom 28. August bis 2. September 1994.
- HATTEMER, H.H.; BERGMANN, F. und ZIEHE, M. (1993): Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. Zweite, neubearbeitete und erweiterte Auflage. J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, 492 S.
- HERZOG, S. (1993): Studies on genetic diversity in European oak populations. P. 222-231. In: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Southern Forest Tree Improvement Conference, Atlanta, Georgia.
- KIM, Z.S. (1985): Viability selection at an allozyme locus during development in European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Silvae Genetica*, 34, pp. 181-186.
- MÜLLER-STARCK, G. (1993): Auswirkungen von Umweltbelastungen auf genetische Strukturen von Waldbeständen am Beispiel der Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Bd. 112, 163 S.
- MÜLLER-STARCK, G. and STARKE, R. (1993): Genetic control and inheritance of isoenzymes in beech (*Fagus sylvatica* L.). *Journal of Heredity*, 84, pp. 291-296.
- MÜLLER-STARCK, G. and ZIEHE, M. (1991): Genetic variation in populations of *Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., and *Quercus petraea* Liebl. in Germany. In: Genetic Variation in European Populations of Forest Trees (MÜLLER-STARCK, G. and ZIEHE, M., eds.), J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, pp. 125-140.
- ZIEHE, M. (1990): Die Wirksamkeit der Überdominanz für die Generhaltung in der gegenwärtigen Waldschadenssituation. In: Erhaltung forstlicher Genressourcen (STEPHAN, B.R., ed.), *Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft*, Bd. 164, Hamburg, S. 11-27.
- ZIEHE, M. and GREGORIUS, H.-R. (1988): Selection caused by self-fertilization. II. Ecological constraints on selfing advantage. *Journal of evolutionary Biology*, 1, pp. 233-253.
- ZIEHE, M.; GREGORIUS, H.-R. und MÜLLER-STARCK, G. (1990): Zur Bedeutung der Heterozygotie für die dynamische Genkonservierung. In: Erhaltung forstlicher Genressourcen (HATTEMER, H.H., Hrsg.), *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Bd. 98, S. 46-57.
- ZIEHE, M. and MÜLLER-STARCK, G. (1991): Changes of genetic variation due to associated selection. In: Genetic Variation in European Populations of Forest Trees (MÜLLER-STARCK, G. and ZIEHE, M., eds.). J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, S. 259-271.

# Zum Gesundheitszustand der Eichen im norddeutschen Raum im Hinblick auf „Eichensterben“ und Immissionsbelastung

Günter Hartmann

Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Abt. B - Waldschutz  
D-37079 Göttingen

**Keywords:** oak decline, winter frost damages, water stress, nutrient contents, *Agrilus biguttatus*

## Summary

Title of the paper: On the health status of oaks growing in northern Germany in view of oak decline and pollution load.

Progressing dying of older oak trees in northern Germany since the beginning of the 1980s, with a peak in 1985 - 87, was the reason for investigations on the causes of this decline. Symptoms and results of tree ring analysis of about 600 mature oaks as well as investigations on the water regime and nutrient budget indicate that decline of pedunculate and sessile oak was mainly triggered by repeated defoliation by oak leaf roller and related species in combination with extremely deep late winter frost during the coldest winters since more than 20 years in 1984/85 - 1986/87. In stands of pedunculate oak on sites with intermittent moisture water stress proved to be an additional stressor. Measurements of frost hardness during winter and spring in the bark of mature stems indicate that insect defoliation as well as unbalanced nutrition, expressed by raised N/Mg-, N/P- and N/K-ratios, may have contributed to an increased sensitivity of oaks to winter frost damage.

Oaks predisposed by these factors are mostly killed within 1 - 2 years by secondary borer attack (*Agrilus biguttatus*). Additional colonization of roots by *Armillaria* ssp. mostly occurs following advanced borer damage of the above ground parts of trees. For checking these secondary damages hygienic measures against borer attack are recommended.

**Schlagwörter:** Eichensterben, Winterfrostschäden, Wasserstreß, Nährstoffgehalte, Zweipunkt-Eichenprachtkäfer, *Agrilus biguttatus*

## Zusammenfassung

Vermehrtes Absterben älterer Eichen in Norddeutschland seit Beginn der 80er Jahre, mit Höhepunkt 1985-87, war Anlaß für eine Untersuchung der Ursachen. Symptomatik und jahringanalytische Befunde an rund 600 Alteichen sowie Untersuchungen zum Wasser- und Nährstoffhaushalt sprechen dafür, daß die Schäden an Stiel- und Traubeneichen wesentlich ausgelöst wurden durch das Zusammenwirken von wiederholtem Kahlfraß durch die Eichenwickler-Schadgesellschaft mit den seit über 20 Jahren tiefsten Spätwinterfrösten, an Stieleichen auf wechselfeuchten Standorten verstärkt durch Wasserstreß in Trockenjahren. Frosthärte-Bestimmungen in der Stammrinde sprechen dafür, daß Laubverluste durch Kahlfraß ebenso wie die festgestellte unausgewogene Ernährung der Eichen mit erhöhten N/Mg-, N/P- und N/K-Verhältnissen zu erhöhter Frostempfindlichkeit der Eichen beigetragen haben können.

Die so prädisponierten Eichen werden meist durch sekundären Befall durch den Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) innerhalb von 1-2 Jahren abgetötet. Die oft beteiligte Besiedlung der Wurzeln durch Hallimasch-Arten erfolgt meist erst nach fortgeschrittener Schädigung der oberirdischen Teile durch Prachtkäfer. Zur Eindämmung der Sekundärschäden werden Hygienemaßnahmen gegen den Prachtkäferbefall empfohlen.

## 1. Einleitung

Das gegenwärtige vermehrte Absterben älterer Eichen in Norddeutschland (ca. 3-5 Bäume/Jahr und ha) hat etwa 1983 begonnen, erreichte 1987-89 einen Höhepunkt und hat sich seither regional unterschiedlich weiterentwickelt. Einem Rückgang in Teilen Nordwestdeutschlands stehen weiter anhaltende Schäden in anderen, vorwiegend nordostdeutschen Gebieten gegenüber. Derartige *Eichensterben-Episoden* sind in Europa im Lauf dieses Jahrhunderts und auch früher wiederholt belegt, also *nicht neu*. Sie dauerten in ihren Nachwirkungen bis zu 15 Jahre und wurden auf extreme Winterfröste oder Trockenheit in Verbindung mit Kahlfraß durch blattfressende Insekten und Eichenmehltau-Infektion als primäre Schwächung zurückgeführt, gefolgt von sekundärer, tödlicher Schädigung durch Hallimasch und Prachtkäfer. Dieselben Faktoren werden auch heute europaweit als Ursachen diskutiert, einschließlich ihrer möglichen Verstärkung durch Immissionen. Die ebenfalls diskutierte Hypothese einer Tracheomykose, d.h. einer Pilzinfektion der Leitungsbahnen nach Art des Ulmensterbens durch *Ophiostoma*- oder *Ceratocystis*-Arten („Eichenwelke“) wurde von mehreren Autoren geprüft und konnte in keinem Fall bestätigt werden; sie dürfte damit als Ursache für Mitteleuropa auszuschließen sein.

Ergebnisse einer Ursachenanalyse des derzeitigen „Eichensterbens“ in Norddeutschland werden zusammengefaßt und mit entsprechende Ergebnissen aus anderen mitteleuropäischen Schadensgebieten verglichen.

## 2. Spätwinterfrost

Jahrringanalysen an rund sechshundert 80 - 220jährigen Stiel- und Traubeneichen in verschiedenen Teilen des norddeutschen Flachlandes zwischen Niederrhein und Oder zeigen gleichzeitige Zuwachseinbrüche geschädigter Eichen im gesamten beprobten Gebiet in den Jahren 1985 - 87. Dies spricht für einen überregional synchronisierenden Einfluß auf das Schadgeschehen, der als primärer Auslöser wirkt. Als solcher kommt eine Schädigung durch die seit 20 Jahren tiefsten *Spätwinterfröste in den Wintern 1984/85-1986/87* in Frage. Für eine Frostschädigung spricht auch das Vorkommen streifenförmiger Rindennekrosen aus den genannten Jahren an ca. 20% der geschädigten Bäume so-

wie der experimentelle Nachweis erhöhter Frostempfindlichkeit der vorwiegend geschädigten Südseiten der Stämme. Für eine Verstärkung der Frostschäden durch immissionsbedingte, übermäßige Stickstoffernährung spricht der vorläufige Befund, daß Eichen mit besonders hohen N-Gehalten tendenziell eine geringere Frosthärte der Stammrinde aufwiesen als Eichen mit niedrigeren N-Gehalten. Gegen eine alleinige Auslösung des Eichensterbens durch Frost spricht allerdings die Tatsache, daß nicht alle strengen Winter der Vergangenheit derartige Schäden zur Folge hatten.

### 3. Kahlfraß

In den Jahren der strengen Winter trat allerdings gleichzeitig oder unmittelbar vorher auch *wiederholter Kahlfraß* in den geschädigten Beständen auf, was auch für frühere scharfe Zuwachseinbrüche derselben Probestämme anhand alter Forstschädlingmeldungen nachgewiesen werden konnte. Es wird daher angenommen, daß das *Zusammenwirken von wiederholtem Kahlfraß mit einem weiteren Belastungsfaktor*, im vorliegenden Fall Winterfrost, Eichensterben primär auslösen kann. Dafür spricht auch der vorläufige experimentelle Befund, daß befallene Eichen eine tendenziell geringere Frosthärte der Rinde aufweisen als nicht befallene. Die große Bedeutung von Laubverlust durch Kahlfraß als schwächender Faktor zeigt auch das Ergebnis eines Entlaubungsexperiments, bei dem vitale 25jährige Eichen nach einmaliger, künstlicher Entlaubung Anfang Juni im Folgejahr durch Prachtkäfer befallen waren und zum Teil abgestorben sind.

### 4. Trockenheit

Auch *Trockenheit* hat in der Vergangenheit alleine oder in Verbindung mit Kahlfraß wiederholt zum Absterben vor allem von Stieleichen beigetragen. Für das gegenwärtige Eichensterben in Norddeutschland kommt Trockenstreß zwar nicht als überregional auslösender Faktor in Frage. Allerdings ließen sich für Stieleichen kleinräumige Unterschiede in der Stärke der Erkrankung auf kleinstandörtliche Unterschiede im Grad der Wechselfeuchte zurückführen. Die Ergebnisse von Wasserpotentialmessungen an Stieleichen auf stark wechselfeuchten Standorten sprechen dort für eine Beteiligung von Wasserstreß am Ursachenkomplex; dies gilt jedoch nicht für Traubeneichen.



Frühere Trockenjahre haben an den untersuchten Eichen alleine keine starken Zuwachseinbrüche bewirkt, wohl aber in Verbindung mit gleichzeitigem Kahlfraß.

## 5. Immissionseinflüsse

*Immissionseinflüsse* wurden u.a. durch Blattanalysen, Analyse von Bodenlösungen, Bodenfestphasen und Wurzeln geprüft. Als Wirkung saurer Depositionen muß wohl die großräumig festgestellte schwache bis mangelhafte Versorgung mit Mg, zum Teil auch mit P und K gelten.

Gleichzeitig hohe Stickstoffeinträge haben zu unausgewogener Ernährung mit erhöhten N/Mg-, N/P-, und N/K-Verhältnissen geführt. Dies kann zu erhöhter Frostempfindlichkeit der Eichen beigetragen haben (vgl. Abschnitt: Winterfrost). Deutliche Feinwurzelschäden konnten mit der verwendeten Methode erst in fortgeschrittenen Erkrankungsstadien, also als späte Folgeerscheinung nachgewiesen werden. Frühzeitige Mykorrhiza- und Feinwurzelschäden durch Immissionseinflüsse oder parasitische Pilze als „primäre“ Schadensursachen sind damit zwar weniger wahrscheinlich, bedürfen aber weiterer Nachprüfung.

## 6. Sekundäre Schadfaktoren

Die bisher diskutierten Belastungsfaktoren wirken primär und führen zu einer vorübergehenden Schwächung, von der sich die Eichen nach dem Abklingen der Belastung erholen können. Dies war nach den jahringanalytischen Befunden in der Vergangenheit wiederholt der Fall und läßt sich auch für die überwiegende Mehrzahl der heute betroffenen Eichen erkennen. Das als „Eichensterben“ beobachtete Absterben einer begrenzten Zahl von Eichen ist die Folge des Befalls der geschwächten bzw. noch nicht voll erholten Bäume durch *sekundäre Schadfaktoren*. Diese sind allein ausschlaggebend für die Höhe der Absterberate. Als wichtigster Sekundärschädiger wurde durch eingehende Symptomanalyse an mehreren hundert Eichen der Zweipunkt-Eichenprachtkäfer (*Agrilus biguttatus*) festgestellt, der als wärmeliebende Art in den zurückliegenden warmen Sommern ein hohes Populationsniveau erreicht hat und geschwächte Eichen abtötet. Daneben treten Wurzelfäulen durch Hallimasch-Infektion meist erst spät im Schädigungsprozeß als

Folge weitgehender Schädigung durch Prachtkäferbefall auf. Der häufig an absterbenden Eichen zu beobachtende Hallimasch dürfte überwiegend der wenig pathogenen Art *Armillaria gallica* (syn. *A. bulbosa*) angehören.

## 7. Folgerungen

Als *Konsequenz* für die forstliche Praxis ergibt sich daraus im Wirtschaftswald die Notwendigkeit von Hygienemaßnahmen gegen den Prachtkäferbefall, d.h. die rechtzeitige Entnahme befallener Bäume in einem bestimmten Befallsstadium. Dadurch soll verhindert werden, daß in Erholung befindliche Eichenbestände durch weitere Ausbreitung des Prachtkäferbefalls übermäßig verlichtet oder aufgelöst werden. Durch sorgfältige Auswahl nur der unter diesem Gesichtspunkt zu entnehmenden Bäume kann der Hygienezweck erreicht werden und gleichzeitig ein Teil der schon länger abgestorbenen, für die Ausbreitung des Käfers nicht mehr relevanten Bäume aus ökologischen Gründen als „Totholz“ in den Beständen belassen werden.

## 8. Literatur

BÜTTNER, G. und THOMAS, F.M. (1992): Der Ernährungszustand von Eichen in Norddeutschland. *Forst und Holz*, 47. Jg., S. 464-470.

HARTMANN, G. und BLANK, R. (1992): Winterfrost, Kahlfraß und Prachtkäferbefall als Faktoren im Ursachenkomplex des Eichensterbens in Norddeutschland. *Forst und Holz*, 47. Jg., S. 443-452.

THOMAS, F.M. and BLANK, R.: The effect of excess nitrogen and of insect defoliation on forest hardiness of bark tissue of adult oaks. International Symposium on Environmental constraints and Oaks, Nancy, 1994, im Druck.

THOMAS, F.M.; BLANK, R. and HARTMANN, G.: Drought, winter frost and insect defoliation as predisposing factors of the present oak decline in northern Germany. „Botanikertagung 94“, Bayreuth, Nancy, 1994, im Druck.

THOMAS, F.M. and HARTMANN, G.: Site and plant water relations in oak stands of northern Germany differing in the degree of decline. International Symposium on Environmental Constraints and Oaks, Nancy, 1994, im Druck.

# Erhaltungsmaßnahmen für Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) in der Bundesrepublik Deutschland - eine Übersicht -

Uwe Tabel

Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung  
D-67705 Trippstadt

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, natural range, endangering, genetic resources, research need, conservation measures

## Summary

Title of the paper: Conservation measures for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) in the Federal Republic of Germany - a survey -.

The distribution range of both pedunculate and sessile oak includes also the total territory of the Federal Republic of Germany. Naturally pedunculate oak grows on soils which are influenced by ground water and that are better supplied with nutrients while sessile oak can rather be found in colline areas and on soils of lower nutrient and water availability. A strong need for research in view of an unequivocal discrimination of oak is still given. So far in administration statistics which deal with the occurrence of tree species, timber production or reports on forest damages, exclusively the term „oak“ is always to be read.

In a variety of forest biotic communities oak serves important functions. According to the forest damage statistics oak presently ranks at the top of those forested areas which are proportionately damaged evidently to severely. From this fact a very high urgency for the conservation of the genetic resources of pedunculate and sessile oak results.

For the deciding what kind of conservation measures and to what extent these activities have to be performed supporting tools are required. Research is still necessary, in particular with respect to genetic checking methods as well as to the techniques required for conservation.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Verbreitungsareal, Gefährdung, genetische Ressourcen, Forschungsbedarf, Erhaltungstechniken

## **Zusammenfassung**

Das Verbreitungsareal der Stiel- und Traubeneiche schließt die Bundesrepublik Deutschland insgesamt mit ein. Die natürlichen Vorkommen der Stieleiche sind auf grundwasserbeeinflussten und besser nährstoffversorgten Böden zu finden, diejenigen der Traubeneiche mehr im kollinen Bereich und auf Böden geringerer Nährstoff- und Wasserversorgung. Für eine klare Unterscheidung bei der Eiche besteht noch Forschungsbedarf. In Verwaltungsstatistiken zu Baumartenvorkommen, Holzanfällen oder Schadensberichten erscheint bislang stets allein die „Eiche“.

In verschiedenen Waldlebensgemeinschaften kommen der Eiche wichtige Funktionen zu. Nach der Waldschadensstatistik liegt die Eiche im Vergleich der vier Hauptbaumartgruppen gegenwärtig mit 45% an der Spitze der deutlich bis stark geschädigten Flächenanteile. Daraus ergibt sich eine sehr hohe Dringlichkeit der Erhaltung genetischer Ressourcen von Stiel- und Traubeneiche.

Für die Art und den Umfang von Erhaltungsmaßnahmen bedarf es Entscheidungshilfen. Dazu besteht noch Forschungsbedarf, insbesondere hinsichtlich genetischer Untersuchungsmethoden und Erhaltungstechniken.

## **1. Natürliche Vorkommen der Eichen**

Die natürliche Verbreitung der Eichen erstreckt sich für die Stieleiche in der Ost-West-Ausdehnung über ca. 5.000 Kilometer und über die Nord-Süd-Ausdehnung über ca. 3.000 Kilometer, die der Traubeneiche über jeweils rund 2.500 Kilometer (allein in der südlichen Ost-West-Ausdehnung erreicht sie auch 5.000 Kilometer). Die Stieleiche nimmt demnach gegenüber der Traubeneiche ein weit größeres Verbreitungsareal ein (siehe Abb. 1).

Die Bundesrepublik Deutschland liegt inmitten jenes Bereiches, wo sich die natürlichen Verbreitungsgebiete beider Eichen überlappen. Angesichts dieser zentralen Lage wird davon ausgegangen, daß die genetische Variation sehr groß ist; die außerordentlich grobe morphologische Variation mag dafür ein Indiz sein. Die morphologische Variation mit ihren zahlreichen Übergängen erschwert die Zuordnung und ist schließlich auch der Grund für die umfassenden Aktivitäten zur Artenidentifizierung der Trauben- bzw. Stieleiche.

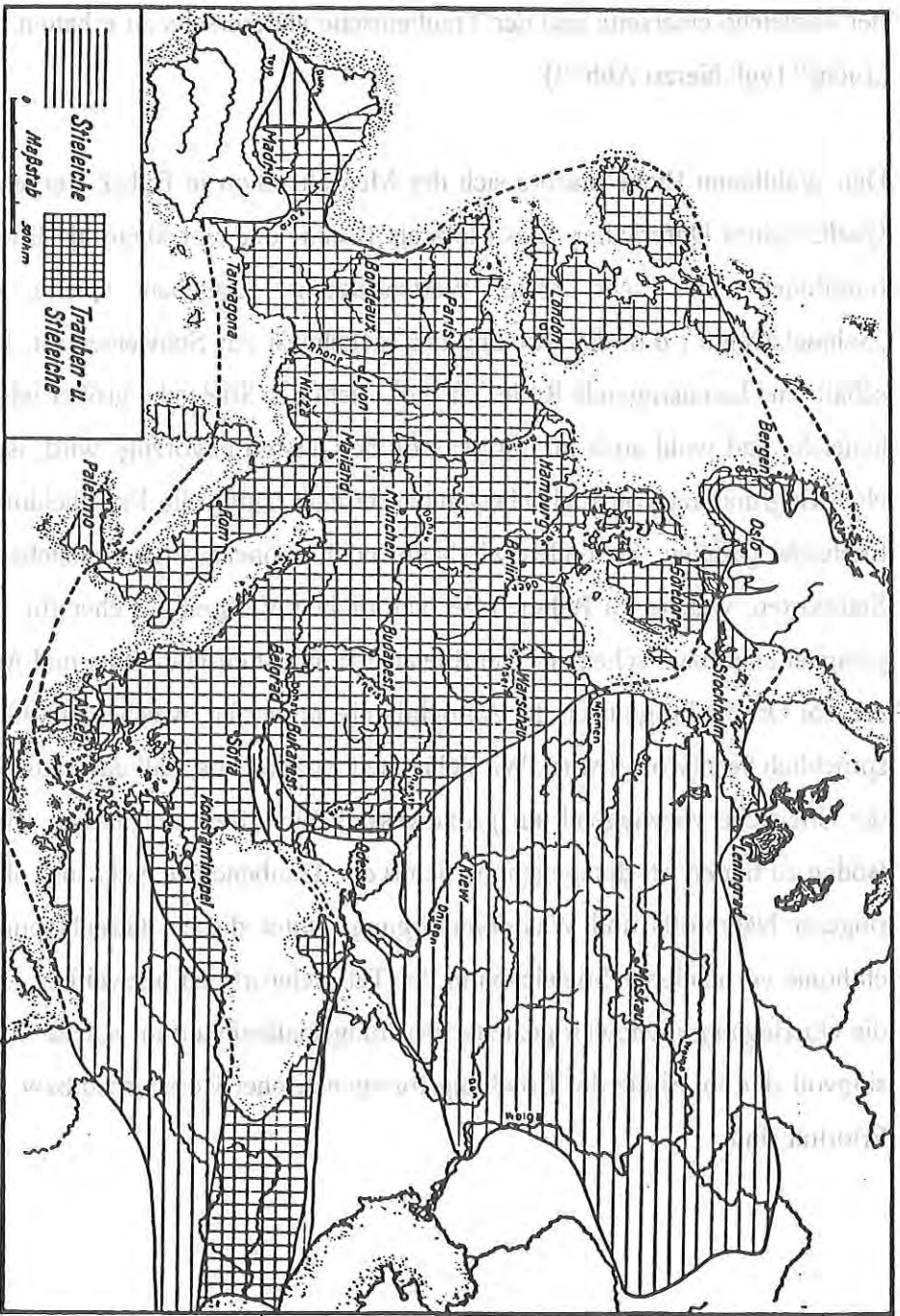


Abb. 1: Die natürliche Verbreitung der Stieleiche (*Quercus robur* L.) und der Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) nach KRAHL-URBAN (1959).

The natural distribution of pedunculata oak (*Quercus robur* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) according to KRAHL-URBAN (1959).

In der bestehenden Unsicherheit liegt die Ursache dafür, daß unsere Verwaltungsstatistiken bislang nicht oder nur regional zwischen Stiel- und Traubeneiche unterscheiden. So ist es auch nicht möglich, etwa über das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (*BML*) für die Bundesrepublik Deutschland Angaben über die Anteile der Stieleiche einerseits und der Traubeneiche andererseits zu erhalten. Es heißt schlicht „Eiche“ (vgl. hierzu Abb. 2).

Den Waldbaum Eiche machte sich der Mensch schon in früher Vergangenheit zu einer Quelle seines Unterhaltes. Das Holz als Brenn- und vor allem als Baumaterial genießt traditionell eine sehr hohe Wertschätzung. Daneben spielte die sogenannte „Schmalzweide“, d.h. die Nutzung der Eichelmast zur Schweinemast, für die Landwirtschaft eine herausragende Rolle. Da die Frucht der Stieleiche größer ist als die der Traubeneiche und wohl auch im übrigen von den Tieren bevorzugt wird, ist bei der künstlichen Begründung von Eichenbeständen deshalb häufig die Entscheidung zugunsten der Stieleiche gefallen. So finden wir heute noch nennenswerte Stieleichenvorkommen auf Standorten, welche im Rahmen der natürlichen Verbreitung eher für die Traubeneiche geeignet sind bzw. scheinen. Die Stieleichen aus alten Hutungen und Mittelwäldern lassen vor Ort die Frage nach der Autochthonie aufwerfen, welche dann häufig recht widersprüchlich beantwortet wird. Wir gehen heute davon aus, daß das natürliche Vorkommen der Stieleiche vorwiegend auf grundwasserbeeinflussten und besser nährstoffversorgten Böden zu finden ist, demgegenüber jenes der Traubeneiche mehr im kollinen Bereich geringerer Nährstoff- und Wasserversorgung. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Autochthonie vorhandener Stieleichen in der Tat vielerorts zu bezweifeln. Daraus ergibt sich die Überlegung, inwieweit gezielte Erhaltungsmaßnahmen für solche Stieleichenbestände sinnvoll sind im Sinne der Erhaltung forstgenetischer Ressourcen bzw. ob sie von hoher Priorität sind.

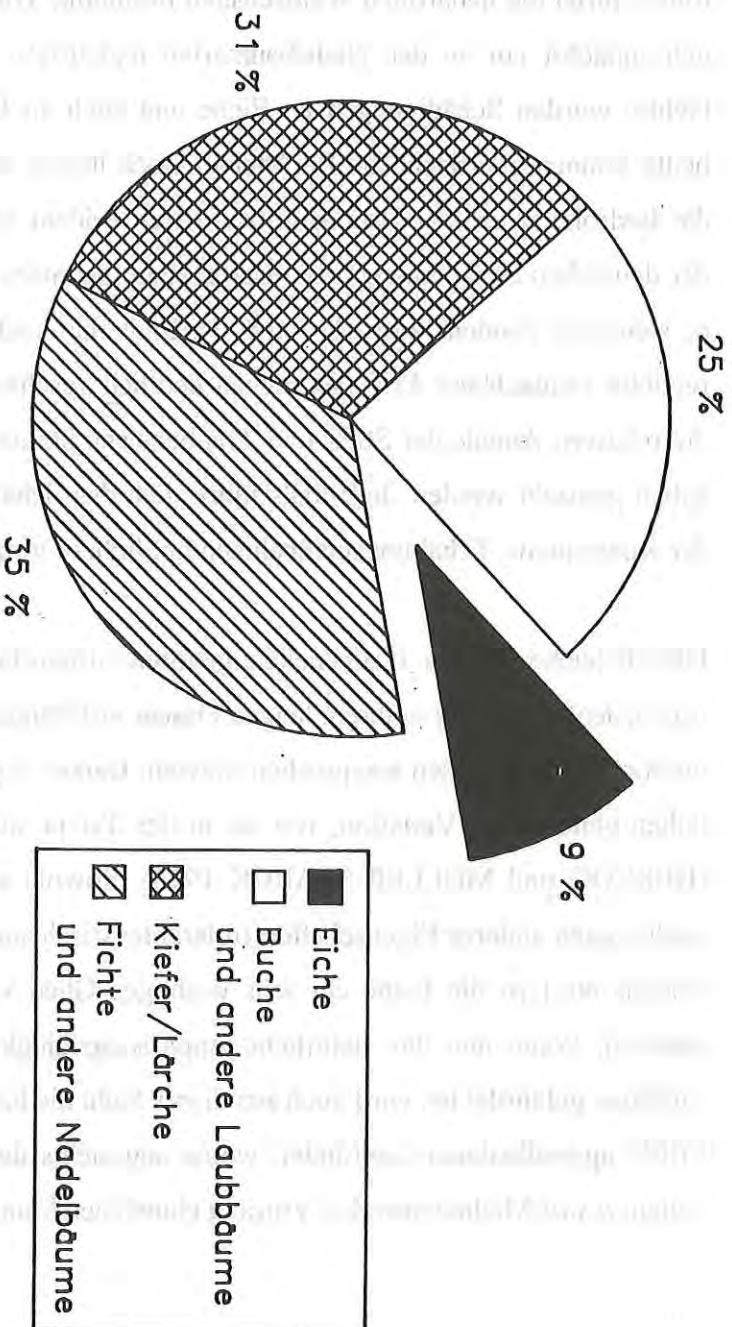


Abb. 2: Verteilung der Baumartengruppen in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: Mai 1994). Mitteilung des *BML*, Ref. 614, nach Zugrundelegung der Bundeswaldinventur (alte Bundesländer) und Mitteilungen der Landesforstverwaltungen der neuen Bundesländer (Stand: Mai 1994).

Proportions of the forest tree species groups in the Federal Republic of Germany (relevant date: May 1994). Information of the *BML*, Ref. 614, on the base of the federal forest inventory (former federal states) and communications of the state forest administrations of the new federal states (relevant date: May 1994).

## 2. Schädigung der Eichen

Die Gefährdung der genetischen Ressourcen der Stiel- und Traubeneiche wird in hohem Maße durch die neuartigen Waldschäden bestimmt. Während man deutliche Schädigungen zunächst nur an den Nadelbaumarten registrierte, so insbesondere an Tanne und Fichte, wurden Schädigungen an Eiche und auch an Buche erst später erkannt. Auch heute können oberflächliche Beobachter noch immer nicht recht begreifen, daß gerade die Bedrohung unserer Laubhauptbaumarten evident ist. Ein Blick in die Entwicklung der deutlichen Schädigungen an unseren Hauptbaumarten zeigt, daß gerade die Eiche eine steigende Tendenz aufweist (Abb. 3). Immerhin sind zwischenzeitlich in der Bundesrepublik Deutschland 45% der Eichen deutlich geschädigt (Schadstufen 2 bis 4). Über die relativen Anteile der Stiel- und Traubeneiche können allerdings wiederum keine Angaben gemacht werden. Jedenfalls führt auch das Schädigungsausmaß bei der Eiche zu der Konsequenz, Erhaltungsmaßnahmen mit hoher Dringlichkeit zu verfolgen.

Die Stieleiche wie die Traubeneiche gehören zu den besonders langlebigen Baumarten. Das bedeutet, daß sie in ihrem langen Dasein vielfältigen Anpassungsanforderungen ausgesetzt sind und diesen entsprechen müssen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer hohen genetischen Variation, wie sie in der Tat ja auch bei der Eiche gefunden wird (HERZOG und MÜLLER-STARCK 1993). Sowohl aufgrund ihrer Langlebigkeit wie auch wegen anderer Eigenschaften (tolerante Mischbaumart, intensive Erschließung des Bodens etc.) ist die Eiche ein sehr wichtiges Glied verschiedener Waldlebensgemeinschaften. Wenn nun ihre natürliche Anpassungsfähigkeit durch massive anthropogene Einflüsse gefährdet ist, wird auch aus dieser Sicht die hohe Prioritätsstufe für notwendige Erhaltungsmaßnahmen begründet, wobei angesichts der gegebenen Erhaltungsmöglichkeiten *in situ*-Maßnahmen den Vorrang einnehmen können und müssen.



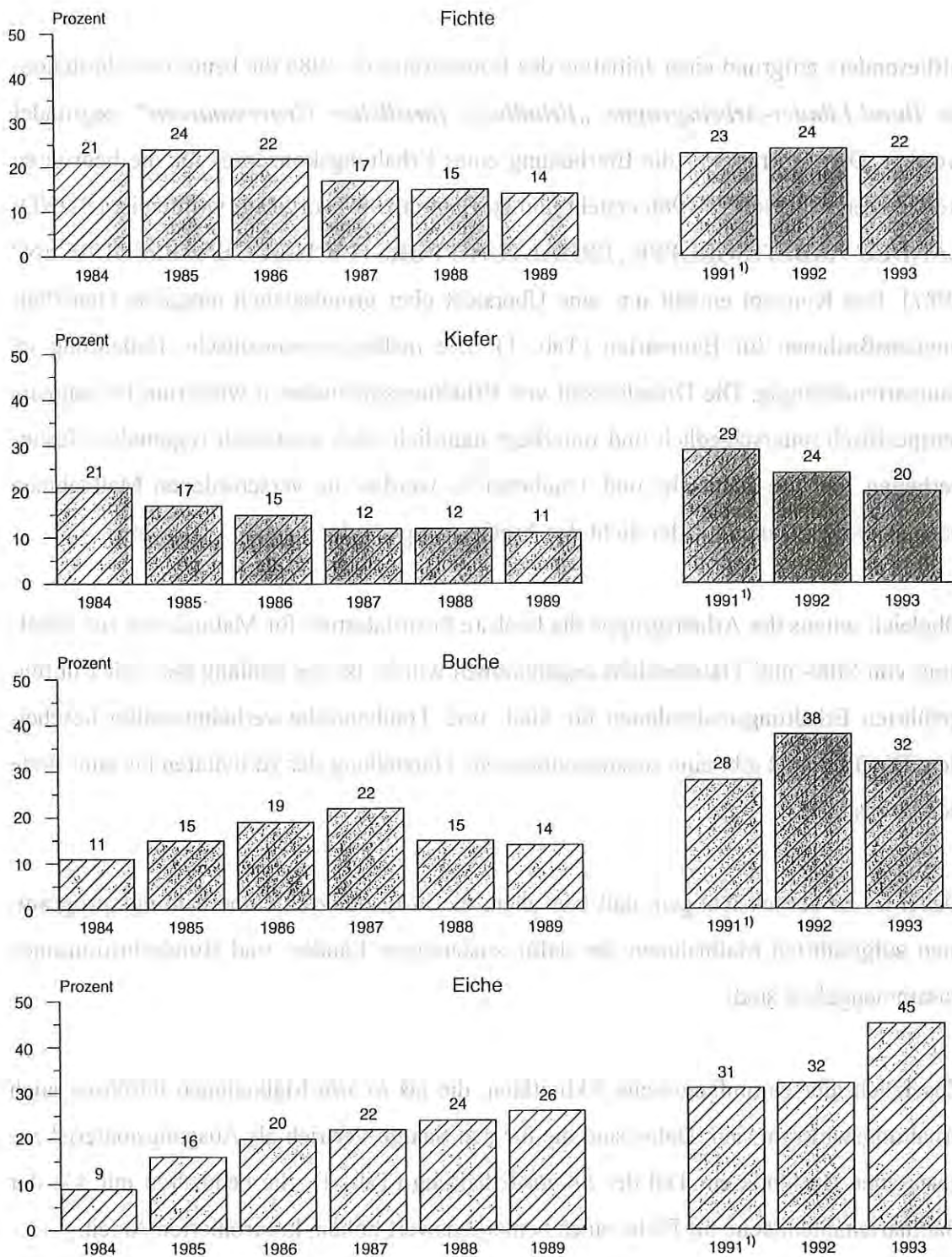


Abb. 3: Entwicklung der deutlichen Schäden (Stufen 2-4) 1984 - 1993 nach Baumarten  
<sup>1)</sup> (Beginn einer neuen Zeitreihe für das seit dem 3.10.1990 erweiterten Bundesgebiet. Von 1984 bis 1989 früheres Bundesgebiet).

Development of evident damages (levels 2-4) observed for tree species during 1984 - 1993

<sup>1)</sup> (Beginning of a new time series for the federal territory extended since 3.10.1990. From 1984 to 1989 former federal territory).

### 3. Erhaltungsmaßnahmen für Eichen

Insbesondere aufgrund einer Initiative des Bundesrates ist 1985 die heute noch bestehende *Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Erhaltung forstlicher Genressourcen“* gegründet worden. Der Auftrag war die Erarbeitung eines Erhaltungskonzeptes für die bedrohten Ressourcen, welches bis 1986 erstellt und zu Beginn 1987 vorgelegt worden ist (BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „ERHALTUNG FORSTLICHER GENRESSOURCEN“ 1987). Das Konzept enthält u.a. eine Übersicht über grundsätzlich mögliche Generhaltungsmaßnahmen für Baumarten (Tab. 1). Die maßnahmenspezifische Bedeutung ist baumartenabhängig. Die Dringlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen wiederum ist baumartenspezifisch unterschiedlich und unterliegt natürlich auch zusätzlich regionalen Besonderheiten. Für die Stieleiche und Traubeneiche werden die verschiedenen Maßnahmen nach ihrer Bedeutung aus der Sicht der Arbeitsgruppe in der Tabelle 1 dargestellt.

Obgleich seitens der Arbeitsgruppe die höchste Prioritätsstufe für Maßnahmen zur Erhaltung von Stiel- und Traubeneiche angenommen wurde, ist der Umfang der bisher durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen für Stiel- und Traubeneiche verhältnismäßig bescheiden. Die Tabelle 2 gibt eine zusammenfassende Darstellung der Aktivitäten bis zum Ende des Jahres 1993.

Dabei ist zu berücksichtigen, daß hier allein die in dezidierten Generhaltungsprogrammen aufgeführten Maßnahmen der dafür zuständigen Länder- und Bundesinstitutionen zusammengefaßt sind.

Zusätzlich gibt es umfangreiche Aktivitäten, die als *in situ*-Maßnahmen durchaus auch erhaltungswirksam sind. Dabei sind die für den Saatgutvertrieb als Ausgangsmaterial zugelassenen Bestände ein Teil der *in situ*-Erhaltung (Tab. 3). Sie beinhalten mit 4% der Baumartenanteilfläche für Eiche einen bemerkenswert hohen, kontrollierten Anteil.

Zu berücksichtigen sind auch die vielzähligen *in situ*-erhaltungswirksamen Maßnahmen aus den normalen waldbaulichen Aktivitäten. Die besonders hohen Umtriebszeiten der Eiche bieten schon ein Polster für langzeitige Bestandenserhaltungen. Desgleichen sind konsequent durchgeführte Naturverjüngungen ein Teil der *in situ*-Erhaltung.

Tab. 1: Übersicht über grundsätzlich mögliche Generhaltungsmaßnahmen für Baumarten; hier: **Stieleiche und Traubeneiche**.

A survey on generally feasible gene conservation measures for tree species;  
here: **pedunculate oak and sessile oak**.

<u>Prioritätsstufe</u> <sup>a)</sup>		<b>1</b>
<b><u>in situ-Maßnahmen</u></b>		
Erhaltung von Beständen		++
Naturverjüngung		++
Saat/Pflanzung <i>in situ</i>		++
<b><u>ex situ-Maßnahmen</u></b>		
Saat/Pflanzung <i>ex situ</i>		++
Sämlings-Samenplantagen		++
Klonsamenplantagen		+ I
Klonsammlung		+ FI
langfristige Lagerung von Saatgut		- F
langfristige Lagerung von Pollen		- F
langfristige Lagerung von Pflanzen und Pflanzenteilen		? F
Erhaltung durch makrovegetative Vermehrung		+ F
Erhaltung durch mikrovegetative Vermehrung		- F
<b>Legende:</b>		
a)	Prioritätsstufe 1:	<b>vordringlich</b>
	Prioritätsstufe 2:	<b>dringend</b>
	Prioritätsstufe 3:	<b>notwendig</b>
	Prioritätsstufe 4:	<b>wünschenswert</b>
++ =	Anwendung in erheblichem Umfang möglich und sinnvoll	
+ =	Anwendung in geringem Umfang möglich, technische Entwicklung weitgehend abgeschlossen	
- =	Maßnahme bisher nicht anwendbar	
? =	keine Erfahrungen in der Bundesrepublik Deutschland	
F =	Forschungsbedarf für Methoden und Techniken	
I =	Realisierungsmöglichkeiten im Ausland durch internationale Zusammenarbeit sinnvoll	

Tab. 2: Übersicht über Erhaltungsmaßnahmen für Stieleiche und Traubeneiche in der Bundesrepublik Deutschland bis Ende 1993 (aus dem Sachbestandsbericht der *Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Erhaltung forstlicher Genressourcen“* 1994).

A survey on conservation measures for pedunculate oak and sessile oak in the Federal Republic of Germany by the end of 1993 (compiled from the state-of-the-art report as published by the *Bund-Länder-Arbeitsgruppe „Erhaltung forstlicher Genressourcen“*).

Maßnahmen	Stieleiche	Traubeneiche
<i>in situ</i>		
- Bestände: Anzahl / Fläche (ha)	11 / 26,4	22 / 227,3
- Einzelbäume: Anzahl	40	1
<i>ex situ</i>		
- Bestände: Anzahl / Fläche (ha)	47 / 71,0	91 / 92,2
- Samenplantagen u. Klonarchive: Anzahl / Fläche (ha)	10 / 18,8	6 / 8,4
- Saatguternte Bestände: Anzahl / Menge (kg)	249 / 3.954	220 / 2.967
- Saatguternte Einzelbäume: Anzahl / Menge (kg)	687 / 2.903	212 / 589
- Saatgutlagerung Bestände: Anzahl / Menge (kg)	17 / 191	-
- Saatgutlagerung Einzelbäume: Anzahl / Menge (kg)	-	-
- Pollenernte: Anzahl / Menge (cm <sup>3</sup> )	14 / 415,6	14 / 451,1
- Pollenlagerung: Anzahl / Menge (cm <sup>3</sup> )	51 / 502,1	50 / 585,2
<b>Vermehrung und Forschung</b>		
- Pfropfungen: Klone / Anzahl	541 / 7.855	103 / 559
- Stecklinge: Anzahl	116.360	
- <i>in vitro</i> -Pflanzen: Klone / Anzahl	229 / 8.826	19 / 834
- Bestandesaussaaten: Anzahl / Menge (kg)	26 / 1.650	5 / 663
- Einzelbaumaussaaten: Anzahl / Menge (kg)	565 / 1.225	100 / 150
biochemisch-genetische Untersuchungen:		
- Bestände: Anzahl	5	6
- Einzelbäume: Anzahl	450	426

Allerdings muß eingeräumt werden, daß solche Maßnahmen der forstlichen Praxis in der Regel nicht im Sinne der Generhaltung kontrolliert werden.

Schließlich soll noch auf jene Bestände hingewiesen werden, die aufgrund anderer übergeordneter Schutzziele (Naturwaldreservate, Naturschutzgebiete u.a.m.) auch baumartenspezifisch, d.h. hier für die Stiel- und Traubeneiche, unter entsprechenden Voraussetzungen als Generhaltungsbestände dienen können.

Tab. 3: Übersicht über zugelassene Traubeneichen- und Stieleichen-Bestände [nach BML: Zusammenstellung über zugelassenes Ausgangsmaterial für forstliches Vermehrungsgut in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 01. Oktober 1993)].

A survey on certified stands of sessile oak and pedunculate oak [according to BML (Federal Ministry of Nutrition, Agriculture and Forestry): A compilation of certified source materials for forest tree propagation in the Federal Republic of Germany (relevant date: October 1, 1993)].

Vermehrungsgut	Traubeneiche		Stieleiche	
	Anzahl	Fläche (ha)	Anzahl	Fläche (ha)
Ausgewähltes Vermehrungsgut	6.640	28.182	2.009	8.789
Geprüftes Vermehrungsgut	47	252	8	43
<i>Summe</i>	6.687	28.434	2.017	8.832

## 4. Literatur

- BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN sowie BUNDESAMT FÜR ERNÄHRUNG UND FORSTWIRTSCHAFT (1994): Zusammenstellung über zugelassenes Ausgangsmaterial für forstliches Vermehrungsgut in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: 01. Oktober 1993). Frankfurt/M., 382 S.
- BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „ERHALTUNG FORSTLICHER GENRESOURCEN“ (1989): Konzept zur Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland (erarbeitet 1987). *Forst und Holz*, 44. Jg., Nr. 15, S. 379-404.
- BUND-LÄNDER-ARBEITSGRUPPE „ERHALTUNG FORSTLICHER GENRESOURCEN“ (1994): Tätigkeitsbericht „Erhaltung forstlicher Genressourcen in der Bundesrepublik Deutschland“, Berichtszeitraum 1992/93, zusammengestellt von der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abt. Forstpflanzenzüchtung, 131 S.
- HASE, W. (1994): Die Eiche in Schleswig-Holstein. *Forstarchiv*, 65. Jg., S. 56-60.
- HERZOG, S. und MÜLLER-STARCK, G. (1993): Untersuchung zur genetischen Differenzierung bei Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* Liebl.): Konsequenzen für die Erhaltung genetischer Ressourcen. *Forstarchiv*, 64. Jg., S. 88-92.
- HEYDER, J.C. (1986): Waldbau im Wandel. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 602 S.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 288 S.
- UMWELTBUNDESAMT (1994): Daten zur Umwelt 1992/93. Erich-Schmitt-Verlag, Berlin, 688 S.

# Genetische Ressourcen der Eichenarten in Rumänien: Durchführung, Aussichten und Überwachung <sup>1)</sup>

Valeriu Enescu

Forest Research and Management Institute  
Bukarest (Rumänien)

<sup>1)</sup> Die englische Originalfassung wurde von Dr. Werner Maurer, FVA Trippstadt, mit Genehmigung des Autors ins Deutsche übersetzt.

**Keywords:** *Quercus*, Romanian natural species, hybrids, variability, genetic resources, conservation measures

## Summary

Title of the original paper: Genetic resources of oak species in Romania: achievement, prospects and its monitoring.

A survey on the natural Romanian species of the genus *Quercus* (including subspecies, varieties and forms) as well as the interspecific hybrids is given. These oak species exhibit a forceful polymorphism and a wide intraspecific variability with respect to morphological and phenological traits. In particular the phenomenon of early and late flushing for sessile oak ecotypes is emphasized.

For *in situ*-conservation almost entirely only the most valuable natural oak populations are preserved in special protected areas as well as in seed stands. *Ex situ*-conservation is mainly performed in arboreta, multisite comparative cultures and seed orchards. Gene conservation in the Romanian *Quercus* species is integrated in the European forest tree conservation activities.

**Schlüsselwörter:** *Quercus*, rumänische Arten, Hybride, Vielfalt, Genressourcen, Erhaltungsmaßnahmen

## Zusammenfassung

Es wird eine Übersicht über die in Rumänien natürlich vorkommenden Arten der Gattung *Quercus* (einschließlich Unterarten, Varietäten und Formen) sowie der interspezifischen Hybride gegeben. Diese Eichenarten weisen einen starken Polymorphismus und eine breite intraspezifische Variabilität sowohl hinsichtlich morphologischer wie auch phänologischer Merkmale auf. Insbesondere wird das Phänomen der früh- und spätaustreibenden Stieleichen-Ökotypen hervorgehoben.

Bei der *in situ*-Erhaltung werden nahezu vollständig nur die wertvollsten Eichenpopulationen in besonders ausgewiesenen Schutzgebieten sowie in Saatgutbeständen erhalten. *Ex situ*-Erhaltung erfolgt schwerpunktmäßig in Arboreten, Vergleichsversuchsanbauten sowie in Samenplantagen. Die Generhaltung bei den rumänischen *Quercus*-Arten ist in die europaweiten Erhaltungsaktivitäten für Waldbäume integriert.

# 1. Arten, Verbreitungsareale und Entwicklungen

In Rumänien kommen mindestens sieben Arten der Gattung *Quercus* vor (SAVULESCU 1952). Die bestimmende Art ist die Traubeneiche (*Quercus petraea*), welche mit einer Verbreitung auf einer Fläche von 600.000 ha ein zusammenhängendes Areal auf beiden Seiten des Karpatengebirges und im Transilvanischen Tafelland besiedelt. Kleine inselartige *Quercus*-Vorkommen sind in der Dobrudscha (rumän.: Dobrogea) und in den nördlichen Teilen unseres Landes zu finden: in Maramures sowie in Suceava-Botosani (STANESCU 1979).

## 1.1 *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.

Aufgrund ihrer ausgeprägten morphologischen Variabilität ist die Traubeneiche in drei getrennte Unterarten eingeteilt (SOO 1972):

### 1.1.1 *Quercus petraea* ssp. *petraea*

mit mehreren Varietäten: var. *purpurea*, var. *pendula*, var. *platyphylla*, var. *longifolia* und var. *laciniata*.

Die Unterart hat ihr Vorkommen in den kollinen Bereichen im Nordwesten, Norden und Nordosten Rumäniens sowie in Höhenlagen zwischen 400 - 500 m in den Südkarpaten und zwischen 700 - 800 (900) m in den Westkarpaten. Inselartige Bereiche können in Höhen bis zu 1.300 m auf den Südhängen des Cozia-Gebirges gefunden werden. In Tieflagen gibt es nur kleine Inselvorkommen um Bukarest, in der Dobrudscha und im Moldau-Gebiet (rumän.: Moldova).



### 1.1.2 *Quercus petraea* ssp. *daleshampii*

mit Vorkommen in Rumänien an der nördlichen Grenze des Traubeneichen-Verbreitungsgebietes. Diese Unterart bildet häufig zusammen mit der anderen Unterart ssp. *petraea* Mischbestände mit mesoxerophytischer Neigung. Sie bedeckt die unteren und mittleren Hügel im südlichen, südöstlichen und südwestlichen Landesteil. Von dieser Unterart wurden zwei Varietäten nachgewiesen: var. *lancifolia* und var. *pinnatifida*.

### 1.1.3 *Quercus petraea* ssp. *polycarpa*

wird als die „Transilvanische Traubeneiche“ bezeichnet und hat ein deutlich geringeres Vorkommen als die anderen Traubeneichen. Sie wächst in unteren Höhen im Randbereich von Traubeneichen-Wäldern. Es gibt zwei Varietäten: var. *typica* und var. *glabra* (GRAPINI *et al.* 1972).

## 1.2 *Quercus robur* (L.)

Die zweite *Quercus*-Art von Bedeutung ist *Quercus robur* (Stieleiche), die Höhen um 50 m erreichen kann. Die Art besitzt einen ausgeprägten Polymorphismus mit vielen Formen und Varietäten. Aufgrund der Blattcharakteristika wurden nachgewiesen: var. *glabra* mit einigen Formen (*heterophylla*, *multilobata*, *acutifolia*, *parvifolia*, *vulgaris*) sowie var. *pendula* mit einigen Einzelformen (*acutiloba*, *rotundiloba*, *microphylla*). Hinsichtlich der Fruchtmerkmale gibt es die Formen *brevipes*, *extensa*, *perrobusta* und gemäß des Habitus die Formen *fastigiata* und *pendula*. Interessant ist der phänologische Unterschied im Blattaustriebsverhalten bei var. *tardiflora* und var. *praecox*. Diese Eichenart nimmt heute in Rumänien eine Fläche von nur noch 130.000 ha ein, obwohl sie in der Vergangenheit die am weitesten verbreitete *Quercus*-Art war. Die Stieleiche ist eine Art der Tiefebene und der Flußuferbereiche mit nichtzusammenhängendem Vorkommen, welches in mehr oder weniger geschlossene Inselbereiche zerstückelt ist. Die obere Verbreitungsgrenze der Stieleiche liegt bei Höhen von ungefähr 600 - 700 m.

Die ökologische Plastizität der Stieleiche kommt besonders deutlich im natürlichen Verbreitungsareal in Form der folgenden Ökotypen zum Ausdruck:

- **Flußuferbereichs-Eiche**, in Verbindung mit dem Grundwassersystem; von außergewöhnlich hoher Produktivität;
- **Terrassen-Eiche**, auf Lehmsubstraten mit mächtigen podsoligen Böden, welche häufig in den Fußbereichen der südöstlichen Südkarpaten sowie in den Vorkarpaten Olteniens vorkommen;
- **Lacoviste-Eiche** <sup>\*)</sup>, auf humusreichen hydromorphen Böden (Gley);
- **Waldsteppen-Eiche**, auf Schotterebenen, Terrassen etc.;
- **basische Salzboden-Eiche**, welche die Obergrenze der Art bezüglich ihrer Belastbarkeit an bodenlöslichen Salzkonzentrationen markiert.

### 1.3 *Quercus cerris*

Die **Zerr-Eiche**, eine Wärme und Trockenheit liebende Art, kann in Hügelbereichen sowie in Ebenen, in der Eichen-Subzone der Waldsteppe, unter warmen klimatischen Bedingungen und auf lehmigen, verdichteten, kaum durchlässigen Böden sowie auf Böden mit Feuchtigkeitsüberschuß im Frühjahr gefunden werden. Diese Art tritt im Süden und Westen des Landes auf. Im westlichen Bereich kommen zwei Formen vor: die „**Weißer Zerr-Eiche**“ mit einer Holzqualität ähnlich der von Stieleiche sowie die „**Rote Zerr-Eiche**“ mit einer geringerwertigen Holzqualität.

---

<sup>\*)</sup> Anmerkung des Übersetzers: „Lacoviste“ ist eine seenreiche Region in der Nähe von Bukarest.

#### 1.4 *Quercus frainetto*

*Quercus frainetto*, die „Ungarische Eiche“, hat ein eingeschränktes Verbreitungsareal und tritt zusammen mit der Zerr-Eiche auf. Ihr Hauptvorkommen ist im Süden des Landes in der Waldsteppe der Walachei und von Oltenien bis hin zu den vorkarpatischen Hügelbereichen. Sie wächst auf sehr verdichteten lehmigen Böden mit Feuchtigkeitsüberschuß.

#### 1.5 *Quercus pedunculiflora*

*Quercus pedunculiflora* ist in der Waldsteppe Olteniens, der Walachei und der Dobrudscha anzutreffen und fehlt völlig in Transsilvanien (Siebenbürgen) und im Banat; im Moldau-Gebiet kann sie ebenfalls in Form kleiner Inselvorkommen aufgefunden werden. Bei *Quercus pedunculiflora* gibt es zwei Varietäten: var. *articholades* und var. *virescens*. Sie besitzt eine höhere Widerstandskraft gegenüber Boden- und Lufttrockenheit als *Quercus robur*, insbesondere var. *articholades* mit ihren betont xerophytischen Eigenschaften.

#### 1.6 *Quercus pubescens*

Die Flaumeiche ist mit einer Höhe von etwa 15 m kleiner als alle anderen Eichen. Sie ist ein südosteuropäisch-mediterranes Element mit einem Verbreitungsareal ähnlich dem der Zerr-Eiche. Sie kann auf kleinen Bestandesflächen in der Waldsteppe Olteniens, des Moldau-Gebiets und der Walachei vorgefunden werden. Ebenfalls ist sie in der Dobrudscha zusammen mit der Orient-Weißbuche (*Carpinus orientalis*) sowie im Westen und Süden des Banat und in Transsilvanien anzutreffen. Sie besitzt ein hohes Widerstandspotential gegenüber Trockenheit und ist häufig zusammen mit *Quercus pedunculiflora* zu finden.

## 1.7 *Quercus virgiliana*

ist sporadisch im Übergangsbereich zur Steppe und auf sonnenbeschienenen Berghängen anzutreffen sowie in Hügellgebieten und Ebenen, oftmals begleitet von der Flaum-Eiche, in Trupps oder manchmal fast als Reinbestände vorkommend. Es gibt zwei Varietäten: var. *tenorei* mit einer Reihe von Formen (*typica*, *confusa* etc.) sowie var. *ambigua* mit den beiden Formen *stenoloba* und *pungens*.

## 1.8 Interspezifische Hybride

In Rumänien bilden die *Quercus*-Arten eine Reihe von interspezifischen Hybriden (GEORGESCU und MORARIU 1948):

- *Quercus rosacea*: *Quercus robur* x *Quercus petraea*,  
mit zwischen den Eltern liegenden Merkmalen;
- *Quercus pseudodaleshampii*: *Quercus robur* x *Quercus petraea* ssp. *Daleshampii*,  
an einigen wenigen Stellen in unserem Land vorzufinden;
- *Quercus Csatoi*: *Quercus petraea* ssp. *polycarpa* x *Quercus robur*;
- *Quercus Tabajdiana*: *Quercus frainetto* x *Quercus petraea* ssp. *polycarpa*,  
häufig in Transsilvanien anzutreffen;
- *Quercus Tufae*: *Quercus frainetto* x *Quercus petraea*,  
Vorkommen nahe der ungarischen Grenze, kann auch in Transsilvanien und im Banat angetroffen werden; es wurde eine Varietät dieses Hybrids, *Tiszae*, nachgewiesen, die gleichfalls in Transsilvanien anzutreffen ist;
- *Quercus diversifrons*: *Quercus petraea* x *Quercus virgiliana*;

- *Quercus cazanensis*: *Quercus petraea* ssp. *daleshampii* x *Quercus virgiliana*,  
kommt im Banat sowie im Donautal vor;
- *Quercus Haynaldiana*: *Quercus frainetto* x *Quercus robur*;
- *Quercus getica*: *Quercus frainetto* x *Quercus pedunculiflora*;
- *Quercus Kernerii*: *Quercus pubescens* x *Quercus robur*;
- *Quercus corcyrensis*: *Quercus pedunculiflora* x *Quercus pubescens*;
- *Quercus Szechenyana*: *Quercus frainetto* x *Quercus pubescens*;
- *Quercus budensis*: *Quercus pubescens* x *Quercus virgiliana*.

Die meisten dieser Hybride können in der Nachbarschaft von ihren Elternteilen im Waldgebiet von Bejan nahe Deva (Transsilvanien) angetroffen werden. Hier gibt es ebenfalls viele Introgressionen (ENESCU 1975).

In der Nacheiszeit traten die Eichen in Rumänien erstmals im Boreal auf. Während dieser Epoche entwickelte sich eine Höhenverteilung der Vegetation, wobei die Eichen und andere Laubholzarten die Hügel bedeckten. Im Atlantikum und Subboreal mit ihrem feuchten Klima wurde die Fichte auf den Hügeln durch Stieleichen-Wälder mit beigemischten Haselbäumen ersetzt. Das warm-feuchte atlantische Klima unterstützte die Wanderung wärmeliebender Arten aus den Refugialgebieten der nördlichen Dobrudscha, des Nord-Balkan sowie des südlichen Banat. Mit größter Wahrscheinlichkeit ist die südliche Stieleiche aus dem letzten Zentrum herausgewandert (PASCOVSCHI 1967).

Im Subboreal, etwa zu Abschluß der Wärmeperiode der nacheiszeitlichen Ära, vermischte sich die Fichte mit der Stieleiche oberhalb von 1.500 - 1.700 m Höhe. Im Fichten- und Hainbuchen-Stadium, welches in der Übergangsphase vom warm-trockenen subborealen zum kühl-feuchten subatlantischen Klima liegt, war die Eiche in den Ebenen von Rumänien vorherrschend.

Im Buchen-Stadium (Subatlantikum) war die Höhenverteilung der Wälder Rumäniens abgeschlossen, gekennzeichnet durch die Ausbreitung von Buche und Traubeneiche in die mit Stieleiche und anderen wärmeliebenden Arten bedeckten Regionen. In der Ebene behauptete sich die Eiche in Mischung mit Hainbuche, Linde und Ulme als vorherrschende Baumart (NEGULESCU *et al.* 1973).

## 2. Variabilität

Die natürlich vorkommenden Eichenarten in Rumänien besitzen einen starken Polymorphismus und eine breite intraspezifische Variabilität sowohl zwischen Populationen wie auch innerhalb von diesen (ENESCU 1975). Die europäischen Eichen sind strenggenommen keine getrennte Arten im biologischen Sinne, sondern eher „hybridological series“ (Ökotypen), wo viele Übergänge von einer Art zur anderen, insbesondere in ihren Kontaktbereichen gefunden werden können (KLEINSCHMIT 1993). Auf diese Weise vergrößerte sich die natürlich bedingte genetische Variabilität beträchtlich. Die Variabilität vermischt die klinale Variation (z.B. Vegetationsabschluß) und die ökotypische Variation (z.B. Blühtermin, Wuchs, Form). Der letztgenannte Variationstyp ist vorherrschend.

Es gibt reichlich Literatur über var. *tardiflora* und var. *praecox* mit einem Unterschied bezüglich des Vegetationsbeginns von 2 - 3 Wochen bzw. nach anderen Autoren von 5 Wochen (SCHWARZ 1946). Es hat sich experimentell bestätigt, daß das Merkmal „frühaustreibend“ bzw. „spätaustreibend“ recht stabil ist und auf Samenabkömmlinge weitergegeben wird. Aus den praktischen Erfahrungen von NESTEROV (zitiert nach PIATNITKI 1956) treten unter den var. *praecox*-Abkömmlingen Exemplare mit späterem Vegetationsbeginn auf, was auf die Möglichkeit einer Kreuzung zwischen Früh- und Späteiche schließen läßt. Die umgekehrte Kreuzung ist auf natürlichem Wege nicht möglich, sie wurde jedoch von PIATNITKI (1956) mit Erfolg durchgeführt, und aus den erhaltenen Eicheln wuchsen immer nur Bäume mit dem Frühmerkmal.

Auf Standorten mit ausreichend Feuchtigkeit sowie mit Spätfrostgefährdung besitzt die Späteiche Vorteile gegenüber der Früheiche. Auf den natürlichen Standorten der Späteiche weist diese ein zweimal größeres Höhenwachstum und ein drei- bis sechsmal größeres Dickenwachstum auf als die Früheiche.

SUHANOVA (1969) fand in Vergleichsanbauten, daß bei der Früheiche im Alter von 5 Jahren 80% der Stämme im unteren Teil gedreht sind, im Alter von 19 Jahren sind es 90% und von 47 Jahren dann 97%. Bei der Späteiche kommen - sogar im Alter von 47 Jahren - weniger als 10% der Stämme mit Drehwuchs im unteren Bereich vor. Bei der Früheiche sind nur 15 - 20% des Holzes für eine Verarbeitung geeignet, bei der Späteiche hingegen 60 - 70%.

In der Zeit, während der die Späteiche noch unbelaubt ist, wird die Früheiche stark von *Operophtera brumata* (Gemeiner Frostspanner) befallen. Die zweiten Blätter, die nach dem durch den Gemeinen Frostspanner hervorgerufenen Blattverlust austreiben, weisen häufig Befall durch *Oidium sp.* („Mehltau“) auf, wohingegen die Blätter der Späteiche lederartiger werden und somit mehltaresistenter sind.

Über den Ursprung der Spät- und Früheiche gibt es mehrere Hypothesen. SUKACEV, V.N. (zitiert in SUHANOVA 1959) betrachtet die beiden Varietäten als nacheiszeitliche geographische Unterarten, die sich später infolge Migration vermischten. PIATNITKI (1956) stimmt dieser Hypothese nicht zu und postuliert, daß die beiden Formen als Ergebnis einer über längere Zeit andauernden natürlichen Selektion zu sehen sind.

Mit den an vielen natürlich vorkommenden Populationen der Stiel- und Traubeneiche durchgeführten biosystematischen Untersuchungen wurde eine breite phänotypische Variabilität der Blätter, der Eicheln, des Stammes, der Borke und Außenrinde, der Stamm- und Kronenform etc. festgestellt. Das gleiche traf auch für Herkunfts-Vergleichsversuche zu. Hieraus seien bezüglich Eiche die Versuche von Dobrudscha (LUPE 1954) ausgesucht, wo die besten Ergebnisse mit Herkünften aus den Regionen von Mihaiesti und Margineni erzielt wurden. In der Banat-Ebene übertrafen die Herkünfte von Gaiesti, Sibiu (Hermannstadt), Cosula und Rupea die örtlichen Herkünfte hinsichtlich der Gesamthöhe (LAZARESCU *et al.* 1963). In der Baragan-Ebene zeigten die Herkünfte

von Snagov und Timisoara ein aktiveres Wachstum: die Herkünfte aus der Ebene waren höher als die aus den Flußbereichen (LAZARESCU *et al.* 1965). Die Stieleichen-Herkünfte aus Transsilvanien sind besser als die, die aus dem Süden der Karpaten stammen (LAZARESCU *et al.* 1967).

Von den neueren Erkenntnissen sollen Ergebnisse einiger der 1974 begonnenen systematischen Untersuchungen angeführt werden. Sowohl im Kamp als auch auf Vergleichsflächen wurden signifikante Unterschiede zwischen den 30 getesteten Herkünften bezüglich Wüchsigkeit, Vegetationsbeginn, Abschluß des Höhenwachstums, Länge der Vegetationsperiode sowie weiterer Merkmale festgestellt (CONTESCU *et al.* 1980). Ebenso zeigte sich, daß sich die Herkunftsklassifizierung bei verschiedenen Altersstadien ändert mit Ausnahme des Austriebsbeginns (frühaustreibend bzw. spätaustreibend), welcher selbst auf unterschiedlichen Versuchsflächen unverändert beibehalten wird (CONTESCU *et al.* 1983). Es lassen sich Herkünfte mit einer hohen Stabilität auf allen Versuchsflächen finden, die mit ihrem Wuchsverhalten und ihren Kronenformen von „gut“ bis „sehr gut“ reichen (SMANTANA 1993).

### **3. Erhaltung genetischer Ressourcen**

#### **3.1 *in situ*-Erhaltung**

Bezüglich der Arten werden nahezu vollständig nur die wertvollsten natürlichen Populationen erhalten.

Die Erhaltung der genetischen Ressourcen von *Quercus* wird auf eine der nachstehenden Weisen durchgeführt:



- **Schutzgebiete** („*protected areas*“ im Klassifizierungssystem *der IUCN - The World Conservation Union*). Kleine Populationen und häufig auch Bäume mit Inselvorkommen werden in Schutzgebieten für wissenschaftliche Zwecke („*scientific reserves*“) sowie in Naturschutzgebieten („*strict nature reserves*“) erhalten.

- **Saatgutbestände** mit zweierlei Funktion:

- (1) Erhaltung des Genpools, weswegen diese vom Holzeinschlag ausgenommen sind und einer Schutzbewirtschaftung unterliegen;
- (2) Saatgutgewinnung von bestimmten Abstammungen/Herkünften mit hohem biologischen Wert.

Der aktuelle Stand der Saatgutbestände für jede Art ist:

- *Quercus petraea* - 498 Bestände auf einer Gesamtfläche von 17.409,4 ha;
- *Quercus robur* - 117 Bestände auf einer Gesamtfläche von 5.194,5 ha;
- *Quercus cerris* - 69 Bestände auf einer Gesamtfläche von 880,9 ha;
- *Quercus frainetto* - 46 Bestände auf einer Gesamtfläche von 1.851,9 ha;
- *Quercus pedunculiflora* - 41 Bestände auf einer Gesamtfläche von 870,4 ha;
- *Quercus pubescens* - 6 Bestände auf einer Gesamtfläche von 23,7 ha.

Die **genetischen Ressourcen** umfassen ausschließlich natürlich vorkommende Populationen. Diese werden abgegrenzt und markiert sowie beschrieben und in Übereinstimmung mit der Resolution 2 der Ministerkonferenz zum Schutz der europäischen Wälder in Strassburg (1990) aktenkundig dokumentiert. Bis jetzt sind **Quercus-Genpools** in 13 Bezirken eingerichtet worden. Diese Maßnahme wird 1995 abgeschlossen sein.

### 3.2 *ex situ*-Erhaltung

- Die *Quercus*-Arten werden *ex situ* erhalten
  - in **Arboreten**, wo sie zusammen mit anderen eingeführten *Quercus*-Arten erhalten werden. In Rumänien gibt es sieben der Forstverwaltung unterstehende Arboreten, in denen *Quercus*-Arten erhalten werden sowie zehn botanische Gärten, die gewöhnlich Universitäten angeschlossen sind.
  - als **Vergleichsversuchsanbauten auf mehreren Standorten von geographischen Herkünften** der Stiel- und Traubeneichen, welche über einen breiten Zeitraum eingerichtet worden sind. Seit 1974 werden Untersuchungen gemäß der internationalen Richtlinien der *IUFRO* (Pont à Mousson 1965) an fünf Versuchsanbauten mit jeweils 33 *Quercus petraea*-Herkünften sowie an acht Versuchsanbauten mit jeweils 15 *Quercus robur*-Provenienzen durchgeführt. Es werden einheimische wie auch fremdländische Herkünfte getestet.
  - in **Halbgeschwister-Familien- und Klon-Samenplantagen** auf einer Gesamtfläche von 83,0 ha (15, 1 ha für Traubeneiche; 44,1 ha für Stieleiche; 2,5 ha für Ungarische Eiche; 11,3 ha für Roteiche und 10,0 für *Quercus pedunculiflora*). Ihrer Einrichtung ging die Auswahl von 3.600 Plusbäumen voraus. Alle Plusbäume werden nach ihrer Auswahl in den vom Holzeinschlag ausgenommenen Saatgutbeständen unverändert erhalten. Mit ihren vegetativen, durch Pfropfung gewonnenen Kopien werden die Klon-Samenplantagen mit einer Doppelfunktion begründet: (1) *ex situ*-Erhaltung der Plusbäume sowie (2) Erzeugung von Saatgut von höchstem biologischen Wert unter Bedingungen einer vollständigen Isolation gegenüber Fremdpollen.

#### **4. Die Verwaltung und Überwachung von einigen *Quercus*-Genressourcen**

Dies betrifft nur die Verwaltung und die Überwachung der *in situ*-Erhaltung von Genressourcen.

Die Schutzgebiete unterstehen der Aufsicht durch die Kommission der nationalen Denkmäler der rumänischen Akademie und genießen Gesetzesschutz.

Die Saatgutbestände, welche die genetischen Ressourcen mit der größten Fläche darstellen, unterstehen der Forstverwaltung; ihre Bewirtschaftung wird im Einklang mit speziellen Vorgaben bis zur physiologischen Lebensgrenze betrieben. Vor Erreichen des Endstadiums ist ihre Verjüngung unter Einsatz intensiver Behandlungsmaßnahmen über einen langen Verjüngungszeitraum hinweg vorgesehen.

Die Saatgutbestände werden in einem flexiblen, z.T. jährlichen Rhythmus aufgenommen sowie im Abstand von etwa 10 Jahren neu bewertet. Eventuell sind dazu ergänzende Erhaltungs- oder Verjüngungsmaßnahmen neu festzulegen. Falls als Folge von Katastrophen (z.B. Sturmwürfen) der Saatgutbestand unbrauchbar geworden sein sollte, wird dann gegebenenfalls anstelle der nicht länger geeigneten Fläche ein anderer Saatgutbestand in der gleichen Saatgutzone eingerichtet (ENESCU 1983).

Um für die Genressourcen eine Überwachung im europäischen Vergleich vorzunehmen, ist für jede genetische Ressource eine analytische Datei mit einer großen Anzahl an Informationen angelegt, welche die Referenzelemente für die nachfolgenden jährlichen bzw. im zwei- bis dreijährigen Abstand vorzunehmenden Reevaluierungen enthält.

## 5. Literatur

- CONTESCU, L., *et al.* (1980): Cercetari de provenienta la stejar pedunculat. Rezultate din textul de pepiniera, ICAS, Seria I-a vol. XIII, Bucuresti.
- CONTESCU, L., *et al.* (1983): Cercetari de provenienta la gorun, stejar si frasin si stabilirea celor mai valoroase proveniente - surse de seminte. Manuscris, ICAS, Bucuresti.
- ENESCU, V. (1975): Ameliorarea principalelor specii forestiere, Ed Ceres, Bucuresti, 315 p.
- ENESCU, V. (1983): Producerea semintelor forestiere, Ed Ceres, Bucuresti, 323 p.
- GEORGESCU, C. und SI MORARU, I. (1948): Monografia stejarilor din Romania, Bucuresti, 56 p.
- KLEINSCHMIT., J. (1993): Intraspecific variation of growth and adaptive traits in European oak species. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl 1, pp. 166s-185s.
- GRAPINI, V. *et al.* (1972): Unitati intraspecifice la gorun si raspandirea lor in raport cu conditiile stationale, ICPDS, manuscris, 61 p.
- LAZARESCU, C. *et al.* (1963): Rezultatele culturilor comparative cu proveniente de stejar pedunculat in cimpia Banatului. *Rev. Padurilor*, 78(10), pp. 568-571.
- LAZARESCU, C. *et al.* (1965): Culturi comparative pe proveniente de stejar pedunculat in cimpia Baraganului. *Rev. Padurilor*, 80(8), pp. 304-308.
- LAZARESCU, C. *et al.* (1967): Cercetari privind influenta provenientei asupra dezvoltarii culturilor de molid, pin silvestru, gorun, stejar si frasin 1961-1965, IDF, Bucuresti, 99 p.
- LUPE, I.Z. (1954): Cercetari privind cultura speciilor de *Quercus* de diferite proveniente de stejar pedunculat in stepa centrala a Dobrogei, Bul. St. al Academiei Romane, Sect. St. Biologice, vol VI, 3, pp. 803-836.
- NEGULESCU, E. *et al.* (1973): Silicultura, vol. I, Ed. Ceres, Bucuresti, 557 p.
- PASCOVSCHI, S. (1967): Succesiunea speciilor forestiere, Ed. Agrosilvica, Bucuresti, 387 p.
- PIATNITKI, S.S. (1956): Selectia stejarului (translation), Ed. Agrosilvica, 170 p.
- SAVULESCU, T. (1952): Flora Romaniei, vol. I, Ed Academiei Romane, Bucuresti, 656 p.

SMANTANA, I. (1993): Cercetari in culturi comparative de stejar pedunculat. Simpozion jubiliar ICAS, 1993, Bucuresti (under printing).

STANESCU, V. (1979): Dendrologie, Ed Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 470 p.

SUHANOVA, I.V. (1959): Cateva caracteristici ale formelor de stejar pedunculat cu infrunzire tirzie si infrunzire timpurie, Lesnoe horzistvo, nr. 1: 68-69 (Caiet Selectiv 6/1956 p. 3 - 4).

Keywords: *Vitaceae, species, hybrids, isozyme analysis, small-leaved linden, provenance, species differentiation, morphological traits*

### Summary

Title of the paper, taxonomic and morphological investigations on linden. The multiplicity of the *Vitaceae* family is mentioned in the beginning regarding species, interspecific diversity and interspecific hybrid formation. While indigenous and additionally foreign linden species and hybrids occur frequently in inhabited areas, the domestic small-leaved (*V. cordata*) and large-leaved linden (*V. phillyfolia*) trees can be found as a "genetic forest" comparatively seldom. At present however, due to their specific biological characteristics, several resources are being formed in forest practice for their conservation. After that the present or partly limited studies on *V. cordata* using the method of isozyme analysis are presented. These comprise methodical investigations in search of suitable isozyme systems with clearly separable isozyme patterns as well as practical applications including: (1) the detection of the genetic character of a linden tree; (2) the characterization of linden clones growing in a seed orchard; and (3) a comparative study on *V. cordata* populations of indigenous and foreign origin. Finally the morphological investigations performed both for *V. cordata* and *V. phillyfolia* are presented.

Schlüsselwörter: *Vitaceae, Arten, Hybride, Isoenzymanalyse, Winterlinden, heimische, Artunterscheidung, morphologische Merkmale*

### Zusammenfassung

Die Mannigfaltigkeit der Familie der *Vitaceae* wird eingangs bezüglich der Arten, interspezifischer Vielfalt sowie der interspezifischen Hybridbildung beleuchtet. Während heimische und zusätzlich auch fremde Lindenarten und -hybride häufig in Siedlungsgebieten anzutreffen sind, kommen die hier behandelte Winterlinde und Sommerlinde als "genetischer Wald" vergleichsweise selten vor. Aufgrund ihrer besonderen biologischen Eigenschaften werden gegenwärtig jedoch eine Reihe von Anbaumöglichkeiten zur Erhaltung durchgeföhrt. Danach werden die derzeitigen bzw. z.T. abgebrochenen Arbeiten an *V. cordata* unter Verwendung der Isoenzymanalyse dargestellt. Diese umfassen methodische Untersuchungen auf der Suche nach geeigneten Isoenzymen mit eindeutig unterscheidbaren Isoenzymmustern ebenso wie praktische Anwendungen wie: (1) der Nachweis des Klonecharakters einer Lindenart; (2) die Charakterisierung von Lindenforsten einer bestimmten Provenienz; und (3) eine Vergleichsuntersuchung an *V. cordata*-Populationen heimischer und fremdländischer Herkunft. Abschließend werden die für *V. cordata* und *V. phillyfolia* durchgeföhren morphologischen Untersuchungen angedeutet.

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 34(1993), 233-241.

# Isoenzymatische und morphologische Untersuchungen zur Linde

Werner Maurer\*

Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung  
D-67705 Trippstadt

**Keywords:** *Tiliaceae*, species, hybrids, isozyme analysis, small-leaved linden provenances, species differentiation, morphological traits

## Summary

Title of the paper: Isozymic and morphological investigations on linden.

The multiplicity of the *Tiliaceae* family is mentioned at the beginning regarding species, intraspecific diversity and interspecific hybrid formation. While indigenous and additionally foreign linden species and hybrids occur frequently in inhabited areas, the domestic small-leaved (*Tilia cordata*) and broad-leaved linden (*Tilia platyphyllos*) trees can be found as a „genuine forest tree“ comparatively seldom. At present however, due to their specific biological/ecological characteristics, several measures are performed in forest practice for their conservation.

After that the present or partly finished studies on *T. cordata* using the method of isozyme analysis are presented. These comprise methodical investigations in search of suitable enzyme systems with clearly separable isozymic patterns as well as practical applications including (1) the detection of the clonal character of a linden tree avenue; (2) the characterization of linden clones growing in a seed orchard, and (3) a comparative study on *T. cordata* populations of indigenous and foreign origins.

Finally the morphological investigations performed both for *T. cordata* and *T. platyphyllos* are presented.

**Schlüsselwörter:** *Tiliaceae*, Arten, Hybride, Isoenzymanalyse, Winterlindenherkünfte, Artunterscheidung, morphologische Merkmale

## Zusammenfassung

Die Mannigfaltigkeit der Familie der *Tiliaceae* wird eingangs bezüglich der Arten, intraspezifischer Vielfalt sowie der interspezifischen Hybridbildung beleuchtet. Während heimische und zusätzlich auch fremde Lindenarten und -hybride häufig in Siedlungsbereichen anzutreffen sind, kommen die hier bodenständige Winterlinde und Sommerlinde als „echter Waldbaum“ vergleichsweise selten vor. Aufgrund ihrer besonderen biologisch/ökologischen Eigenschaften werden gegenwärtig jedoch eine Reihe von Maßnahmen zu ihrer Erhaltung durchgeführt.

Danach werden die derzeitigen bzw. z.T. abgeschlossenen Arbeiten an *T. cordata* unter Verwendung der Isoenzymanalyse dargestellt. Diese umfassen methodische Untersuchungen auf der Suche nach geeigneten Enzymsystemen mit eindeutig auftrennbaren Isoenzymmustern ebenso wie praktische Anwendungen wie (1) der Nachweis des Kloncharakters einer Lindenallee; (2) die Charakterisierung von Lindenklonen einer Samenplantage; und (3) eine Vergleichsuntersuchung an *T. cordata*-Populationen heimischer und fremdländischer Herkunft.

Abschließend werden die für *T. cordata* und *T. platyphyllos* durchgeführten morphologischen Untersuchungen angesprochen.

## 1. Einleitung

Unter den ca. vierhundert Baum- und Straucharten der Familie der Lindengewächse (*Tiliaceae*), taxonomisch untergliedert in 30 - 40 Gattungen und weitgehend auf die Tropen beschränkt, befinden sich auch 10 einhäusige, laubabwerfende Arten mit natürlicher Verbreitung in den gemäßigten Zonen der nördlichen Halbkugel. Darunter sind vier Arten in Europa heimisch: die Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.), die Sommerlinde (*Tilia platyphyllos* Scop.), die Silberlinde (*Tilia tomentosa* Moench.) sowie die Kaukasische Linde (*Tilia dasystyla* Stev.) (vgl. hierzu KRÜSSMANN 1978). Winter- und Sommerlinde sind - wie alle europäischen Lindenarten - erfolgreich miteinander kreuzbar; die Bildung von solchen, als *Tilia x vulgaris* Hayne syn. *Tilia x europaea* L. („Holländische Linde“) bezeichnete Hybriden erfolgt ganz offensichtlich als natürlich ablaufender Vorgang dort, wo Vertreter der beiden Arten in räumlicher Nähe zueinander stehen (KEIPER 1916). Bastardierung tritt aber auch zwischen heimischen und fremdländischen Arten auf: so ist z.B. *Tilia x flaccida* Host. ein Hybrid, der als seine Kreuzungseltern die hiesige Sommerlinde (*T. platyphyllos* Scop.) und die im mittleren und östlichen Nordamerika vorkommende, bei uns als Zierbaum für Parks und Straßenbepflanzungen eingeführte Amerikanische Linde (*T. americana* L.) besitzt; mit seinen Merkmalen liegt der Hybrid genau zwischen diesen beiden Arten (SCHELLER 1972). Aufgrund dieser Neigung, interspezifische Hybride zu bilden wie auch der biologisch bedingten Variabilität bei der Ausprägung von intraspezifischen Merkmalen ist eine Artabgrenzung und somit die Bestimmung der eindeutigen Artzugehörigkeit von Linden nicht ganz einfach durchzuführen.

Während Linden der unterschiedlichen heimischen und fremdländischen Arten und die entsprechenden Hybridformen hiervon häufig in Parks und Gärten zumeist als einzelstehende dekorative Zierbäume wie auch als Alleebäume entlang von inner- und außerörtlichen Straßen und Verkehrswegen vorzufinden sind, ist Linde als echter „Waldbaum“ nur in ganz geringem Umfang anzutreffen. Dies wird insbesondere mit der Verdrängung durch die Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) erklärt (z.B. KOSS 1982; NAMVAR und SPETHMANN 1986). Letztlich sind die heimischen Lindenarten heutzutage zu seltenen und gefährdeten Baumarten geworden.

Aufgrund ihrer besonderen biologisch/ökologischen Eigenschaften (z.B. fast alljährliche Blütenbildung; Regenerationsfähigkeit durch Stockausschlag) wie auch waldbaulichen Vorzüge [z.B. Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch sehr rasche Laubzersetzung;

Schattenertragnis, daher dienende (Misch-)Baumart] ist Winter- und Sommerlinde in den letzten 30-40 Jahren wieder vermehrt Aufmerksamkeit in der Forstpraxis wie auch in der Forstpflanzenzüchtung geschenkt worden (KOSS 1982; FRICKE 1986; NAMVAR und SPETHMANN 1986).

Im Rahmen des Programms „Maßnahmen zur Erhaltung forstlicher Genressourcen“ werden seit einigen Jahren in Rheinland-Pfalz eine Reihe von *in situ*- und *ex situ*-Maßnahmen zur Förderung und Erhaltung der in das Forstsaatgutgesetz (*FSaatG*) seit 1979 einbezogenen Winterlinde durchgeführt (MAURER und TABEL 1995a, b); in diesem Programm wird neuerdings auch Sommerlinde (die dem *FSaatG* derzeit nicht unterliegt) mitberücksichtigt. Das Programm umfaßt schwerpunktmäßig (i) die Erfassung von (vermutlich) autochthonen Lindenvorkommen über die gesamte Landesfläche hinweg mit (ii) einhergehender Auswahl von Plusbaumen; (iii) hiervon die Gewinnung von Propfreisern zwecks (iv) Einrichtung von Samenplantagen mit der Zielsetzung, (v) qualitativ hochwertiges (Mehrklon-)Saatgut als Alternative zu importiertem Saatgut zu erzeugen (wobei zudem als Nebeneffekt auch noch das Erbgut der Plusbäume *ex situ* in Form von Mehrfach-Kopien erhalten wird). Die Erzeugung von Saatgut ist ganz besonders unter dem Blickwinkel zu sehen, daß in der Vergangenheit, und sofern keine eigenen Möglichkeiten gegeben sind, auch heute noch fremdlandisches Saatgut zur Verwendung kam bzw. kommt wegen des Mangels an von der Forstverwaltung selbst gewonnenem Vermehrungsgut.

Begleitet werden diese Maßnahmen mit Untersuchungen auf zwei Ebenen, nämlich auf (i) der biochemisch-genetischen und (ii) auf der morphologischen Ebene. Mit Hilfe der Methode der Isoenzymanalyse werden die Untersuchungen auf biochemisch-genetischem Level durchgeführt, einmal um das Ausmaß an genetischer Differenzierung bei Linde festzustellen und um zum anderen mit erprobten Enzymsystemen die Möglichkeit zu schaffen, eine zuverlässige Herkunftsuberprufung von Linden-Vermehrungsgut vorzunehmen. Bei den morphologischen Untersuchungen steht die Erfassung insbesondere von Blatt- und Fruchtmerkmalen zwecks eindeutiger Artzuordnung von Individuen im Vordergrund. Hierbei wird die biologisch bedingte Variabilität von intraspezifischen Merkmalen erfaßt, um eine interspezifische Abgrenzung vornehmen zu können bzw. um mögliche Hybridformen (mit ihren zumeist zwischen den Eltern liegenden Merkmalen) zu erkennen. Über den aktuellen Stand dieser Untersuchungen wird im folgenden berichtet.



## 2. Isoenzymatische Untersuchungen

In Vorbereitung isoenzymatischer Untersuchungen an Linde hatte eine umfassende Literaturrecherche unter Hinzuziehen der wichtigsten bibliographischen Datenbanken zu dem Ergebnis geführt, daß an *Tilia*-Arten soweit keinerlei biochemisch-genetische Untersuchungen unter Anwendung der Isoenzymanalysetechnik vorgenommen worden waren. Solche Arbeiten wurden 1991 erstmalig für Linde im Isoenzymlabor der FVA Rheinland-Pfalz durchgeführt.

### 2.1 Methodische Voruntersuchungen

Zur Ermittlung von geeigneten Enzymsystemen wurden Enzyme des Primär- und Sekundärstoffwechsels aus aufgetriebenen Ruheknochen von Winterlinden aus einer Klonsamenplantage und von Pflanzungen nicht bekannter fremdländischer Herkunft sowie von einer Lindenallee isoliert und elektrophoretisch mittels Stärkegelele aufgetrennt (MAURER, umfassende methodische Arbeit in Vorbereitung). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Mit Ausnahme der Enzyme Glutamat Dehydrogenase und Sorbitol Dehydrogenase konnten alle anderen getesteten Enzymsysteme mittels der jeweiligen spezifischen Enzymfärbung nachgewiesen werden. Dabei wurden auf den Gelen für die eindeutig auswertbaren Enzymsysteme überwiegend zwei, aber auch drei Aktivitätszonen sichtbar. Entsprechend der vorgefundenen Variation der Bandenmuster wurde eine Gruppierung vorgenommen in „sehr hoch“ bei mehr als 10 Mustern (Aspartat Aminotransferase, Shikimat Dehydrogenase); „hoch“ mit 6 - 10 Mustern (Leucinaminopeptidase, Malat Dehydrogenase, Phosphoglucomutase, Phosphoglucose Isomerase); „gering“ mit bis zu 4 Mustern (Aconitase, Alcohol Dehydrogenase, Esterase, 6-Phosphogluconat Dehydrogenase). Für Saure (Acid) Phosphatase sowie Isocitrat Dehydrogenase unterschieden sich die jeweiligen Muster nicht.

### 2.2 Isoenzymatische Untersuchungen an einer Klon-Samenplantage

Zur Identifizierung von Klonen werden lediglich, d.h. ohne Kenntnis des genetischen Hintergrundes, die erhaltenen Stärkegelele mit den aufgetrennten Bandenmustern eines jeden Enzymsystems zur Kloncharakterisierung beurteilt (CHELIAK 1993).

Tab. 1: Übersicht über die erstmals mittels Stärkegelelektrophorese getrennten Enzymsysteme von Winterlinde.  
(Trennpuffersysteme nach CHELIAK und PITEL 1984)

A survey on the enzyme systems from small-leaved linden first separated by using starch gel electrophoresis.  
(Separation buffer systems according to CHELIAK and PITEL 1984)

Enzymsystem	EC Nr.	Trennpuffer-system	Auflösung der Banden, Qualität der Gele	Anzahl Aktivitäts-zonen	Variation der Banden-muster
<i>Saure (Acid) Phosphatase</i>	3.1.3.2	B	verschmierte Banden, teilweise auswertbar	3	keine
<i>Aconitase</i>	4.2.1.3	H	ausgezeichnet	2	gering
<i>Alkohol Dehydrogenase</i>	1.1.1.1	H	gut	2	gering
<i>Aspartat Aminotransferase</i>	2.6.1.1	B	ausgezeichnet	keine klaren Zonen	sehr hoch
<i>Diaphorase</i>	1.6.4.3	B	verschmierte Banden	?	?
<i>Esterase</i>	3.1.1.1	B	verschmierte Banden, teilweise auswertbar	3	gering
<i>Glucose-6-phosphat Dehydrogenase</i>	1.1.1.49	H	verschmierte Banden	?	?
<i>Glutamat Dehydrogenase</i>	1.4.1.2	B ; H	keine Banden nachweisbar	---	---
<i>Isocitrat Dehydrogenase</i>	1.1.1.41	H	gut	2	keine
<i>Leucinaminopeptidase</i>	3.4.11.1	B	gut	2	hoch
<i>Malat Dehydrogenase</i>	1.1.1.37	H	gut	3	hoch
<i>Malic enzyme</i>	1.1.1.40	H	verschmierte Banden	?	?
<i>Phosphoglucomutase</i>	2.7.5.1	H	ausgezeichnet	2	hoch
<i>6-Phosphogluconat Dehydrogenase</i>	1.1.1.44	H	gut	2	gering
<i>Phosphoglucose Isomerase</i>	5.3.1.9	H	ausgezeichnet	2	hoch
<i>Shikimat Dehydrogenase</i>	1.1.1.25	H	ausgezeichnet	2	sehr hoch
<i>Sorbitol Dehydrogenase</i>	1.1.1.14	H ; B	keine Banden nachweisbar	---	---

Die in eine Samenplantage eingebrachten 80 Winterlinden-Klone aus dem Pfälzerwald wurden unter Verwendung der oben angeführten getesteten Enzymsysteme solchermaßen isoenzymatisch analysiert, daß jederzeit ihre eindeutige Identifizierung anhand der jeweiligen zeitlebens unveränderlichen Isoenzym-Merkmale an allen entsprechenden Replikaten möglich ist.

### **2.3 Isoenzymatische Untersuchungen an einer Lindenallee**

Während für das aus der Klonsamenplantage und den Pflanzungen stammende Linden-Untersuchungsmaterial eine für das jeweilige Enzymsystem spezifische Variation der Bandenmuster nachgewiesen werden konnte, ergaben sich hingegen bei dem aus den Baumkronen der Alleebäume gewonnenen Knospenmaterial keinerlei Unterschiede von Baum zu Baum zwischen den Bandenmustern des jeweiligen Enzymsystems. Der Vergleich zwischen Stockausschlagmaterial (aus der Pfropfunterlage stammend) mit Kronenmaterial eines jeweiligen Einzelbaums zeigte aber wiederum ganz eindeutige Unterschiede bei den untersuchten Enzymmustern. Aufgrund dieses Befundes ist mit hoher Sicherheit darauf zu schließen, daß die untersuchten Alleebäume von einem Klon abstammen müssen. Damit Alleen einer Baumart ein einheitliches phänotypisches Aussehen wie auch phänologisches Verhalten aufweisen, kam nachgewiesenermaßen häufig in der Vergangenheit - und es dürfte wohl aus diesen ästhetischen wie auch praktischen Gründen heute nicht anders sein - bei der Pflanzung der Alleebaumreihen genetisch identisches, d.h. kloniertes Baummaterial zur Verwendung.

### **2.4 Vergleichende isoenzymatische Untersuchungen an fremdländischen und heimischen Winterlinden-Herkünften**

In den 70er Jahren wurde in der Nordpfalz landwirtschaftlich genutztes, jedoch ertragschwaches Ackerland zunehmend mehr extensiviert. Solche freigewordenen Flächen wurden damals von der Landesforstverwaltung erworben und nachfolgend unter anderem mit Winterlinde aufgeforstet. Bedingt durch die Tatsache, daß Winterlinde zum damaligen Zeitpunkt noch nicht der Kontrolle durch das Forstsaatgutgesetz unterstand, ist die Herkunft des verwendeten Pflanzenmaterials nicht bekannt, vermutlich stammt es jedoch aus dem Südosten Europas. Die heute etwas über 20 Jahre alten Winterlinden zeichnen

sich deutlich erkennbar durch ihr qualitativ minderes phänotypisches Erscheinungsbild aus. Um einen Einblick in die genetischen Strukturen dieser Pflanzungen zu erhalten, wurden in zwei von diesen phänotypisch-bestandesrepräsentative Einzelbaumbeprobungen durchgeführt und das gewonnene Knospenmaterial isoenzymatisch unter Verwendung der o.a. Enzymsysteme analysiert. Aus den ersten Untersuchungen mit einer geringen Probenzahl (50 Bäume) zeichnen sich Unterschiede zwischen bestimmten Enzymmustern beim Vergleich der fremdländischen Bäume mit den einheimischen (Referenzproben aus der Samenplantage) ab. Die Absicherung dieses vorläufigen Befundes wird noch an einem umfangreicheren Probenkollektiv vorgenommen. Diese Untersuchung ist insofern von nicht unerheblicher Bedeutung, wenn man bedenkt, daß mit diesen unbekanntem Herkünften ein derzeit überhaupt nicht abschätzbaren Risiko bezüglich der Anpassungsfähigkeit von zukünftigen Winterlindenpopulationen verbunden sein kann, dann nämlich, wenn es zu einer Vermengung des Erbgutes infolge der Pollenverbreitung und den zwangsläufig damit einhergehenden Bestäubungsvorgängen zwischen den heimischen und den fremdländischen Populationen kommt.

### **3. Morphologische Untersuchungen**

„So leicht die Abgrenzung der Linden als Gattung ist, so schwierig ist die Begrenzung der einzelnen Arten innerhalb derselben. Die Ursache hierzu liegt einerseits in einer gewissen Variabilität der einzelnen Merkmale. Viele von ihnen schwanken in ihrer Ausbildung, und bei ihrer Beschreibung müssen deshalb häufig Angaben wie „mehr oder weniger“ oder auch „oft“ erfolgen. Erst die Summe aller Merkmale ergibt dann ein genaues Bild der einzelnen Art. Andererseits sind die einzelnen Merkmale nicht besonders auffällig, und erst wenn man miteinander vergleicht, erkennt man ihre Ausbildung und Bedeutung. (...) Von vielen Autoren wird auch eine starke Bastardierung der Arten untereinander verantwortlich gemacht“ (SCHELLER 1972). Selbst ein als deutlich diskriminierend beschriebenes Merkmal, wie z.B. die bei Winterlinde auf der Blattunterseite vorhandenen rostfarbenen Achselbärte können nur unter dem Vorbehalt zur Unterscheidung herangezogen werden, daß es sich dabei um vollentwickelte Blätter handelt. Denn junge Blätter zeigen unseren Beobachtungen zufolge Achselbärte, die ähnlich weiß gefärbt sind wie die von ausgereiften Sommerlindenblättern. Selbst bei adulten Blättern ist es nicht immer einfach, in vielen Fällen auf Anhieb eine klare Unterscheidung bezüglich der Farbangebe

Tab. 2. Erfassung von morphologischen Merkmalen der einheimischen und häufig vorkommenden fremdländischen Lindenarten zwecks Artenidentifizierung (zusammengestellt entsprechend der Angaben in SCHELLER 1972). Beispiel: graue Schattierung für Sommerlinde.

Compilation of morphological traits of indigenous and frequently occurring foreign linden tree species for species identification (compiled according to the data given in SCHELLER 1972). Example: grey shading for broad-leaved linden.

Kennzeichnung: \_\_\_\_\_ Standort: \_\_\_\_\_ Probenahme am: \_\_\_\_\_  
 Bonitur am: \_\_\_\_\_ Bonitur durch: \_\_\_\_\_

Merkmale		Merkmalsausprägung nach Scheller (1972)					
<b>1. Blattmerkmale</b>							
Blattarbe	oben	grün	stumpfpfün	glänzend grün	dunkelgrün	blaugrün	silbergrau
	unten	hellgrün	grün	stumpfpfün	graugrün	behaart	
Behaarung	oben	kahl	verkahlend	kahl-behaart	behaart	behaart	sternhaarig
	unten	kahl	+/- kahl	fast kahl	rostarben	hell bräunlich	+/- sternhaarig
Achselbärte		keine	weislich		scharf gesägt		bräunlich
Blattrand		grannenspitzig	+/- grannenspitzig		behaart	feinflizig	
Blattstiel		kahl	behaart		deutlich		
Tertiäre Nervenstruktur		undeutlich	+/- undeutlich		nicht parallel		
Verlauf		parallel	+/- parallel				
<b>2. Fruchtmerkmale</b>							
Rippen		keine	schwach	stark	Sturchig		
Schale		holzig	zerbrechlich	+/- zerbrechlich			
Behaarung		feinflizig	filzig	zötig-filzig	warzig-filzig		
<b>3. Triebe (1-jährig)</b>							
Behaarung		kahl	+/- behaart	feinflizig			
<b>4. Knospen</b>							
Länge		4-5 mm	5-6 mm	6-7 mm	7-8 mm		
Behaarung		kahl	meist kahl	an der Spitze	sternhaarig		
Schuppen (Anzahl)		2	meist 2	2-3			
<b>5. Blüten</b>							
Zahl		2-5	2-8	3-6	3-10	4-10	5-10
Kronblätter (2)		ausgebreitet	± ausgebreitet	etwas aufrecht	fast aufrecht		
Staubblätter (1)		keine	z.T. vorhanden	vorhanden			
Verhältnis d. Länge (1):(2)		kürzer	gleich	länger			

Tab. 3: Kombinationen der in Tabelle 2 gegebenen Merkmale und Prüfung der Artzugehörigkeit für Sommerlinde (*T. platyphyllos*). Die Zahlenangaben bezeichnen die Anzahl der übereinstimmenden Merkmale für die getesteten Arten.

Combinations of the traits as given in table 2 and examination for species relationship of broad-leaved linden (*T. platyphyllos*). The figures indicate the number of agreeing traits for the *Tilia* species tested.

Probe Bez.	<i>Tilia platyphyllos</i>	<i>Tilia x vulgaris</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Tilia x euchlora</i>	<i>Tilia tomentosa</i>	<i>Tilia petiolaris</i>	<i>Tilia x moltkei</i>	<i>Tilia x flaccida</i>	<i>Tilia americana</i>
Kirn 1	11	7	2	3	2	2	4	5	4
Kirch 1	11	7	2	3	3	2	3	5	4
May 1	8	5	2	2	3	2	3	5	4
May 2	11	7	2	4	2	1	3	5	5
Sim 2	8	1	2	1	3	2	4	4	3
Sim 3	8	6	2	4	3	2	3	5	4
Gero 2	9	7	2	4	3	2	4	6	5
Rhau 1	11	4	2	3	3	2	4	4	5
Sch 12	8	5	2	1	2	1	4	4	2
Knop 5	11	6	2	3	3	2	5	8	5

„rostbraun“ für Winterlinde und „schmutzigbraun“ für die Hybridform *T. x vulgaris* (*T. cordata* x *T. platyphyllos*) vorzunehmen. Und das Merkmal „Blattgröße“ ist ebenfalls mit Vorsicht zu bewerten. Daher ist eine Beurteilung bezüglich der Artzugehörigkeit relativ sicher nur auf der Basis der Kombination von einer Reihe von Merkmalen vorzunehmen. Für unsere Bestimmungen hat sich die nach SCHELLER (1972) zusammengestellte Tabelle 2 (in der Darstellung als das bei uns erarbeitete und verwendete Erfassungsblatt) mit den Merkmalsausprägungen, die für eine Reihe von Linden beobachtet wurden, bewährt. In diesem Erfassungsblatt werden nach Beurteilung einer Probe die jeweiligen Merkmalsausprägungen markiert und auf dieses dann eine artspezifische Schablone gelegt - in der Darstellung hier grau unterlegt für die Untersuchung auf „Sommerlinde“ - und die Anzahlen der Übereinstimmungen festgestellt. Dies ist beispielhaft in Tabelle 3 mit einer Auswahl von im Herbst/Winter 1994/95 erworbenen Sommerlinden-Pfropfmaterial verschiedener Einzelbäume gezeigt. Aus dieser Darstellung wird auch nochmals ganz deutlich, wie nahe, auch in der Kombination, die Merkmalsausprägungen bei den Hybridformen *T. x vulgaris* (*T. cordata* x *T. platyphyllos*) sowie *Tilia x flaccida* (*T. platyphyllos* x *T. americana*) bei Sommerlinde liegen; selbst die reine Art *T. americana* zeigt noch eine hohe Anzahl an Übereinstimmungen auf. Womöglich könnte eine Rangordnung der einzelnen Merkmale mit Gewichtung (ähnlich wie für die heimischen Eichen) zu einer Verfeinerung des Unterscheidungsverfahrens und damit zu einer größeren Bewertungssicherheit beitragen.

#### 4. Danksagung

Der Autor dankt - stellvertretend für alle beteiligten früheren Mitarbeiterinnen - Frau Silke Halbgewachs für ihre wertvolle Mitarbeit bei der technischen Durchführung der vorgestellten Untersuchungen.

#### 5. Literatur

- CHELIAK, W.M. (1993): Clone Identification. *In*: Clonal Forestry I, Genetics and Biotechnology (AHUJA, M.R. and LIBBY, W.J. eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.101-109.
- CHELIAK, W.M. and PITEL, J.A. (1984): Techniques for starch gel electrophoresis of enzymes from forest tree species. *Information Report PI-X-42*, Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, 49 pp.
- FRICKE, O. (1986): Standortsansprüche und waldbauliches Verhalten der Mischbaumarten zur Eiche. *Der Forst- und Holzwirt*, 41. Jg., 10, S. 259-264.
- KEIPER, J. (1916): Die Linde im Pfälzerwald und in den übrigen Waldgebieten der Pfalz. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 38, S. 223-238; 309-327; 360-369.
- KOSS, H. (1982): Verbreitung, ökologische Ansprüche und waldbauliche Verwendung der Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.). *Der Forst- und Holzwirt*, 37. Jg., 15, S. 381-385.
- KRÜSSMANN, G. (1978): *Tilia* L. *In*: Handbuch der Laubgehölze, Verlag Paul Parey Berlin und Hamburg, Band III, S. 416-423.
- MAURER, W.D. und TABEL, U. (1995a): Erhaltung forstlicher Genressourcen in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 2, S. 102-104.
- MAURER, W.D. and TABEL, U. (1995b): Conservation of genetic resources of *Tilia* tree species in Rheinland-Pfalz (Germany). *In*: Population genetics of forest trees, SPB Academic Publishing bv. (Amsterdam), im Druck.
- NAMVAR, K. und SPETHMANN, W. (1986): Die heimischen Waldbaumarten der Gattung „*Tilia*“ (Linde). *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 3, S.42-45.
- SCHELLER, H. (1972): Die Linden in Gärten und Parks des unteren Maingebietes. *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*, 65, S.7-42.

# Optimierung der Eichen-Saatgutbehandlung bei Ernte und Lagerung

Wolfgang Spethmann

Institut für Obstbau und Baumschule  
Fachbereich Gartenbau  
Universität Hannover  
D-31157 Sarstedt

**Keywords:** *Quercus*, seed crop, pre-treatment, thermotherapy, fungicide application, frost hardiness, hardening, long-term storage

## Summary

Title of the paper: Optimizing the treatment of oak seeds during crop and storage.

During the period from crop to pre-treatment/storage a significant loss in germinating capacity of the seeds may be brought about by false handling. The procedure of pre-treating by thermotherapy is fully developed for practice now. Secondary fungi should be controlled by fungicides. Optimized conventional storage makes feasible an 18-month-maintenance of a high germination percentage,

The response of acorns on natural and artificial hardening by alternating temperatures is presented. It is possible to lower frost tolerance to  $-6^{\circ}\text{C}/-8^{\circ}\text{C}$  by hardening. Thus it becomes possible to perform long-term storage at low temperatures. Several intensive and extensive strategies are presented.

**Schlüsselwörter:** *Quercus*, Saatgut, Lagerung, Vorbehandlung, Thermotherapie, Fungizideinsatz, Frosthärte, Härtung, Langzeitlagerung

## Zusammenfassung

Während der Phase von der Ernte bis zur Vorbehandlung/Einlagerung kann durch falsche Behandlung ein erheblicher Verlust von Keimfähigkeit erfolgen. Das Verfahren der Vorbehandlung durch Thermotherapie ist praxisreif. Sekundärpilze sollten durch Fungizide bekämpft werden. Optimierte konventionelle Lagerung ermöglicht 18 Monate Erhalt hoher Keimprozente.

Die Reaktion von Eicheln auf natürliche und künstliche Härtung durch Wechseltemperaturen wird vorgestellt. Die Frosttoleranz kann durch Härtung auf  $-6^{\circ}\text{C}/-8^{\circ}\text{C}$  gesenkt werden. Dadurch eröffnen sich Möglichkeiten einer Langzeitlagerung bei tiefen Temperaturen. Mehrere intensive oder extensive Strategien werden vorgestellt.



# 1. Praxis der Ernte und Lagerung

Bei den meisten Waldbaumarten sind Saatguternte und -Lagerung problemlos möglich. Bei Eiche sind trotz langjähriger Forschung noch viele Fragen offen. Eine Gegenüberstellung der derzeitigen Ernte- und Lagerungsstrategien verschiedener Länder und das Einbeziehen eigener Untersuchungen zur Langzeitlagerung soll als Synthese zukünftige Wege einer optimierten Ernte und Lagerung für Eiche aufzeigen.

## 1.1 Ernte

In Vollmastjahren ist zuviel Saatgut vorhanden nach LÖFFLER (1986) bis zu 10.000 t. Auch bei geringen Keimprozenten reichen ca. 1.000 t für die pro Jahr für Pflanzung benötigten rund 100 Millionen Pflanzen. In Fehlmastjahren fehlt Saatgut. Bei Teilmasten ist die physiologische Qualität häufig geringer. Nur wenige Bäume sind an der Reproduktion beteiligt. Deshalb ist auch die genetische Qualität schlechter.

Der Eichelfall und damit die Erntezeit schwankt von Jahr zu Jahr. Feste Erntezeiten können deshalb nicht angegeben werden. KLEINSCHMIT (1976) fand in einem Bestand in zwei aufeinanderfolgenden Jahren Unterschiede von 4 Wochen im Hauptfallzeitpunkt insbesondere bei der Traubeneiche. Ende Oktober war der Eichelfall abgeschlossen. Vor dem 20. September wurden nur geringe Eichelgewichte gefunden, weshalb eine Sammlung vorher nicht stattfinden sollte. Die mittleren Eichelgewichte waren positiv mit der Niederschlagsmenge im September und Oktober korreliert. Die geringen Eichelgewichte sind auch häufig bedingt durch Fraßschäden, Hohlkorn, Unreife.

In Dänemark (KNUDSEN 1993) wird nach starkem Eichelfall sofort gesammelt, um Feuchteverlust und *Ciboria*-Befall zu vermeiden. In Frankreich (BONNET-MASIMBERT und MULLER 1993) zeigten sofort gesammelte Eicheln eine reduzierte Keimung von nur 50% nach halbjähriger Lagerung, während 4 Wochen nach Fall gesammelte Eicheln 80% Keimung nach Lagerung zeigten. Erklärt wurde der Effekt mit Nachreife am Boden.

## 1.2 Zwischenlager / Transport

Zwischenlagerung in Säcken (höchstens zweireihig) oder in dünnen Schichten ausgebreitet sollte nur an möglichst kühlen Standorten erfolgen. Ein Austrocknen muß verhindert werden. Die ausgebreiteten Eicheln sollten häufig umgeschaufelt und bei Bedarf befeuchtet werden. Bei zu dichter Lagerung kann Selbsterhitzung eintreten. Nasses Saatgut fördert wiederum die Pilzentwicklung. Oft wird der Befall durch Eichelrüssler (*Balaninus glandium*) und Eichelwickler (*Laspeyresia splendana*) im Zwischenlager verstärkt.

Der Transport zur Vorbehandlung/Lagerung sollte möglichst schnell erfolgen. Um Erhitzung zu vermeiden, ist Nachttransport vorzuziehen. In Frankreich wird Transport im Kühlwagen (<5°C) empfohlen, das Saatgut soll innerhalb von drei Tagen nach der Ernte am Lager zur Vorbehandlung angelangt sein.

Schlechte Bedingungen im Zwischenlager und beim Transport sind häufig die Ursache für schlechte Keimprozente bei Ankunft des Saatgutes in der Baumschule oder im Lager.

## 1.3 Vorbehandlung

Der gefährlichste Lagerschädling bei Eiche ist der Pilz *Ciboria batschiana*. In Frankreich wurde vor einigen Jahren die Thermotherapie als erfolgreiche Bekämpfungsmethode entwickelt (DELATOUR und MORELET 1979). Vor der Thermotherapie wird in einem separaten Tauchverfahren die Saat gereinigt. Oben schwimmende Blätter, Zweige, unreife, insektenbefallene Früchte werden abgeschöpft. In Frankreich und Deutschland erfolgt das Abschöpfen während der Thermotherapie.

Die Thermotherapie gilt als optimiertes Verfahren. 2 - 2,5h werden die Eicheln in 41°C warmem Wasser getaucht gehalten und damit Pilz und Pilzsporen abgetötet, ohne die Eichel zu schädigen. Die technische Ausstattung ist in den Ländern unterschiedlich. Je größer die behandelte Menge ist, desto schwieriger ist die Realisierung der vorgegebenen Bedingungen (Großanlage in La Joux). Anlagen bis ca. 400 kg pro Durchgang wie in Dänemark (KNUDSEN 1993) oder 3 x 80 kg pro Durchgang in der FSB Oerrel (DELFS-SIEMER 1993) scheinen problemlos zu funktionieren. Bei der Thermotherapie wird Wasser konstanter Temperatur aus einem Speicher mit thermostatgesteuerter Hei-

zung durch die Behandlungsbehälter geleitet, in denen sich die Eicheln in einem Gitterkorb befinden.

Bei temperaturempfindlichen angekeimten Trauben-Eicheln können vereinzelt Schäden durch die Thermotheapie auftreten.

Nach Ausschaltung von *Ciboria* besteht eine erhöhte Prädisposition gegen Folgepilze wie z.B. *Cylindrocarpon didymum* (GUTHKE 1992). Um diese Folgepilze zu bekämpfen, hat sich in Dänemark ein Tauchverfahren mit 3 g *Benomyl* / kg Saat als geeignet erwiesen, während *Rovral* auch in Mischung mit *Benomyl* nicht geeignet war (KNUDSEN 1993). In Frankreich wird mit 1 g *Thiram* plus 1 g *Methylthiophanat* oder 0,4 g *Benomyl* pro kg Eicheln erfolgreich gearbeitet, z.T. sogar statt Thermotheapie (BONNET-MASIMBERT und MULLER 1993).

Sehr erfolgversprechend sind in La Joux durchgeführte Versuche mit „Thermonebulisation“. Dabei wird das Fungizid *Rovral* über eine Fog-Anlage in das Lager eingeblasen. Diese Fungizidbehandlung hat sich als effektiv und eichelschonend erwiesen und senkt den Verbrauch an Fungiziden deutlich (BONVICINI 1993). Versuche in Oerrel mit *Benomyl* und anderen Zusätzen können noch nicht abschließend beurteilt werden (DELFS-SIEMER 1993).

Nach der Thermotheapie müssen die Eicheln im Luftstrom oberflächlich gut abgetrocknet werden. Dies erfolgt in Oerrel bei 15-20°C. Der Samenwassergehalt vor der Einlagerung muß zwischen 42-48% liegen.

#### 1.4 Lagerung

Bei der Lagerung muß Luftaustausch erfolgen können. In Frankreich und Dänemark werden gelochte Kunststoffkästen (25 kg) verwendet, die eine gute Durchlüftung gewährleisten. In Deutschland (FSB Oerrel) werden nach dem Modell SUSZKA (SUSZKA und TYLKOWSKI 1980) 40 kg Eicheln in 60-l-Plastiktonnen gefüllt. Ein perforiertes Drainagerohr ermöglicht das Abfließen des entstehenden CO<sub>2</sub>. Dabei können in der Tonne allerdings Wassergehaltsgradienten bei den Eicheln auftreten.

Die Lagertemperatur für das Saatgut liegt in allen Ländern bei -1°C bis -2°C. Bei -4°C wird bei konventioneller Saatgutbehandlung die unterste Temperaturgrenze für die Lage-

rung gesehen. Darunter erfrieren die Eicheln. Um den hohen Wassergehalt während der Lagerung zu gewährleisten, sind Luftfeuchten von 85-95% relative Feuchtigkeit notwendig. Optimal lassen sich Mantelkühlhäuser einsetzen, da durch die Außenkühlung die hohe Luftfeuchte bestehen bleibt und keine Entfeuchtung des Saatgutes erfolgt. Bei geschilderter optimaler Behandlung kann die Keimfähigkeit von Stiel-Eicheln über 18 Monate, also über zwei Winter, nahezu konstant gehalten werden (Abb. 1). Ein Teil der Eicheln überlebt auch ein weiteres Jahr, jedoch ist durch zwar langsames, aber doch kontinuierliches Wachstum der Keimwurzel und physiologische Alterung durch Respiration und somit des Stärkeabbaus eine kommerzielle Aussaat nicht mehr gewährleistet (vgl. Tab. 1). Bei *Q. petraea* (Tab. 2) wurde eine schnellere Abnahme der Keimfähigkeit beobachtet (GUTHKE 1992, BONVICINI 1993).

## 2. Versuche zur Erhöhung der Frosthärte

Alle Versuche in Frankreich, Polen, Dänemark und Deutschland haben gezeigt, daß das derzeitige Lagerungsverfahren nicht weiter optimiert werden kann und daß durch physiologische Alterung, Respiration, Wachstum der Keimwurzel und vor allem durch Sekundärpilze bei 18 Monaten eine realistische Lagerdauer für größere Lagermengen erreicht ist.

Ein grundsätzlich neuer Ansatz zur Verlängerung der Lagerung wurde an unserem Institut (GUTHKE 1992) begangen. Ausgehend von der Diskrepanz zwischen der in Versuchen ermittelten unteren Lagertemperatur von  $-4^{\circ}\text{C}$  und den im Freiland von Eicheln tolerierten Tiefsttemperaturen von z.T. weit unter  $-4^{\circ}\text{C}$  wurden ökophysiologische Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurden im Winter 1990/91 in einem Eichenbestand des Forstamtes Diekholzen bei Tiefsttemperaturen der Luft von  $-15^{\circ}\text{C}$  in der Laubschicht Temperaturen bis  $-9^{\circ}\text{C}$  gemessen. Ohne weitere Behandlung keimten diese Eicheln trotz Pilzbefall im Frühjahr zu 60%.

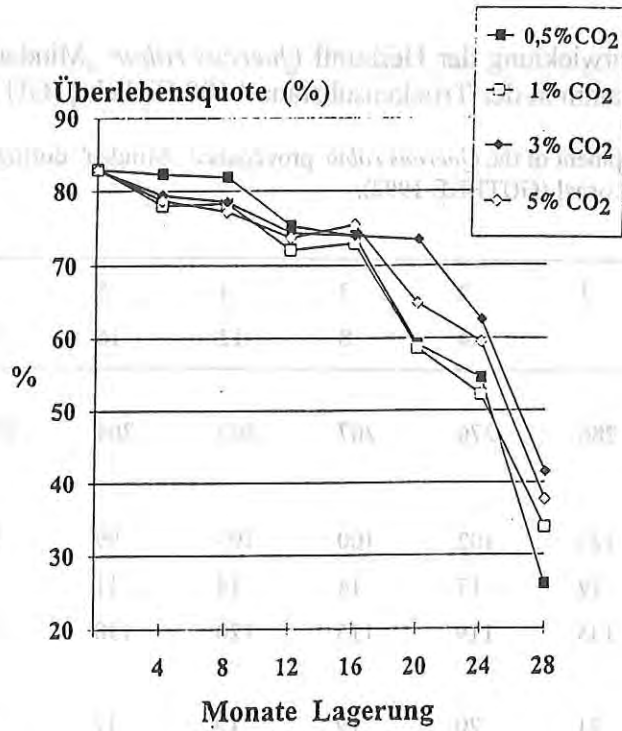


Abb.1: Überlebensquote von *Quercus robur* „Viersen“ nach der Lagerung bei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (GUTHKE 1992).

Survival rate of *Quercus robur* „Viersen“ following storage at different CO<sub>2</sub> concentrations (GUTHKE 1992).

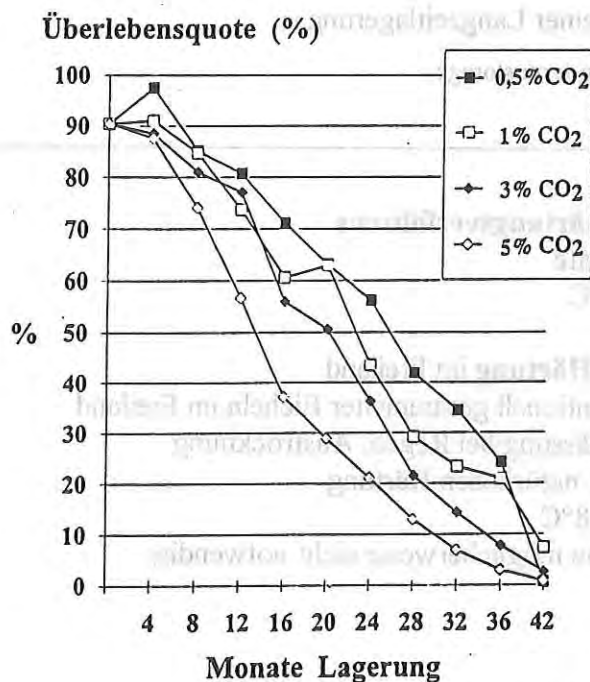


Abb.2: Überlebensquote von *Quercus petraea* „Lüß“ nach der Lagerung bei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen (GUTHKE 1992).

Survival rate of *Quercus petraea* „Lüß“ following storage at different CO<sub>2</sub> concentrations (GUTHKE 1992).

Tab. 1: Physiologische Entwicklung der Herkunft *Quercus robur* „Minden“ im Verlauf der Lagerung [Gramm in der Trockensubstanz / 100 Eicheln] (GUTHKE 1992).

Physiological development of the *Quercus robur* provenance „Minden“ during storage [grams of dry matter / 100 acorns] (GUTHKE 1992).

Probenahme	1	2	3	4	5	6	7
Monate Lagerung		4	8	12	16	20	24
<b>Kotyledonen-Trockensubstanz</b>	286	276	267	265	264	254	241
<b>Stärke</b>	123	102	100	105	99	82	87
<b>Zucker gesamt</b>	12	17	14	14	11	9	6
<b>Gesamtkohlenhydrate</b>	135	119	115	120	110	91	93
<b>Eiweiß</b>	21	20	19	19	17	18	18
<b>% Aminosäuren</b>	35	34	35	27	26	34	36

Tab. 2: Mögliche Strategien einer Langzeitlagerung.

Possible strategies of long-term storage.

<p>1. <b>nach Thermotherapie</b>  <b>Einsatz des künstlichen Härungsverfahrens</b>            0°C / + 5°C über 5-6 Monate  <b>Lagerung bei - 6 °C / - 8°C</b></p>
<p>2. <b>Nutzung der natürlichen Härtung im Freiland</b>  <b>Zwischenlagerung</b> konventionell gesammelter Eicheln im Freiland  <b>Schutz</b> vor Tierfraß, Vernässung bei Regen, Austrocknung            im <b>Januar</b> Höhepunkt der natürlichen Härtung  <b>Einlagerung</b> bei - 6°C / - 8°C            Einsatz der Thermotherapie möglicherweise nicht notwendig.</p>
<p>3. <b>Sammeln der Eicheln</b>  <b>nach Abschluß der natürlichen Härtung</b>            Maschinenernte (Jan.)            Fraß verhindern  <b>Einlagerung</b> bei - 6°C / - 8°C direkt nach der Ernte.</p>

Die laufende Untersuchung der Frosthärte\* von Eicheln in der Bestandesstreu, im Ausaatbeet und in der Mantelkühlhauslagerung zeigte, daß im Freiland eine natürliche Härtung die Frosthärte bis Januar deutlich erhöht, während im Kühllager die erlangte Härtung bei Lagerbeginn nahezu unverändert bleibt. Im Frühjahr erfolgt im Freiland eine natürliche Enthärtung (Abb. 3). Eine solche Härtung und Enthärtung von Saatgut war bis jetzt noch nie beobachtet worden.

Ungewöhnlich war die kontinuierliche Wassergehaltszunahme bei den Freilandeicheln, die von 48% im Herbst auf 65% im April anstieg (Abb. 4). Das widerlegt die Ansätze zur Langzeitlagerung, die nur durch Absenkung des Samenwassergehaltes eine erhöhte Frosthärte und damit verbesserte Lagerung erwarteten.

Um den Härtungseffekt für die künstliche Erhöhung der Frosthärte zu nutzen, wurde der Temperaturverlauf im Herbst als Modell genommen und die Eicheln mit 12h bei 0°C und 12h bei +5°C im Wechsel mehrere Monate gehärtet und die Veränderung der Frosthärte gemessen.

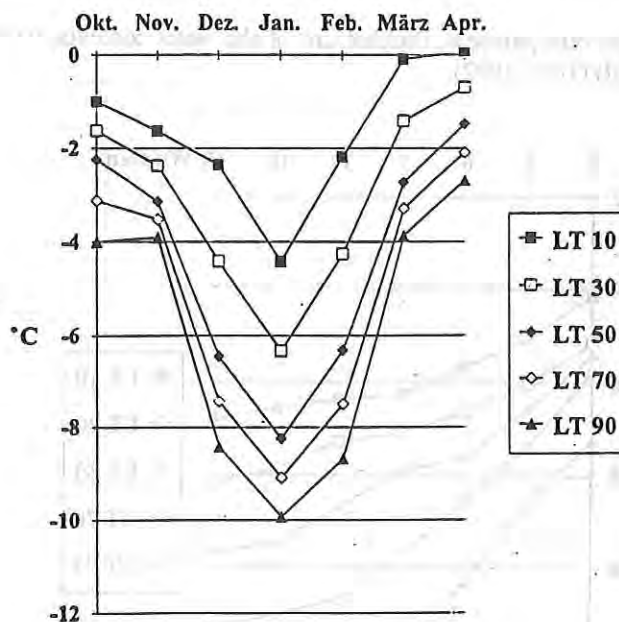


Abb. 3: Entwicklung der Letaltemperaturen von *Quercus petraea* „Diekholzen“, Winter 89/90; Durchschnitt der Freilandvarianten (GUTHKE 1992).

Development in *Quercus petraea* „Diekholzen“ of the lethal temperatures, winter 89/90; average of field variants (GUTHKE 1992).

\* Frosthärtetest je 300 Eicheln pro Temperaturstufe in Heraeus Präzisions-Keimanlagen gegengeheizt im Tiefkühlraum über 4 Wochen, 200 Stück ausgesät für Keimtest, 100 Stück für Schnittprobe und Analysen.

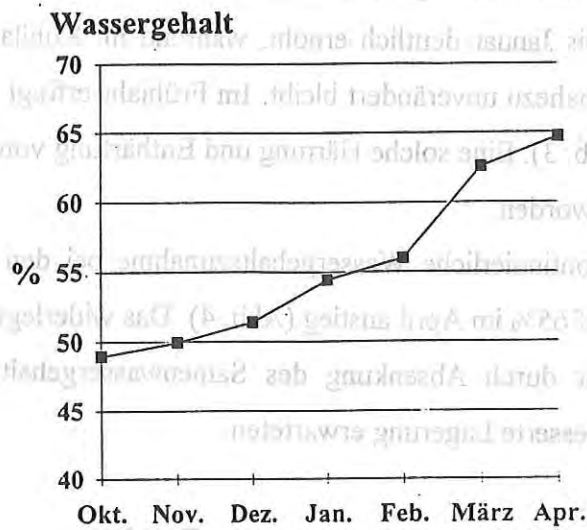


Abb. 4: Entwicklung des Wassergehaltes von *Quercus petraea* „Diekholzen“, Winter 89/90; Durchschnitt der Freilandvarianten (GUTHKE 1992).

Development in *Quercus petraea* „Diekholzen“ of the water contents, winter 89/90; average of field variants (GUTHKE 1992).

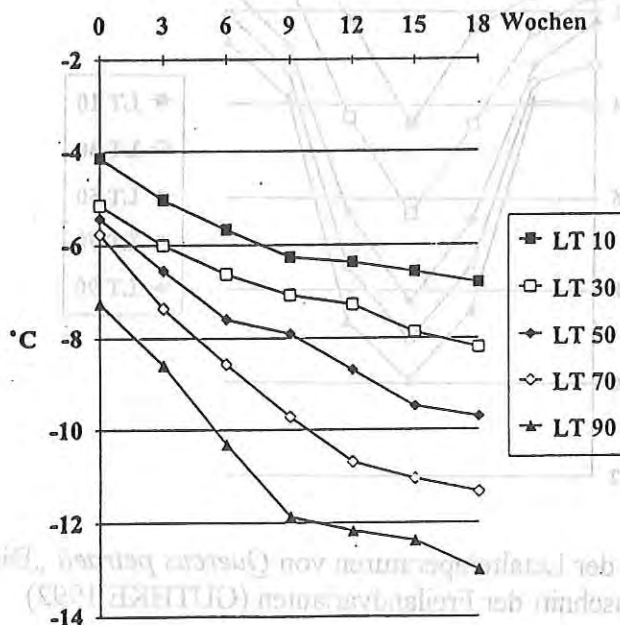


Abb. 5: Entwicklung der Letaltemperaturen bei kontrollierter Abhärtung bei + 5°C / 0°C von *Quercus robur* „NL“, 1991/92 (GUTHKE 1992).

Development in *Quercus robur* „NL“ of the lethal temperatures at contolled hardening at + 5°C / 0°C, 1991/92 (GUTHKE 1992).



Die Frosthärte nahm deutlich zu. Die Ausgangshärte LT 10\*\* von -4°C im November erhöhte sich schon nach 9 Wochen auf -6°C. Die LT 50 erhöhte sich im gleichen Zeitraum von -5°C auf -8°C und nach 16 Wochen bis fast -10°C (Abb. 5).

Während der Härtung nimmt der Stärkegehalt ab, der Gehalt an löslichen Zuckern deutlich zu. Während in allgemeinen der Saccharose eine entscheidende Rolle bei der Frosthärtung von Pflanzen zugeschrieben wird, konnte für Eiche auch eine Korrelation von Glucose und Fructose im Zellsaft nachgewiesen werden. Veränderungen wurden auch bei den Aminosäuren festgestellt: Glutamin, Prolin und Histidin sind im Januar deutlich erhöht, Arginin und Taurin hingegen vermindert.

Diese Ergebnisse eröffnen die Möglichkeit einer Lagerung von Eicheln bei Temperaturen von -6°C und möglicherweise auch darunter. Dabei wären Pilzwachstum, Respiration und physiologische Alterung auf ein absolutes Minimum reduziert und die Möglichkeit einer Langzeitlagerung über mehrere Jahre gegeben.

Wegen des Fehlens einer Mast 1993 und 1994 konnte noch kein Versuch für die Verifizierung der These der Langzeitlagerung nach Härtung eingeleitet werden.

### **3. Mögliche Strategien einer Langzeitlagerung**

Wie könnten die dargestellten neu aufgedeckten Härtungsreaktionen der Eicheln eingesetzt werden, um Eicheln längerfristig einlagern zu können?

Ziel der Langzeitlagerung sollte die Überbrückung zwischen zwei Vollmastjahren sein, also *ca.* 4-6 Jahre. Teilmasten sollten aus schon genannten Gründen nicht für das aufwendige Langzeitlagerverfahren verwendet werden. Für die Langzeitlagerung sollte nur qualitativ bestes Saatgut von Vollmasten vorgesehen werden. Neben der besseren physiologischen und genetischen Qualität sind die Sammelkosten pro Gewichtseinheit erheblich geringer als bei Teilmasten.

---

\*\* LT 10 = 10 % der Eicheln sterben ab.

Dabei könnte im optimalen Fall folgenderweise vorgegangen werden: Ausschluß der frühfallenden, meist unreifen oder von Insekten befallenen Eicheln, falls möglich durch Einsatz von Netzen erst ab zweitem Drittel des Fruchtfalls, Verbleib der Eicheln für ca. vier Wochen am Waldboden, Sammlung, schneller Transport bei 0°C/+5°C zur Vorbehandlung, Reinigung im Tauchverfahren, Thermotherapie, Fungizidbehandlung gegen Sekundärpilze, Härtung bei 0°C/+5°C über 5-6 Monate, Lagerung bei -6/-8°C. Ein Absieben kleiner Eicheln könnte die Qualität des zu lagernden Saatgutes nochmals erhöhen und helfen, die benötigte Lagerkapazität möglichst klein zu halten. Die Thermotherapie ist notwendig, um *Ciboria*-Pilzwachstum während der Härtung zu minimieren.

Das geschilderte Verfahren ist sehr aufwendig. Denkbar sind auch extensivere Verfahren, die jedoch ebenfalls ein Einfrieren ermöglichen (siehe hierzu Tab. 2, S. 250):

1. Die Nutzung der natürlichen Härtung im Freiland wäre möglich, indem konventionell gesammelte Eicheln im Freiland zwischengelagert werden. Schutz vor Tierfraß, Vernässung bei Regen, Austrocknung muß dabei gewährleistet sein. Ob Lagerung am oder im Boden eingesenkt oder in Verschlägen erfolgen sollte, müßte noch geprüft werden. Im Januar hat die natürliche Härtung ihren Höhepunkt, und dann sollte bei -6°C/-8°C eingelagert werden. Der Einsatz der Thermotherapie ist möglicherweise nicht notwendig, da bei Bodenlagerung die Antagonisten am Boden das *Ciboria*-Wachstum in Grenzen halten.
2. Das Sammeln der Eicheln nach Abschluß der natürlichen Härtung per Hand ist aufgrund der (unkalkulierbar) tiefen Temperaturen kaum möglich. Eine Maschinenernte ist jedoch denkbar. Fraß durch Wildschweine muß verhindert werden. Eine Einlagerung bei -6°C/-8°C kann direkt nach der Ernte im Januar erfolgen.

Während beim intensiven Verfahren regulierbare Härtungskammern (Steuerebare Kühllager) notwendig sind, können bei Extensivvariante 1 kostengünstigere Freilandschutzmaßnahmen eingesetzt werden, bei Variante 2 entfallen auch diese. Ein Praxis-Vergleich der genannten Strategien wird die Effektivität erkennen lassen.

#### 4. Literatur

- BONNET-MASIMBERT, M. and MULLER, C. (1993): Storage of acorns: Limits and recent breakthroughs. Internationales Symposium über Forstsaatgut 8.-11. Juni 1993, Munster / Uelzen, Proceedings, pp. 119-130.
- BONVICINI, M.-P. (1993): Presentation of the Tree Seed Center "La Joux" (France) - Results about storage of acorns on a large scale - Chemical protection during storage: interests and limits. Internationales Symposium über Forstsaatgut 8.-11. Juni 1993, Munster / Uelzen, Proceedings, pp. 193-209.
- DELATOUR und MORELET (1979): La pourriture noire de glands. *Revue Forestière Française*, 31, pp. 101-115.
- DELFS-SIEMER (1993): Ergebnisse zur Thermotheapie von Eicheln und Bucheckern. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 48 (18), S. 927-930.
- GUTHKE, J. (1992): Langzeitlagerung von Eichensaatgut - Probleme und Möglichkeiten. Dissertation, Universität Hannover.
- GUTHKE, J. und SPETHMANN, W. (1993): Physiological and pathological aspects of long-term-storage of acorns. *Annales Sciences Forestières*, 50 (Suppl.1), pp. 384-387.
- KLEINSCHMIT, J. (1976): Untersuchungen über Fallzeitpunkt und Eichelgewichte bei Stiel- und Traubeneiche. Fortschritte des Forstlichen Saatgutwesens III. *Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung*, Bd.14.,S. 52-63.
- KNUDSEN (1993): Acorns and beechnuts. Handling and storage at the Tree Improvement Station in Denmark. Internationales Symposium über Forstsaatgut 8.-11. Juni 1993, Munster / Uelzen, Proceedings, pp. 131-144.
- LÖFFLER (1986): Mögliche Pflanzenmengen aus einheimischem Saatgut und tatsächlicher Pflanzenbedarf im Vergleich. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 41, S. 611-615.
- SUSZKA und TYLKOWSKI (1980): Storage of acorns of the English oak (*Quercus robur* L.) over 1-5 winters. *Arboretum Kornickie*, 25, pp. 199-229.

# Möglichkeiten und Probleme bei der vegetativen Vermehrung der Eiche

Andreas Meier-Dinkel und Gerhard Elsner

Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Abteilung C -Forstpflanzenzüchtung  
D-34355 Staufenberg-Escherode

**Keywords:** *Quercus*, cutting propagation, root system, tissue culture, micropropagation, maturation, clone, field trial

## Summary

Title of the paper: Practicability of and problems in the vegetative propagation of oak.

In Lower Saxony per year 50,000 to 100,000 oaks are propagated by cuttings in four state forest nurseries. The aim is a continuous plant supply independent of the irregular fructification of seed stands and the poor storage ability of acorns. Investigations on the root systems of 6-9-year-old cuttings showed that the formation of vertical roots is lower as compared to direct seed or undercut seedlings. The main roots of the cuttings showed a clear horizontal growth direction. Investigations on the growth of cuttings in containers are carried out in order to promote the formation of vertical roots.

As in cutting propagation, the age of the ortet material is of great importance in micropropagation of forest trees. The older the mother tree, the lower is the shoot and root regeneration potential of the explants. In oak species the effect of maturation is strongly pronounced and according to the present knowledge hardly reversible. Selected old oak trees can therefore not be propagated by means of tissue culture. Slightly better results can be obtained with explants from the juvenile zone of the trees, *i.e.* basal epicormics or stump sprouts. A large scale propagation with many different genotypes is at present only possible with juvenile starting material as embryos from acorns or shoot tips from very young seedlings. The juvenile shoot cultures have a sufficient multiplication rate, and microcuttings can be rooted at a high percentage. The first field trial with 16 clones of micropropagated oak trees is now seven years old. Results on growth performance and form assessment of different clones are shown in comparison to seedlings and cuttings.

**Schlüsselwörter:** *Quercus*, Stecklingsvermehrung, Wurzelsystem, Gewebekultur, *in vitro*-Vermehrung, Alterung, Klon, Feldversuch

## Zusammenfassung

In Niedersachsen werden in vier Kämpfen jährlich zwischen 50.000 und 100.000 Eichen über Stecklinge vermehrt. Ziel ist eine kontinuierliche Pflanzenversorgung unabhängig von der unregelmäßigen Fruktifikation der Saatgutbestände und der schlechten Lagerungsfähigkeit der Eicheln. Untersuchungen des Wurzelsystems 6-9jähriger Stecklinge ergaben, daß im Vergleich zu Direktsaaten oder unterschnittenen Sämlingen eine geringere Bildung von Senkerwurzeln erfolgt. Die Hauptwurzeln der Stecklinge wiesen eine deutlich horizontale Wuchsrichtung auf. Durch Anzucht in Containern wird versucht, bei Stecklingen die Bildung von senkrechten Wurzeln zu fördern.

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr. 34/1995; 256-274.

Wie bei der Stecklingsvermehrung spielt auch bei der *in vitro*-Vermehrung neben dem Genotyp das Alter des Ausgangsmaterials eine entscheidende Rolle. Je älter der Mutterbaum, desto geringer ist das Sproß- und Wurzelregenerationsvermögen der Explantate. Bei den Eichenarten ist dieser Effekt der Alterung besonders stark ausgeprägt und nach dem heutigen Wissensstand kaum reversibel. Ausgewählte ältere Eichen lassen sich daher in der Regel über Gewebekultur nicht vermehren. Mit Explantaten aus der juvenilen Zone der Bäume, d.h. aus basalen Wasserreisern oder Stockausschlag, können etwas bessere Ergebnisse erzielt werden. Große Pflanzanzahlen von vielen verschiedenen Genotypen lassen sich zur Zeit nur mit juvenilem Ausgangsmaterial, wie Embryonen aus Eicheln oder aus Sproßspitzen sehr junger Sämlinge, herstellen. Diese juvenilen Sproßkulturen weisen ausreichende Vermehrungsraten auf, und Mikrostecklinge bewurzeln sich zu einem hohen Prozentsatz. Die erste Versuchsfläche mit 16 Klonen *in vitro* vermehrter Eichen ist jetzt sieben Jahre alt. Die Ergebnisse der Wuchsleistung und der Formbonitur der einzelnen Klone im Vergleich zu Sämlingen und Stecklingen werden vorgestellt.

## 1. Stecklingsvermehrung

Neben der traditionellen Anzucht von Eichensämlingen wird in Escherode seit 1978 auch die Möglichkeit der Vermehrung durch Stecklinge überprüft. In das Programm sind inzwischen drei weitere Kämpfe der Landesforstverwaltung integriert, welche zusammen jährlich ca. 50.000 bis 100.000 Eichenstecklinge anziehen.

Der Ansatzpunkt für die Entwicklung der Vegetativvermehrung bei Eiche war die Loslösung aus der Abhängigkeit von der unregelmäßigen Fruktifikation der Eichenbestände. Das Verfahren kann jedoch auch dazu verwandt werden, aus der Züchtung hervorgegangenes Ausgangsmaterial zu vermehren. Dieses ist bei älteren Bäumen jedoch nur bedingt möglich, da die Bewurzelungsfähigkeit von Eichentrieben bei steigendem Alter der Mutterbäume sehr schnell abnimmt (SPETHMANN 1986).

Die zur Zeit gültige Fassung des Gesetzes über Forstliches Saat- und Pflanzgut vom 26. Juli 1979 ermöglicht beim Handel mit vegetativem Vermehrungsgut der Eiche den Vertrieb von „Geprüftem Vermehrungsgut“ oder mittels Ausnahmegenehmigung. Nach dem Gesetz zugelassene Klöngemische gibt es zur Zeit nicht und wird es auch in näherer Zukunft nicht geben. Daher sind zur Zeit für den Vertrieb nur Klöngmischungen mit herabgesetzten Anforderungen möglich.

Ziel der bisherigen Versuche der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt war die Entwicklung des Vermehrungsverfahrens zur Praxisreife. Hierbei soll hochwertiges Pflanzgut zu angemessenen Preisen erzeugt werden. Obwohl Stiel- und Traubeneiche anfangs als durch Stecklinge schwer vermehrbare Arten eingestuft wurden, ist das Ver-

fahren inzwischen so weit entwickelt, daß sich durch Wahl geeigneter Mutterpflanzen und geeigneter Anzuchtbedingungen ca. 50% der Eichenstecklinge zu Pflanzen entwickeln, welche anschließend verschult oder unmittelbar auf Fläche gepflanzt werden können. Bei diesen Bewurzelungsergebnissen betragen die Kosten für Eichenstecklinge allerdings noch immer etwa bis zum zweifachen der Kosten entsprechender Sämlinge.

Aktuelles Ziel der Verfahrensentwicklung ist es, die Stecklinge bereits nach einer Vegetationsperiode mit Hilfe von Düngergaben auf eine Größe zu bringen, die ein direktes Auspflanzen auf die Flächen ermöglicht. Somit könnten das Verschulen umgangen und vermutlich die Kosten auf ein im Vergleich zu Sämlingen konkurrenzfähiges Niveau gesenkt werden. Zur Zeit gelingt dieses jedoch nur bei einem Anteil von 0 bis 30% der Pflanzen.

Seit dem Beginn der Stecklingsvermehrung sind zahlreiche Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Anzuchtfaktoren auf Bewurzelungserfolg und Bewurzelungsqualität der Stecklinge durchgeführt worden. Diese Beobachtungen beschränken sich jedoch überwiegend auf die Anzuchtphase und erst in Ansätzen auf die weitere Entwicklung von Stecklingspflanzen auf Versuchsflächen. Die hierfür geeigneten Versuchsflächen wachsen gerade in ein Alter hinein, welches erste aussagekräftige Ergebnisse ermöglicht. Während Beobachtungen der oberirdischen Entwicklung der Pflanze einfach durchzuführen sind, liegen Untersuchungen zur weiteren Wurzelentwicklung vegetativ vermehrter Eichen nach der Pflanzung nur in Anfängen vor.

Die Wurzelentwicklung von Eichenstecklingen wurde von RIEDACKER und BELGRAND (1983) beschrieben. Im Gegensatz zu einer generativ vermehrten Pflanze bilden die Stecklinge weniger orthotrope Wurzeln aus. Die Stecklinge haben in geringerem Umfang als die Sämlinge Senkerwurzeln, da die Steuerung des positiven Geotropismus der Wurzeln wegen der fehlenden Pfahlwurzel, die sich nur aus der Keimlingswurzel entwickeln kann, gestört ist. Nach Wurzelschnitt regenerieren die Pflanzen denselben Wurzelhabitus wie die eingekürzte Ausgangswurzel.

Bei Wurzeluntersuchungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt (SCHÜTE und KIM 1993) an Direktsaaten, gestochenen Sämlingen, 6- bis 9jährigen Stecklingen und *in vitro* vermehrten Eichen konnte ebenfalls eine in diesem Alter gerin-

gere Bildung von Senkerwurzeln sowohl bei Pflanzen aus Stecklingsvermehrung als auch aus *in vitro*-Vermehrung beobachtet werden.

Um die Wurzelsysteme von Stecklingen bewerten zu können, muß ein Vergleich zu dem in der Praxis üblichen Vermehrungsmaterial hergestellt werden.

Über die Baumschulen zu beziehende Sämlinge sind in der Regel unterschritten. Das Unterschneiden hat Vorteile (RÖHRIG 1977), die den Nachteil einer dadurch zerstörten Pfahlwurzel, welche später nicht neu gebildet werden kann, teilweise kompensieren können.

Beim Ausheben eines nicht unterschrittenen Sämlings würde das Durchtrennen der Pfahlwurzel zu einem erheblichen Verlust an Wurzelmasse führen, der nach der Pflanzung zu erhöhten Ausfällen führen kann. Auf jeden Fall reduziert der Verlust an Wurzelmasse den oberirdischen Zuwachs an Biomasse, bis die Pflanze das ursprüngliche Sproß-/Wurzelverhältnis wieder regeneriert hat.

Diese Gefahren werden durch das Unterschneiden minimiert, da es durch den Schnitt zu einer intensiveren Bewurzelung in den verbleibenden Wurzelbereichen kommt.

Ältere Untersuchungen an Wurzelsystemen von Pflanz- und Saateichen (KÖSTLER *et al.* 1968; KREUTZER 1961; BIBELRIETHER 1962) gehen davon aus, daß die Ausprägung der Wurzelsysteme in starkem Maße vom jeweiligen Bodentyp abhängt. Außerdem gleichen sich die anfangs unterschiedlichen Wurzelsysteme ab einem Alter von ca. 30 Jahren an, da bei den Saateichen die Dominanz der Pfahlwurzel nachläßt und sie ebenso wie die gepflanzten Sämlinge ein Herzwurzelsystem ausbilden.

Bei Sämlingen und Stecklingen sind die Unterschiede in den ersten Jahren noch weit gravierender. Abbildung 1 zeigt einen 2jährigen nicht unterschrittenen Sämling, der das für die Eiche typische Pfahlwurzelsystem aufweist. In Abbildung 2 ist eine typische Stecklingspflanze ein Jahr nach der Verschulung zu sehen. Obwohl es sich um ein gut verzweigtes Wurzelsystem handelt, ist die deutlich horizontale Wuchsrichtung der Hauptwurzeln zu erkennen. Unterstützt wird diese Erscheinung allerdings auch durch die Verschulung. Die einseitige Wurzelentwicklung ist auf Wurzelverformungen während des Verschulvorganges zurückzuführen. Diese „Entenfüße“, die auch bei den Pflanzarbeiten ein großes Hindernis sind, kommen allerdings auch bei verschulerten Sämlingen vor

(Abb. 3). Allerdings sind bei diesen Pflanzen deutliche Tendenzen des Wurzelsystems zur Senkerwurzelbildung zu erkennen.

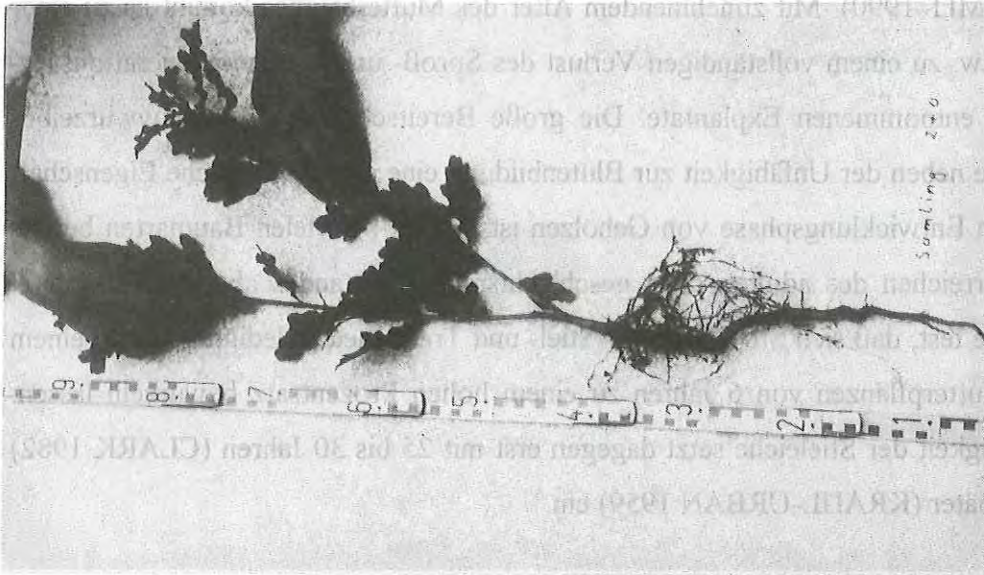
Die Beobachtungen zeigen eindeutig, daß die Verschulung eine negative Auswirkung auf die Form der Wurzelsysteme hat und somit ein weiterer Grund gegeben ist, selbige zu vermeiden.

Aber auch ohne Verschulung unterscheiden sich die horizontal ausgebildeten Wurzelsysteme zumindest in den ersten Jahren deutlich von denen der Sämlingspflanzen, obwohl sie durchaus in der Lage sind, auch im jungen Alter bereits in Einzelfällen Senkerwurzeln auszubilden.

Durch die Verwendung von Containern kann das Wurzelsystem auch bei Eichenstecklingen in der Anzuchtphase deutlich verbessert werden, indem das Wurzelwachstum nach unten gerichtet wird. Nach der Verschulung bzw. Verpflanzung entwickelte sich jedoch bei den bisher untersuchten Pflanzen wieder ein für Stecklinge typisches Wurzelsystem.

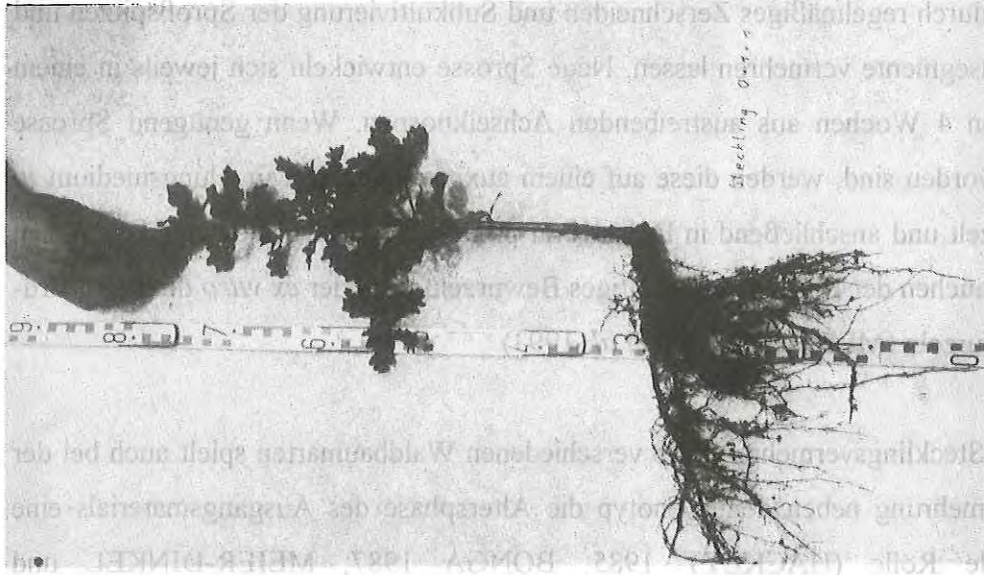
Gerade bei der Eiche, die wegen ihrer starken Wurzelkraft auch auf problematischen Böden angebaut wird, sollte deshalb die Wurzelentwicklung intensiv weiter erforscht werden, bevor die Verwendung von Stecklingen in größerem Umfang empfohlen werden kann.





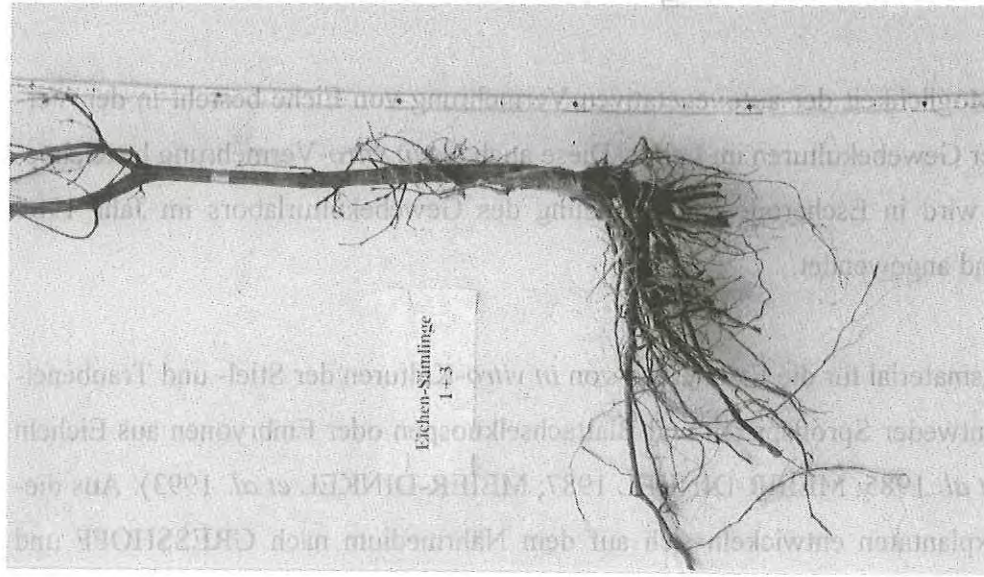
**Abb. 1:** Pfahlwurzel eines 2-jährigen Eichensämlings.

Tap root of a 2-year-old oak seedling.



**Abb. 2:** 2-jähriger verschulter Eichensteckling mit horizontal ausgeprägtem Wurzelsystem.

2-year-old transplanted oak cutting with a root system that is horizontally orientated.



**Abb. 3:** Durch Verschulung deformiertes Wurzelsystem eines 4-jährigen Eichensämlings.

Deformed root system of a 4-year-old oak seedling as a result of transplantation.

## 2. *in vitro*-Vermehrung

Die zweite Möglichkeit der autovegetativen Vermehrung von Eiche besteht in der Vermehrung über Gewebekulturen im Labor. Diese auch als *in vitro*-Vermehrung bezeichnete Methode wird in Escherode seit Gründung des Gewebekulturlabors im Jahr 1984 entwickelt und angewendet.

Als Ausgangsmaterial für die Etablierung von *in vitro*-Kulturen der Stiel- und Traubeneiche dienen entweder Sproßspitzen und Blattachselknospen oder Embryonen aus Eicheln (VIEITEZ *et al.* 1985; MEIER-DINKEL 1987; MEIER-DINKEL *et al.* 1993). Aus diesen Primärexplantaten entwickeln sich auf dem Nährmedium nach GRESSHOFF und DOY (1972) oder dem Woody Plant Medium (LLOYD und McCOWN 1980) Sprosse, welche sich durch regelmäßiges Zerschneiden und Subkultivierung der Sproßspitzen und Sproßachsensegmente vermehren lassen. Neue Sprosse entwickeln sich jeweils in einem Zeitraum von 4 Wochen aus austreibenden Achselknospen. Wenn genügend Sprosse produziert worden sind, werden diese auf einem auxinhaltigen Bewurzelungsmedium *in vitro* bewurzelt und anschließend in Erds substrat pikiert. Die Mikrostecklinge lassen sich auch nach Tauchen der Basis in auxinhaltiges Bewurzelungspuder *ex vitro* direkt im Erds substrat bewurzeln (MEIER-DINKEL *et al.* 1993).

Wie bei der Stecklingsvermehrung der verschiedenen Waldbaumarten spielt auch bei der *in vitro*-Vermehrung neben dem Genotyp die Altersphase des Ausgangsmaterials eine entscheidende Rolle (HACKETT 1985; BONGA 1987; MEIER-DINKEL und KLEINSCHMIT 1990). Mit zunehmendem Alter des Mutterbaumes kommt es zu einer Abnahme bzw. zu einem vollständigen Verlust des Sproß- und Wurzelregenerationsvermögens der entnommenen Explantate. Die große Bereitschaft zur Adventivwurzelbildung, welche neben der Unfähigkeit zur Blütenbildung eine charakteristische Eigenschaft der juvenilen Entwicklungsphase von Gehölzen ist, nimmt bei vielen Baumarten bereits lange vor Erreichen des adulten, also geschlechtsreifen Zustandes ab. SPETHMANN (1986) stellte fest, daß sich Stecklinge der Stiel- und Traubeneiche lediglich bis zu einem Alter der Mutterpflanzen von 6 Jahren zu einem hohen Prozentsatz bewurzeln lassen. Die Blühfähigkeit der Stieleiche setzt dagegen erst mit 25 bis 30 Jahren (CLARK 1982) oder noch später (KRAHL-URBAN 1959) ein.

Bevor adulte Bäume vegetativ vermehrt werden können, müssen Maßnahmen zur Rejuvenilisierung, d.h. zur Umkehr der Phasenalterung, durchgeführt werden. Aufgrund der relativen Stabilität der adulten Entwicklungsphase bei Gehölzen ist ein Rückfall in einen juvenileren Zustand schwer zu erreichen, kann aber unter bestimmten Bedingungen ausgelöst werden (GREENWOOD 1987). Zu den angewendeten Rejuvenilisierungsmethoden gehören neben gärtnerischen Kulturtechniken, wie Pfropfen auf juvenile Unterlagen, wiederholte Stecklingsvermehrung, starkes Zurückschneiden und Behandlung mit Wachstumsregulatoren, auch verschiedene *in vitro*-Kulturtechniken (ZIMMERMAN *et al.* 1985; FRANCKET *et al.* 1987; PIERIK 1990). Bei einigen Laubgehölzen konnten über *in vitro*-Vermehrung juvenile Nachkommen adulter Bäume gewonnen werden, z.B. bei *Malus* (WEBSTER und JONES 1989a, 1989b); *Vitis vinifera* (MULLINS *et al.* 1979), *Prunus avium* (HAMMATT und GRANT 1993) und *Betula*-Hybriden (MEIER-DINKEL 1991).

Bei den Eichenarten sind die negativen Auswirkungen der Phasenalterung auf die vegetative Vermehrung besonders stark ausgeprägt und nach dem heutigen Wissensstand kaum reversibel (MEIER-DINKEL 1993). Ausgewachsene Elitebäume der Stiel- und Traubeneiche lassen sich daher über Gewebekultur nur unter großen Schwierigkeiten und in geringem Umfang vermehren (SAN-JOSÉ *et al.* 1988; CHALUPA 1988; JUNCKER und FAVRE 1989; EVERS *et al.* 1993; BALLESTER und MEIER-DINKEL 1992).

Anstelle einer Entnahme der Explantate aus der adulten Krone der Bäume können auch Explantate aus der juvenilen Zone der Bäume, also aus basalen Wasserreisern oder Stockausschlag, entnommen werden. Sproßkulturen aus diesen Explantaten vermehren sich schneller als entsprechende Kulturen aus Explantaten aus dem Kronenbereich. Die Abhängigkeit der Sproßvermehrung vom Entnahmeort der Explantate am Mutterbaum konnte an speziell manipulierten Versuchsbäumen gezeigt werden (Abb. 4). Bei Eichen mit drei Stämmen, die aus einer Wurzel entspringen, wurde der erste Stamm intakt gelassen, während der zweite und dritte Stamm in Bodennähe bzw. in 1,25 m Höhe abgesägt wurde. Hierdurch konnte die Bildung von Stockausschlag an Stamm II und basalen Wasserreisern an Stamm III ausgelöst werden. Es stand somit juveniles Material (Stockausschlag und basale Wasserreiser) und adultes Material (Krone) desselben Genotyps für Versuche zur Verfügung. Stockausschlagreiser, basale Wasserreiser und Kro-

nenreiser wurden auf Sämlinge gepfropft und die Pflropflinge unter gleichen Umweltbedingungen angezogen. Von den Pflropflingen der drei verschiedenen Reiserarten desselben Genotyps wurden Knospen entnommen und *in vitro* etabliert. Es traten erhebliche Unterschiede im Verhalten der unterschiedlichen Explantate auf. Der Anteil der etablierten, d.h. *in vitro* angewachsenen Explantate war beim Stockausschlag am höchsten, gefolgt von den basalen Wasserreisern, und am niedrigsten bei den Kronenreisern (Abb. 5).

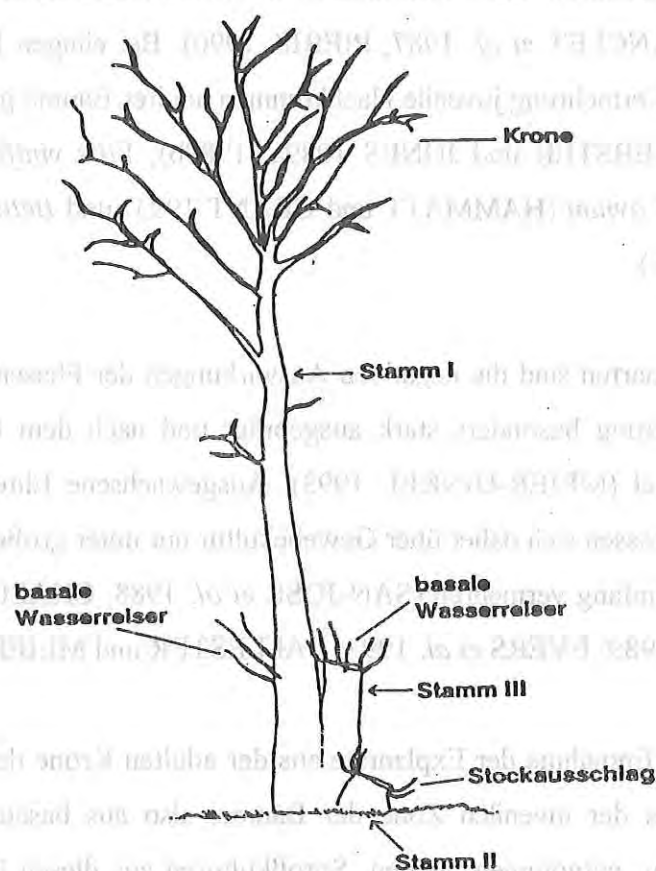


Abb. 4: Schematische Darstellung der Reaktion eines Versuchsaumes mit drei Stämmen im ersten Winter nach dem Fällen von Stamm II und Stamm III (aus MEIER-DINKEL 1993).

Diagram of the response of an experimental tree with three stems in the first winter after felling of stem II and stem III (from MEIER-DINKEL 1993).

Entsprechende Unterschiede blieben auch während der Vermehrungsphase bestehen. Die höchste Sproßvermehrung wiesen die Explantate aus gepfropftem Stockausschlag auf, während die Kulturen aus gepfropften Kronenreisern nur ein sehr geringes Sproßvermehrungspotential zeigten. Das Verhalten der Kulturen aus basalen Wasserreisern nahm eine Mittelstellung ein (Abb. 6).

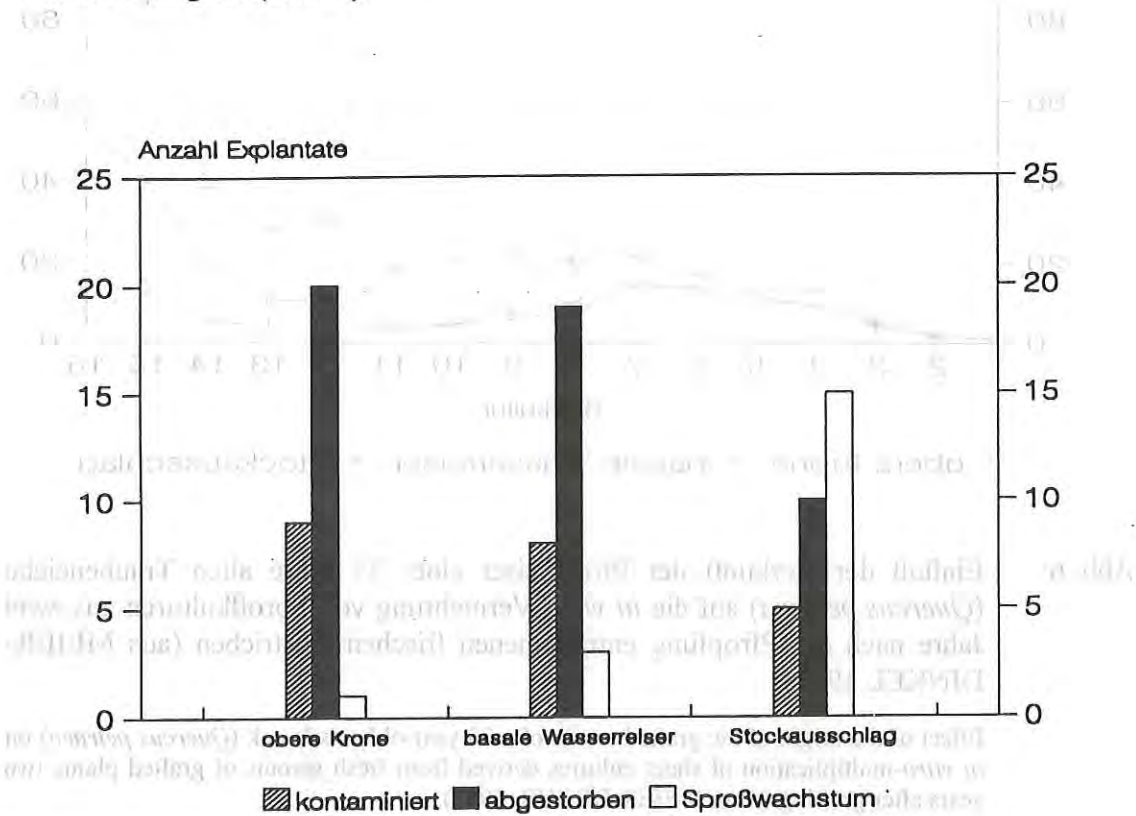


Abb. 5: Einfluß der Herkunft der Pfropfreiser einer 25 Jahre alten Traubeneiche (*Quercus petraea*) auf die *in vitro*-Etablierung von vier Jahre nach der Pfropfung entnommenen Explantaten aus Winterknospen (aus MEIER-DINKEL 1993).

Effect of the origin of the grafted scions of a 25-year-old sessile oak (*Quercus petraea*) on *in vitro*-establishment of explants from dormant winter buds four years after grafting (from MEIER-DINKEL 1993).

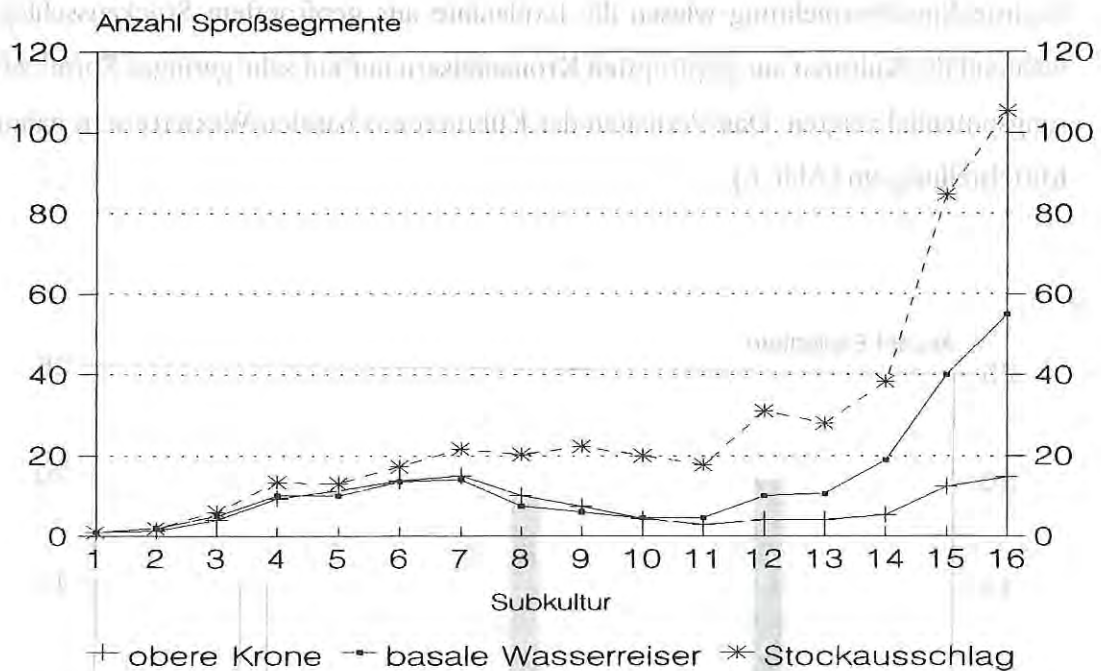


Abb. 6: Einfluß der Herkunft der Pfropfreiser einer 25 Jahre alten Traubeneiche (*Quercus petraea*) auf die *in vitro*-Vermehrung von Sproßkulturen aus zwei Jahre nach der Pfropfung entnommenen frischen Austrieben (aus MEIER-DINKEL 1993).

Effect of the origin of the grafted scions of a 25-year-old sessile oak (*Quercus petraea*) on *in vitro*-multiplication of shoot cultures derived from fresh sprouts of grafted plants two years after grafting (from MEIER-DINKEL 1993).

Die Ergebnisse der beschriebenen Versuche zeigen, daß altersphasenabhängige Eigenschaften wie die vegetative Regenerationsfähigkeit bei den Eichen sehr stabil sind. Unterschiede zwischen adulten Knospen aus der Krone und juvenilen Knospen von Stockausschlag waren nach Pfropfung auf juvenile Sämlinge und anschließender Überführung und Subkultivierung über 1½ Jahre *in vitro* noch beständig. Eine Rejuvenilisierung durch *in vitro*-Subkultivierung, wie sie bei anderen Laubbaumarten erreicht werden kann, ist bei Eiche bisher nicht möglich. Da ausgewählte Eliteeichen in der Regel wasserreiserfrei sind bzw. nicht zur Induzierung von Stockausschlag gefällt werden können, steht dieses Material praktisch nicht zur Verfügung.

Eine große Zahl genotypengleicher juveniler Nachkommen könnte in Zukunft über die Erzeugung somatischer Embryonen an Blütengewebe blühfähiger adulter Eichen erzeugt

werden. Pflanzen, die über somatische Embryogenese aus diploiden Körperzellen entstehen, haben den Vorteil, daß sie nach dem heutigen Wissensstand ontogenetisch vollständig juvenil sind (BOULAY 1987; von ARNOLD 1991). JÖRGENSEN (1991) gelang die Regeneration somatischer Embryonen aus Antherenwandkallus von *Quercus petraea*. Eine weitere Vermehrung der Embryonen über sekundäre Embryobildung ist unproblematisch. Schwierigkeiten bestehen bei der Konversion der Embryonen in Pflanzen, d.h. dem Auskeimen des Sproß- und Wurzelpols. Auf diesem Gebiet besteht Forschungsbedarf. Zudem gelang die somatische Embryogenese bisher nur bei einzelnen Genotypen.

Große Pflanzenzahlen von vielen verschiedenen Genotypen lassen sich bei Eiche über *in vitro*-Kulturen nur mit juvenilem Ausgangsmaterial herstellen. Geeignete Explantate sind Embryonen aus Eicheln, welche kurz vor dem Samenfall geerntet werden, und Sproßspitzen wenige Wochen alter, im Gewächshaus angezogener Sämlinge. Die Vorteile der vegetativen gegenüber der generativen Vermehrung können bei diesem Weg jedoch nur genutzt werden, wenn genetisch besonders hochwertiges und knappes Saatgut verwendet wird. Für unsere Versuche stehen Pfropflinge ausgewählter Plusbäume der „Münsterländer Späteiche“ (*Quercus robur*) zur Verfügung. Diese Pfropflinge stehen in Containern in einem Folienhaus, um eine gegenseitige Befruchtung zu gewährleisten. Außerdem wird durch den begrenzten Wurzelraum und erhöhte Temperaturen die Blühfähigkeit gefördert.

Eicheln wurden von 8 gepfropften Bäumen geerntet. Nach der Oberflächensterilisation wurden die Samenschalen entfernt und insgesamt 91 vollständige Embryonen auf GRESSHOFF und DOY (GD)-Medium mit 0,5 mg/l Benzylaminopurin (BAP) aufgesetzt. Die Eicheln begannen nach wenigen Tagen zu keimen. Außer dem Hauptsproß entwickelten sich in vielen Fällen aus den Achselknospen der Kotyledonen zwei Seitensprosse. Die Sprosse wurden nach etwa vier Wochen abgeerntet und zur weiteren Vermehrung auf GD-Medium mit 0,2 mg/l BAP subkultiviert. Die „Eicheln“ mit der Keimwurzel wurden zu diesem Zeitpunkt verworfen. Nach zwei Monaten waren 84 von 91 Klonen (92%) *in vitro* etabliert. 6 Eicheln (7%) waren nicht gekeimt und 1 Eichel war kontaminiert.

Die durchschnittlichen Vermehrungsraten über 7 bis 11 Subkulturen der einzelnen Klone lagen klonabhängig zwischen 1,4 und 3,4 bei einem Mittelwert von 2,1. Insgesamt 4.757 Mikrostecklinge wurden auf 1/3-konzentriertem MS-Medium (MURASHIGE und SKOOG 1962) mit 0,2, 0,5 oder 1,0 mg/l 3-Indolylbuttersäure (IBS) bewurzelt. Die durchschnittlichen Bewurzelungsraten mehrerer Einzelversuche mit 25 Klonen lagen klonabhängig zwischen 6% und 92% bei einem Gesamtwert von 60% (Tab. 1). Nach etwa 2 Wochen auf dem Wurzelinduktionsmedium wurden sowohl die bewurzelten als auch die unbewurzelten Mikrostecklinge in Erds substrat pikiert und in einem Glasgewächshaus unter einem Folientunnel bei hoher Luftfeuchtigkeit kultiviert. Die Überlebensraten nach der Überführung in Erde, bezogen auf die anfänglich auf Bewurzelungsmedien gebrachte Anzahl Mikrostecklinge, lagen zwischen 35% und 99% bei einem Gesamtwert von 80%. Insgesamt hatten sich demnach 20% der Mikrostecklinge noch nach der Überführung in Erde bewurzelt. Der Anteil der in Erde angewachsenen Pflänzchen stand nicht in direktem Zusammenhang mit der Bewurzelungsrate *in vitro* (Abb. 7). Sowohl eine niedrige als auch eine hohe Bewurzelungsrate konnte zu einer hohen Ausbeute an Pflanzen führen.

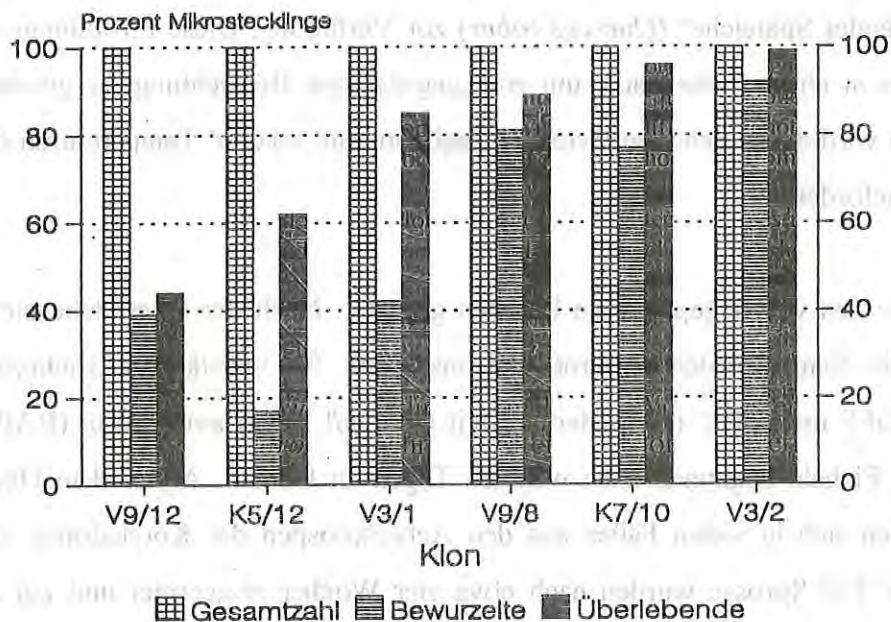


Abb. 7: *in vitro*-Bewurzelung und Überleben in Erde von Mikrostecklingen von 6 Klonen der "Münsterländer Späteiche" (*Quercus robur*).

*in vitro*-rooting and survival in soil of micro-cuttings from six clones of late-flushing pedunculate oak (*Quercus robur*).



Tab. 1: Ergebnisse der *in vitro*-Bewurzelung und Überführung in Erde von 5 Klonen der „Münsterländer Späteiche“ (*Quercus robur*).

Results of *in vitro*-rooting and transfer to soil of 25 clones of late-flushing pedunculate oak „Münsterländer Späteiche“ (*Quercus robur*).

Klon	Gesamtzahl Mikrostecklinge	Bewurzelte Mikrostecklinge		Überlebende Pflanzen in Erde	
		Anzahl	%	Azahl	%
K 5/1	95	57	60	56	59
K 5/2	132	94	71	110	83
K 5/8	74	28	38	57	77
K 5/10	93	41	44	83	89
K 5/12	186	31	17	115	62
K 7/1	169	74	44	135	80
K 7/2	235	165	70	221	94
K 7/6	173	122	71	160	92
K 7/9	250	131	52	233	93
K 7/10	196	150	77	189	96
K 10/1	117	35	30	92	79
K 10/2	205	116	57	125	61
K 11/4	307	137	45	228	74
K 11/5	68	4	6	35	51
V 3/1	304	129	42	259	85
V 3/2	300	248	92	297	99
V 9/2	140	118	84	126	90
V 9/3	201	156	78	178	89
V 9/8	266	215	81	238	89
V 9/10	127	56	44	45	35
V 9/12	308	119	39	134	44
V 13/1	90	57	63	70	78
V 13/2	284	257	90	269	95
V 13/8	218	141	65	191	88
V 13/10	219	159	73	180	82
Summe	4.757	2.840	60	3.826	80
Spanne		6 - 92%		35 - 99%	

Die Ergebnisse der Aufnahme des ersten Feldversuches mit *in vitro* vermehrten Eichenklonen, Sämlingen und einem Stecklingsgemisch nach 6 Jahren zeigen, daß zwischen einigen der geprüften 16 Klone signifikante Unterschiede in der Höhenwuchsleistung bestehen. Die Bäume des schlechtesten Klons waren nur 100 cm groß. Die Mittelwerte der übrigen Klone lagen zwischen 211 cm (zweitschlechtester Klon) und 334 cm (bester Klon). Der Mittelwert für 13 Stieleichenklone (ohne den schlechtesten Klon) lag bei 279 cm. Die Mittelwerte der Stiel- und Traubeneichensämlinge lagen mit 283 cm und

273 cm im gleichen Bereich, während der Mittelwert der Stecklinge mit 252 cm etwas niedriger war (Abb. 8). Große Unterschiede traten bei den Ausfällen innerhalb der Klone und zwischen dem Mittelwert der Klone und dem der Stecklinge auf (Tab. 2). Die Ausfälle der 13 Stieleichensklone lagen zwischen 2,5% und 52% bei einem Mittelwert von 16,1%. Die Ausfälle der Stieleichensämlinge betragen 20,8%, während bei den Stecklingen insgesamt 50,9% der Pflanzen ausfielen.

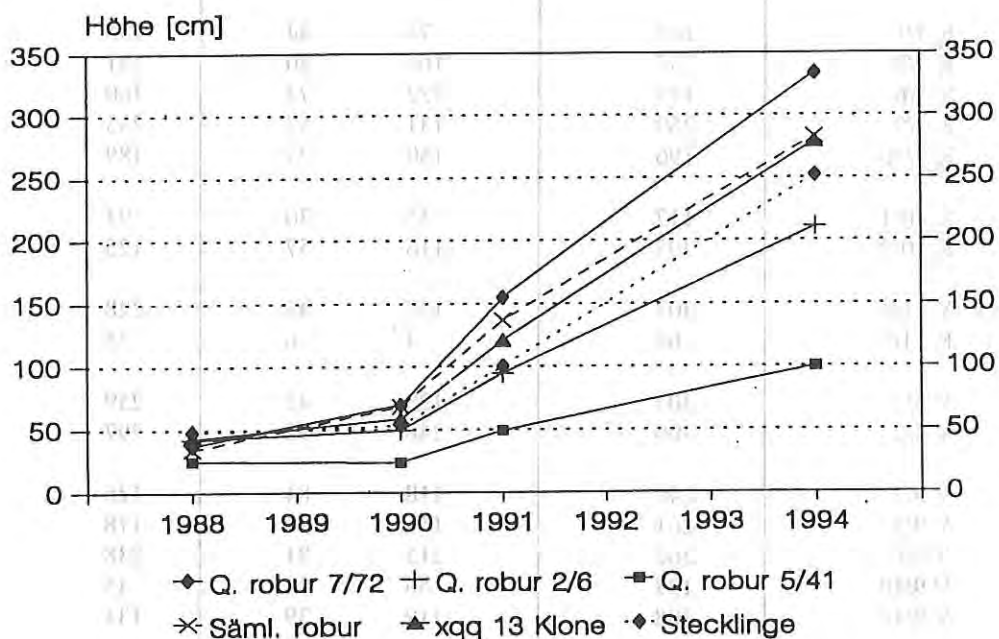


Abb. 8: Höhenwachstum von *in vitro* vermehrten Pflanzen, Sämlingen und Stecklingen im Feldversuch.

Height growth of micropropagated plants, seedlings, and cuttings in a field trial.

Die Formbonitur ergab einen Anteil von Zwieseln für die *in vitro* vermehrten Klone, die Stieleichensämlinge und die Stecklinge von 4,8%, 16,3% bzw. 15,5%. Der Anteil an geraden Bäumen mit Terminaltrieb lag bei 92,8%, 81,3% bzw. 82,1%. Die Bäume der Klone haben demnach eine deutlich bessere Form als die der Sämlinge und der Stecklinge, welche sich nicht unterscheiden.

Tab. 2: Ergebnisse eines Feldversuches mit *in vitro* vermehrten Eichenklonen, Sämlingen und einem Stecklingsgemisch. Die Stieleichenklone stammten von Sproßspitzen junger Sämlinge ab. Der Stockausschlag stammte von einem gefällttem 5jährigen Baum.  
 Results of a field trial with micropropagated oak clones, seedlings, and a mixture of cuttings. The clones of pedunculata oak derived from shoot tips of young seedlings. The stump sprouts were taken from a stump of a 55-year-old tree.

Material	Anzahl Bäume 1994	Ausfälle 1989 - 1994	Höhe in cm ± Standardfehler			
			1988	1990	1991	1994
Quercus robur Klon 7/72	200	7,8%	37 ± 1	69 ± 2	155 ± 3	334 ± 4
Quercus robur Klon 1/71	39	2,5%	58 ± 3	63 ± 3	128 ± 6	304 ± 8
Quercus robur Klon 2/6	49	52,0%	42 ± 1	49 ± 2	94 ± 6	211 ± 11
Quercus robur Klon 5/41	35	36,4%	25 ± 1	24 ± 1	49 ± 3	100 ± 6
Quercus Stockausschlag 1	40	13,0%	30 ± 2	49 ± 2	104 ± 5	244 ± 8
Mittelwert 13 Klone	1.125	19,3%	43	58	121	279
Quercus robur Sämlinge	80	20,8%	34 ± 1	68 ± 2	137 ± 3	283 ± 6
Quercus petraea Sämlinge	113	1,8%	33 ± 1	60 ± 3	123 ± 3	273 ± 5
Stecklinge (gesteckt 1986)	670	50,9%	48 ± 1	53 ± 1	100 ± 16	252 ± 2

### 3. Literatur

- ARNOLD, S. von (1991): Current status of tissue culture methodologies for vegetative regeneration of forest trees. *In: International Symposium on Applications of Biotechnology to Tree Culture, Protection, and Utilization*. Haissig, B.E.; Kirk, T.K.; Olsen, W.L.; Raffa, K.F. and Slavicek, J.M. (eds.), *Northeast Experimental Station, General Technical Report, NE-152*, pp. 9-13.
- BALLESTER, A. and MEIER-DINKEL, A. (1992): Micropropagation of *Quercus* species. *In: COST 87: Micropropagation of Betula and Quercus*. Initial Reports of the Woody Plant Working Group, O'Riordáin, F. (ed.), Commission of the European Communities, Brüssel, pp. 39-75.
- BIBELRIETHER, H. (1962): Wurzeluntersuchungen an Tannen und Eichen in Mittelschwaben. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 81, S. 230-248.
- BONGA, J.M. (1987): Clonal propagation of mature trees: Problems and possible solutions. *In: Cell and Tissue Culture in Forestry*, Vol. 2, Bonga, J.M. and Durzan, D.J. (eds.), Martinus Nijhoff, Dordrecht, Boston, Lancaster, pp. 249-271.
- BOULAY, M. (1987): *In vitro* propagation of tree species. *In: Plant, Tissue and Cell Culture*. Plant Biology, Vol. 3, Green, C.E., Somers, D.A., Hackett, W.P. and Biesboer, D.D. (eds.), Alan R. Liss, New York, pp. 367-382.
- CHALUPA, V. (1988): Large Scale Micropropagation of *Quercus robur* L. Using Adenine-Type Cytokinins and Thidiazuron to Stimulate Shoot Proliferation. *Biologia Plantarum*, 30(6), pp. 414-421.
- CLARK, J.R. (1982): Juvenility and plant propagation. *Proceedings of the International Plant Propagators' Society 1981*, 31, pp. 449-453.
- EVERS, P., VERMEER, E. and VAN EEDEN, S. (1993): Rejuvenation of *Quercus robur*. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 330s-335s.
- FRANCLET, A., BOULAY, M., BEKKAOUI, F., FOURET, Y., VERSCHOORE-MARTOUZET, B. and WALKER, N. (1987): Rejuvenation. *In: Cell and Tissue Culture in Forestry*, Vol. 1, Bonga, J.M. and Durzan, D.J. (eds.), Martinus Nijhoff, Dordrecht, Boston, Lancaster, pp. 232-248.
- GREENWOOD, M.S. (1987): Rejuvenation of forest trees. *Plant Growth Regulation*, 6(1-2), pp. 1-12.
- GRESSHOFF, P.M. and DOY, C.H. (1972): Development and differentiation of haploid *Lycopersicon esculentum* (Tomato). *Planta*, 107, pp. 161-170.
- HACKETT, W.P. (1985): Juvenility, Maturation, and Rejuvenation in Woody Plants. *Horticultural Reviews*, 7, pp. 109-155.

- HAMMATT, N. and GRANT, N.J. (1993): Apparent Rejuvenation of Mature Wild Cherry (*Prunus avium* L.) during Micropropagation. *Journal of Plant Physiology*, 141, pp. 342-346.
- JÖRGENSEN, J. (1991): Somatic embryogenesis in *Aesculus hippocastanum* and *Quercus petraea* from old trees (10 to 140 years). In: Woody Plant Biotechnology, Ahuja, M.R. (ed.), Plenum Press, New York, pp. 351-352.
- JUNCKER, B. and FAVRE, J.M. (1989): Clonal effects in propagating oak trees via *in vitro* culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 19(3), pp. 267-276.
- KÖSTLER, J.N., BRÜCKNER, E. und BIBELRIETHER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 143-152.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, 288 S.
- KREUTZER, K. (1961): Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 80, S. 356-392.
- LLOYD, G. and McCOWN, B. (1981): Commercially feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture. *Proceedings of the International Plant Propagators' Society 1980*, 30, pp. 421-427.
- MEIER-DINKEL, A. (1987): *In vitro* Vermehrung und Weiterkultur von Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 158(11/12), S. 199-204.
- MEIER-DINKEL, A. (1991): Recovery of juvenile characteristics through *in vitro* propagation of mature fast-growing birch hybrids. In: Woody Plant Biotechnology, Ahuja, M.R. (ed.), IUFRO and NATO Workshop, 15-19 Oct. 1989, Placerville, California, Plenum Press, New York, pp. 345-346.
- MEIER-DINKEL, A. (1993): Untersuchungen zur Phasenalterung und zur In-vitro-Vermehrung von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* (Matt. Liebl.). In: Beiträge zur In-vitro-Vermehrung und Wurzelentwicklung von Stiel- und Traubeneiche sowie zur Erhaltung forstlicher Genressourcen, Meier-Dinkel, A., Schüte, G., Kim, T.S. und Kleinschmit, J. (Hrsg.), *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 111, J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt, S. 7-157.
- MEIER-DINKEL, A.; BECKER, B. und DUCKSTEIN, D. (1993): Micropropagation and *ex vitro* rooting of several clones of late-flushing *Quercus robur* L. *Annales des Sciences Forestières*, 50 (Suppl. 1), pp. 319s-322s.
- MEIER-DINKEL, A. and KLEINSCHMIT, J. (1990): Aging in tree species: Present knowledge. In: Plant Aging, Basic and Applied Approaches, Rodriguez, R., Sánchez Tamés, R. and Durzan, D.J. (eds.), Plenum Press, New York, pp. 51-63.

- MULLINS, M.G., NAIR, Y. and SAMPET, P. (1979): Rejuvenation *in vitro*: Induction of juvenile characters in an adult clone of *Vitis vinifera* L. *Annals of Botany*, 44: 623-627
- MURASHIGE, T. and SKOOG, F. (1962): A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, pp. 473-497.
- PIERIK, R.L.M. (1990): Rejuvenation and micropropagation. *In*: Progress in plant cellular and molecular biology, Nijkamp, H.J.J., Plas, L.H.W. van der and Aartrijk, J. van (eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 91-101.
- RIEDACKER, A. and BELGRAND, M. (1983): Morphogenesis of root systems of seedlings and cuttings of *Quercus robur* L.. *Plant and Soil*, 71, pp. 131-146.
- RÖHRIG, E. (1977): Wurzelschnitt an Eichensämlingen. *Forstarchiv*, 48, S. 25-28.
- SAN-JOSÉ, M.C., BALLESTER, A. and VIEITEZ, A.M. (1988): Factors affecting *in vitro* propagation of *Quercus robur* L. *Tree Physiology* 4(3), pp. 281-290.
- SCHÜTE, G. and KIM T.S. (1993): Vergleichende Wurzeluntersuchungen an Stecklingen, *in vitro* vermehrten Pflanzen, Direktsaaten und Sämlingen der Stiel- und Traubeneiche, *Schriften der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 111, J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt, S. 159-177.
- SPETHMANN, W. (1986): Stecklingsvermehrung von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). *Schriften der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt, Band 86, 99 S.
- VIEITEZ, A.M., SAN-JOSÉ, M.C. and VIEITEZ, E. (1985): *In vitro* plantlet regeneration from juvenile and mature *Quercus robur* L.. *Journal of Horticultural Science*, 60(1), pp. 99-106.
- WEBSTER, C.A. and JONES, O.P. (1989a): Effects of sustained subculture on apparent rejuvenation of the apple rootstock M.9 *in vitro* and *in vivo*. *Annales des Sciences Forestières*, (46) suppl. Forest Tree Physiology, pp. 187s-189s.
- WEBSTER, C.A. and JONES, O.P. (1989b): Micropropagation of the apple rootstock M.9: effect of sustained subculture on apparent rejuvenation *in vitro*. *Journal of Horticultural Science*, 64(4), pp. 421-428.
- ZIMMERMAN, R.H., HACKETT, W.P. and PHARIS, R.P. (1985): Hormonal aspects of phase change and precocious flowering. *In*: Encyclopedia of Plant Physiology: Hormonal Regulation of Development III, New Series, Vol. 11, Pharis, R.P. and Reid, D.M. (eds.), Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, pp. 79-115.

# Langzeitlagerung von Eichen-Sproßkulturen

Karl Gebhardt und Ursula Frühwacht-Wilms

Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung,  
Waldforschung und Waldökologie  
Abt. Genressourcen  
D-34346 Hann.-Münden

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, micropropagation,  
long-term storage, gene conservation

## Summary

Title of the paper: Long-term storage of oak shoot tip cultures.

Shoot tip cultures of adult oaks were established using winter buds from epicormic shoots, stump sprouts and grafted shoots. They were preserved for more than six years by continuous subculture. Techniques of growth reduction by cold storage and by use of chemicals were tested. In order to compare the effect of basal callus at shoot tips, the effects of genotype, media and duration of storage, the changes in biomass, height growth, resprouting ability, viability and multiplication rate were monitored, and the data obtained were subjected to statistical analysis. Duration of subculture period proved to be the dominating factor. Prolonging storage of shoot tip cultures more than 30 weeks resulted in a markable decrease of vitality. This effect was diminished if rooted shoots were used in cold storage. It was possible to store small shoot tips in 2-ml-plastic vials for more than 12 months at low temperatures (4 °C) successfully if they remained free of endophytes. By the use of cooled benches the damage caused by vitrification of shoots was prevented.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Mikrovermehrung,  
Langzeitlagerung, Generhaltung

## Zusammenfassung

Sproßspitzenkulturen adulter Eichen wurden mit Winterknospen von Wasserreisern, Stockausschlägen und Veredlungen etabliert. Sie wurden über mehr als sechs Jahre durch kontinuierliche Subkultur erhalten. Techniken der Kühlung und die chemischen Wachstumsreduktion wurden erprobt. Um die Effekte der basal anhaftenden Kalluszellen, den Effekt des Genotyps, des Mediums und der Lagerdauer vergleichen zu können, wurden Veränderungen der Biomasse, Austriebsbereitschaft, Lebensfähigkeit und Vermehrungsrate erfaßt und mit statistischen Methoden bewertet. Die Dauer der Subkulturperioden erwies sich als dominierender Faktor. Eine Verlängerung der Lagerzeit über 30 Wochen verminderte die Vitalität der Kulturen. Die Verluste waren bei Verwendung bewurzelter Sprosse zur Kühlung am geringsten. Bei Verwendung von 2-ml-Plastikgefäßen war es möglich, kleinste Sproßspitzen über einen Zeitraum von 12 Monaten hinaus bei niederen Temperaturen (4 °C) erfolgreich zu lagern, wenn sie frei von Endophyten blieben. Durch die Verwendung von Kühlregalen wurden Verluste infolge Vitrifikation der Sprosse vermieden.

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz. Nr. 34/1995; 275-296.

# 1. Einleitung

Genkonservierung mit Sproßkulturen sollte sowohl auf die Erhaltung von Wildpopulationen als auch auf die Erhaltung züchterisch wertvollen Materials ausgerichtet sein. Ohne Konservierungs-Strategie kann der Züchter die durch die Evolution hervorgebrachte natürliche Vielfalt einer Baumart nicht nutzen. Erkennbar und züchterisch interessant wird diese Vielfalt jedoch häufig erst im fortgeschrittenen Alter. Aus Nachkommenschaftsprüfungen bei Eiche läßt sich abschätzen, daß sich individuelle Eigenschaften erst mit Überschreiten eines Alters von 30 Jahren stabilisiert haben. Genkonservierung ist dann am effektivsten, wenn es gelingt, adultes Material einzubeziehen (GEBHARDT *et al.* 1993).

Tab. 1: Herkunft der Eichensproßkulturen (Population I: FA Wolfgang; Population II: FA Gahrenberg; Population III: FA Bad Soden-Salmünster; Population IV: FA Kaufungen) Selektionskoeffizient (geschätzt) u. Etablierungserfolg (Effizienz in %).

Origin of oak shoot cultures (population I: forest district Wolfgang; population II: forest district Gahrenberg; population III: forest district Bad Soden-Salmünster; population IV: forest district Kaufungen) selection coefficient (estimated) and establishing success (efficiency in %).

Population Knospenquelle	Größe* #Alter	Sel. Bäume Sel.-Koeff.	Etabliert Effizienz
<i>Q. robur</i> Population I Veredlung	39 000 27 Jahre	25 0.06 %	14 56 %
Population II Reiser	-- ** 135 Jahre	8 --	1 12.5 %
<i>Q. petraea</i> Population III Veredlung	27 000 10 Jahre	24 0.09 %	9 37.5 %
Population IV Stockausschlag	25 000 40 Jahre	20 0.08 %	9 45 %

\* Schätzwert; \*\* Mischbestand; # Alter der Population im Jahr 1991

Kontinuierlich proliferierende Sproßspitzenkulturen wurden mit Eichenknospen aus drei Beständen im Alter von 10, 27 und 40 Jahren gewonnen (siehe Tab. 1). Bei dem 40jährigen Bestand konnten Stockausschläge verwandt werden (GEBHARDT *et al.* 1991). Zusätzlich konnten durch Verwendung von Wasserreisern auch drei mehrhundert-



jährige Eichen etabliert werden. Davon wurde der Genotyp Eiche 1 auch für Lagerungsversuche verwandt.

Ziel der Lagerung von Sproßkulturen ist die Bereitstellung von vegetativem Vermehrungsgut zur Kompensation von Vermehrungsengpässen, die in Jahren geringer Mast, bei immissionsbedingten Fertilitätsstörungen und bei Nachfrage nach seltenen Vorkommen, wie beispielsweise spätblühenden Traubeneichen oder Eichenhybriden, entstehen.

Langzeitgelagerte Sproßkulturen sind einem Mutterquartier zur Stecklingsgewinnung in der Baumschule vergleichbar, welches allerdings aus Genotypen bestehen kann, die konventionell noch nicht vermehrbar sind und viele zusätzliche Vorteile in der Handhabung bieten. So weist MEIER-DINKEL (1990) darauf hin, daß in einem Kühlraum pro m<sup>2</sup> Regalfläche 100 Klone in 200 Gefäßen gelagert werden können. Im Freiland würde für die Erhaltung von 100 Klonen bei einem Pflanzverband von 5 x 5 m und 10 Pflanzen pro Klon eine Fläche von 2,5 ha benötigt. Die in der Langzeitlagerung *in vitro* befindlichen Klone können jahreszeitlich unabhängig aus der Lagerung geholt und nach einer relativ kurzen Phase der Revitalisierung in eine Phase hoher Teilungsaktivität gebracht werden. Die meisten Gefahren des Untergangs des Pflanzenmaterials (Verbiß, Schädlinge, Pathogene, Frost, Sturm, Pflanzenkonkurrenz) sind unter Bedingungen *in vitro* auszuschließen oder minimierbar.

Da derzeit die Lagerung von meristematischen Geweben verholzender Pflanzen in Flüssigstickstoff noch wenig erprobt ist (WITHERS *et al.* 1990), sollten Bedingungen gesucht werden, die eine Reduzierung des Wachstums von *in vitro* Kulturen erlauben. Die Kulturen, die normalerweise monatliche Übertragung auf neues Medium benötigen, sollten mit verschiedenen Behandlungen so im Wachstum verlangsamt werden, daß eine Behandlung in größeren Intervallen und damit eine Reduktion der Kontaminationsgefahr und der Gefahr genetischer Instabilität ermöglicht wird. Einschlägige Erfahrungen zur *in vitro* Langzeitlagerung bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt und unter Kurztagsbedingungen existieren für verschiedenste verholzende Pflanzenarten (siehe AITKEN-CHRISTIE; SINGH 1987).

## 2. Material und Methoden

Die Etablierung von Sproßspitzenkulturen erfolgte in Anhalt an die bei GEBHARDT *et al.* (1991) beschriebenen Methoden mit den in Tab. 1 näher beschriebenen Genotypen.

### 2.1 Sproßspitzeneinlagerung bei niedrigen Temperaturen

#### 2.1.1 Eignung von Sproßspitzen ohne und mit basalem Kallusansatz

Der Versuch sollte klären, wie Sproßspitzen von Eichensproßkulturen auf unterschiedliche Lagerbedingungen (Temperatur, Medien, Lagerdauer) reagieren und wie sich der Kallus an der Sproßbasis auf die Lagerfähigkeit auswirkt. Es wurden unbewurzelte Sproßspitzen (Terminale mit 2-3 ausgebildeten Blättern) ohne und mit Kallusansatz verwendet.

Temperaturstufen: 4-10-15 °C

Versuchsmedien: GD (0,5 ppm BAP), WPM (0,5 ppm BAP);

Lagerungszeiträume: a) 8-20-52 Wochen: E.AD., E.44.2

b) 8-32-52 Wochen: E.K., A.O., Eiche 1

Versuchsumfang: n = 450, bei Sproßspitzen ohne Kallus

n = 231, bei Sproßspitzen mit Kallus

**Genotypen x Medien x Temperaturstufen x Zeiträume x Wiederholungen**

5(4) x 2 x 3 x 3 x 5

Versuchsgefäße: PE-Röhrchen mit Schraubdeckel

Weck-Glas mit Zellstoffring

Lichtregime: 12-h Licht (ca. 500 Lux) bei Lagerung, Temp. s.o.  
16-h Licht (ca. 1.500 Lux), 26 °C nach Lagerung  
Leuchtstoffröhren, Universalweiß

Versuchsdurchführung:

Die Einlagerung erfolgte ca. 10-14 Tage nach der Subkultivierung. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte bereits die Bildung von Kallus an der Schnittstelle eingesetzt.

Vor der Lagerung wurde die Masse der Sproßspitzen bestimmt. Zur Beurteilung des Zuwachses bzw. der Abnahme erfolgte nach Beendigung der Lagerperiode ebenfalls eine Massenbestimmung. Außerdem wurden die Merkmale „Sproßlänge“, „Sproßzustand“ und „Anzahl der Triebe“ zur Charakterisierung des Wuchsverhaltens bonitiert. Zur Beurteilung des Regenerationsvermögens erfolgte bei den Versuchsgliedern mit einer maximalen Lagerungsdauer von 32 Wochen zweimal in vierwöchigem Abstand ein Medienwechsel (üblicher Turnus), wobei das Versuchsmedium beibehalten wurde. Dabei wurden jeweils die Massenbestimmungen und Bonituren durchgeführt. Am Ende der zweiten Subkultur wurde die Vermehrungsrate bestimmt. Bei den Versuchsgliedern mit 52 Wochen Lagerungszeit wurde nach der ersten Regenerationsphase die Lagerung fortgesetzt.

## 2.2 Lagerung bewurzelter Eichensprosse

Versuchsmaterial: *Q. petraea*; bewurzelte Sprosse der  
Genotypen: E.K (12), A.O (10), E.1 (2)

Das eingelagerte Material stammte aus einem Bewurzelungsversuch verschiedener Genotypen auf einem 2-Schicht-Medium. Die Wurzelbildung erfolgte innerhalb von 4-6 Wochen. Gleichzeitig streckte sich der Sproß bei guter Blattentwicklung.

## Medien:

### 1. Bewurzelungsmedium

#### a) vor der Lagerung, 2-Schicht-Medium:

obere Schicht: GD-Medium nährstoffreduziert (1/2 konz. Makro- u. Mikroelemente, 0,5 mg/l BA, 1 mg/l IBA, 3 g/l Aktivkohle, pH 5,7)

untere Schicht: GD-Medium, 0,5 mg/l BA, pH 7

#### b) nach der Lagerung

GD-Medium + 0,5 mg/l BA, 3 g Aktivkohle/l, pH 5,7

### 2. Kulturmedium:

GD-Medium + 0,5 mg/l BA, pH 5,7

Kulturbedingungen: 26 °C, gekühltes Regal, 16-h Tag

### Versuchsdurchführung:

Die bewurzelten Sprosse wurden 4 Monate gelagert und anschließend zur Prüfung der Revitalisierung in Kulturbedingungen überführt. Hierfür wurden sie mit Wurzeln in Kulturmedium (GD-Medium mit 0,5 mg/l BA) umgesetzt, nach 4 Wochen bonitiert und ein weiteres Mal subkultiviert.

## 2.3 Wachstumsreduzierung unter Kulturbedingungen

### 2.3.1 Behandlung mit Abszissinsäure (ABA)

Versuchsmaterial: *Q.petraea*; Klon E.K, je 6 Sproßspitzen pro Behandlung

a) Sproßspitzen direkt nach dem Schneiden

b) Sproßspitzen mit Kalluszellen an der Sproßbasis

## Versuchsmedien:

1. Kulturmedium: WPM-Medium mit 0,5 mg/l BAP
2. Kulturmedium + 0,025 ppm ABA
3. Kulturmedium + 0,250 ppm ABA
4. Kulturmedium + 2,500 ppm ABA

## 2.4 Prüfung osmotisch aktiver Substanzen als Wachstumshemmer

Als Wachstumshemmer wurden Polyethylenglykol (PEG), Molekulargewicht 4.000 (Merck 807490), Sorbitol (Merck 7759) und Mannitol (Merck 5987) verwendet.

Versuchsmaterial: *Q. petraea*, Klon E.AD, je 6 Sproßspitzen pro Behandlung

- a) Sproßspitzen direkt nach dem Schneiden
- b) Sproßspitzen mit Kalluszellen an der Sproßbasis, ca. 10 Tage nach dem Schneiden

Versuchsmedien: Grundmedium: WPM-Medium mit 0,5 mg/l BAP

Die osmotisch wirksamen Substanzen wurden in den Konzentrationen 4%, 8%, 12% mit folgenden Osmolaritäten (osmol/kg), eingesetzt (siehe Tab. 2):

Tab. 2: Osmolaritäten der Versuchsmedien [osmol/kg].

Osmolarities of the media tested [osmol/kg].

Zusatz	0 %	4 %	8 %	12 %
1. WP-Medium Kontrolle	0,13			
2. PEG		0,16	0,22	0,31
3. Sorbitol		0,36	0,60	0,84
4. Mannitol		0,37	0,59	0,85

### Versuchsdurchführung:

Die Versuchspflanzen wurden 4 Wochen lang auf den Versuchsmedien subkultiviert, anschließend bonitiert, gewogen und auf das Kulturmedium (WP-Medium) umgesetzt. Nach Ablauf dieser vierwöchigen Subkultivierung wurde nochmals die Biomasse erfaßt und umgesetzt. Der Versuch endete nach der dritten Subkultur mit der Bonitierung und der Biomassebestimmung. Während der Subkulturen galt es zu prüfen, ob die Versuchspflanzen nach der Behandlung wieder ihr übliches Wachstumsverhalten zeigen.

## 2.5 Verwendung raumsparender Lagerungsgefäße

Die Kosten eines Lagerungssystems werden u.a. durch das Lagervolumen pro gelagertem Sproß bestimmt. In Lagergefäßen kann je nach Volumen und Größe des eingelagerten Sproßmaterials eine unterschiedliche Anzahl von Individuen aufbewahrt werden (siehe Tab. 3).

Eine denkbar raumsparende Methode ist die Lagerung terminalen Gewebes in sogenannten Eppendorf-Gefäßen, die mit ihrer geringen Größe (0,5 cm Durchmesser, 2,5 cm Höhe, 3 ml Volumen) eine Lagerung auf engstem Raum ermöglichen. Der Platzbedarf von 81 Gefäßen liegt bei einer Fläche von 11 cm x 11 cm. Im Versuch wurde dieses Lagerungssystem für die Lagerung von Sproßspitzen geprüft.

Größe	Größe	Größe	Größe	Größe
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100
100	100	100	100	100

Die Vitalität der gelagerten Terminalen wurde nach folgendem Schlüssel bonitiert:

Note 1: Gewebe nekrotisiert

Note 2: Gewebe zeigt leichte Nekrotisierungen an den Blatträndern

Note 3: Gewebe ohne sichtbare Schädigungen

Tab. 3: Raum- und Mediumbedarf bei Verwendung verschiedener Gefäße und Lagerungseinheiten.

Space capacity and volume of media required for different containers and storing units.

	Weckglas	Plexi-Röhrchen	Eppendorf-Caps
<u>Einzelgefäß</u>			
Durchmesser			
- oben [mm]	110	30	20
- Höhe [mm]	85	95	42
Sproßanzahl	5	1	1
Lagerungseinheit			
Doppelreihe	x		
Magenta-Rack		x	
Kryo-Rack			x
Lagervolumen [ml] pro Sproß	108,9	188,6	9,7
Mediumbedarf [ml] pro Sproß	8,3	8	1

## 2.6 Versuche zur Bewurzelung

Im Bewurzelungsversuch wurden 9 verschiedene Medien (Tab. 4) und 11 Genotypen (insgesamt 120 Versuchsglieder) auf ihre Bewurzelbarkeit geprüft. Die Medien unterschieden sich hinsichtlich der Zusammensetzung und Konzentration der Hauptnährstoffe sowie Konzentration und Kombination der Phytohormone (Auxine).

Zweischicht-Medien wurden wie folgt zubereitet:

- obere Schicht: "Bewurzelungsschicht"; nährstoffreduziertes, auxinhaltiges Medium mit Aktivkohle (3 g/l);
- untere Schicht: "Ernährungsschicht"; normal konzentriertes, auxinfreies Medium zur Förderung des Sproßwachstums nach der Bewurzelung.

Tab. 4: Medienübersicht.

A survey on the media employed.

Med.-Nr.	Grundmed.	Hormonzugaben				Schichten
		BAP	IBA (mg/l)	NAA (mg/l)	Sonst.	
1.	1/3 MS	0,2	0,5	1,0	-	1
2.	1/2 WPM	0,2	0,5	-	-	1
3.	1/2 GD	0,5	0,5	-	-	2
4.	1/2 GD	-	0,5	0,2	Zeatin 0,2	2
5.	1/2 GD	0,5	0,5	0,2	-	2
6.	1/4 GD	-	-	-	-	2
7.	1/4 GD	0,5	1,0	-	-	2
8.	1/2 GD	0,2	0,2	-	-	2
9.	1/2 GD	0,5	1,0	-	-	2

Abkürzungen: MS, MURASHIGE; SKOOG (1962); WPM, LLOYD; MCCOWN (1980); GD, GRESSHOFF; DOY (1972)

## 2.7 Statistik - Versuchsauswertung

Es erfolgte eine statistische Auswertung mit Hilfe des Statistikprogrammes „SAS“, das eine Multivariate Varianzanalyse (MANOVA) nach der SAS-General-Linear-Modells-Prozedur (GLM) und Mittelwertvergleiche bei balancierten (REGWF-Test, Duncan-Test) und unbalancierten Gruppen (GT2-Test) sowie Korrelationsberechnungen erlaubt. Die nach der Testung bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p = 0,05$  ermittelten Werte wurden mit Buchstaben gekennzeichnet. Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant.



### 3. Ergebnisse

Charakteristisch für das Wachstum von Eichen-Sproßkulturen ist die Proliferation neuer Sprosse nicht nur aus Blattachsen, sondern auch entlang der unbeblätterten Sproßachse und an der Sproßbasis. Dies deutet auf das Vorhandensein schlafender Augen („trace buds“) hin, die vom apikalen Meristem abgesondert wurden. Eine unterschiedlich intensive Kallusbildung an der Sproßbasis kann zum einen die Aufnahme von Nährstoffen begünstigen, zum anderen kann das Wachstum der Kalluszellen auch in Konkurrenz zum Sproßwachstum treten. Für Lagerungsversuche wurden deshalb Sproßspitzen ohne oder mit Kallus an der Sproßbasis sortiert und getrennt auf ihre Eignung zur Lagerung hin bewertet.

#### 3.1 Eignung von Sproßspitzen ohne Kallus

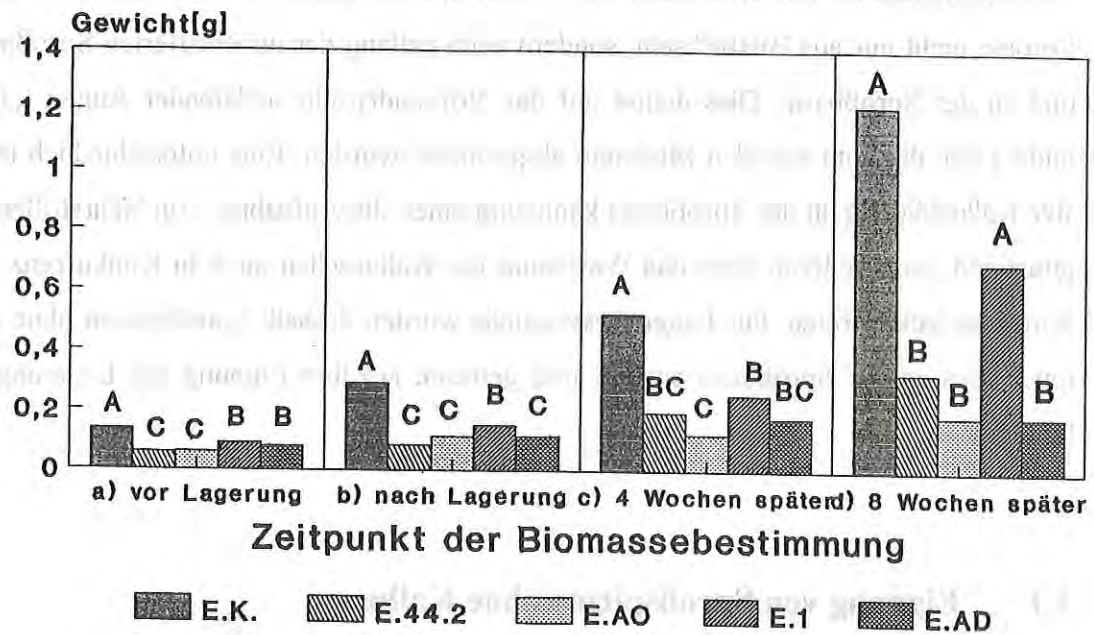
Unter den beschriebenen Lagerungsbedingungen war ein verlangsamtes Wachstum gegeben. Die Internodienstreckung war gering, die Blattgröße in Länge und Breite stark verringert.

Die gelagerten Genotypen unterschieden sich im Längenwachstum und in der akkumulierten Biomasse nach Lagerung. Auch in den darauffolgenden Phasen der Regeneration waren die genotypabhängigen Differenzen der Biomasse (Abb. 1 A) signifikant. Bei der Beurteilung der Massenentwicklung ist zu berücksichtigen, daß mit Verlängerung der Lagerung der Anteil des abgestorbenen Pflanzengewebes zunahm. Aus diesem Grunde wurden bereits abgeworfenes Blattmaterial nicht mitberücksichtigt. Während der Subkultivierung nach Lagerung zeigte sich die Lagerungsdauer als bestimmender Faktor für die Biomasse-Zunahme und die Triebbildung (Abb. 1 B).

Durch den Einfluß der Medien ergab sich kein gesicherter Einfluß auf die bewerteten Merkmale. Die Lagertemperatur beeinflusste die Massenbildung, das Längenwachstum und die Austriebsneigung während der Lagerung, jedoch nicht die Regenerationsfähigkeit nach der Lagerung.

# Sproßspitzen-Lagerung ohne Kallus

## A. Biomasse (abs.) von 5 Genotypen



## B. Austrieb nach Lagerungsperioden

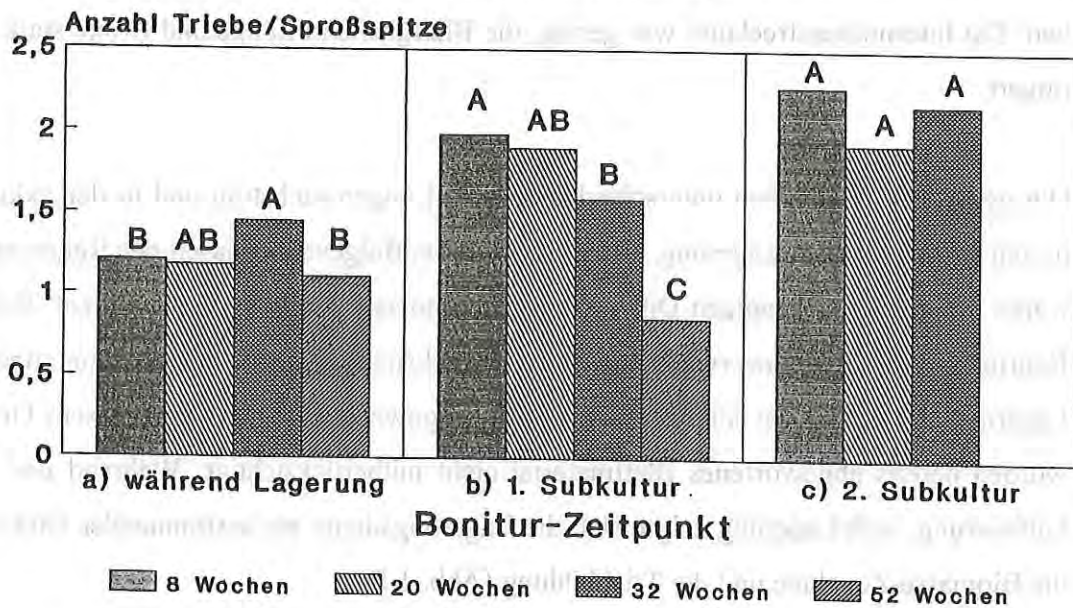


Abb. 1: Lagerung und Regeneration von Sproßspitzen ohne Kallus:  
 A. Einfluß des Genotyps auf die Änderung der Biomasse;  
 B. Effekt der Lagerdauer auf das Austriebsvermögen.

Storage and regeneration of shoot tips without callus:  
 A. Influence of the genotype on the change in biomass;  
 B. Influence of the storage period on the state of the terminals.

Unter normalen Kulturbedingungen konnten Sproßkulturen aller etablierten Genotypen (Tab. 1) über einen Zeitraum von 6 Jahren hinweg durch monatliche Subkultur erhalten werden.

### **3.2 Lagerung von Sproßspitzen mit Kallus**

Unter normalen Kulturbedingungen war eine gute Regenerationsfähigkeit der Sproßspitzen mit basalem Kallus nach Rückschnitt zu beobachten. Die aufwachsenden Sprosse entstanden nicht aus Kalluszellen, sie waren vielmehr am basalen Triebteil inseriert, zeigten lange Internodien und sämlingstypische Blattentwicklung.

Bereits bei der ersten Bonitierung nach 8 Wochen wurden Nekrotisierungen an Blatträndern, auf und am terminalen Gewebe, sichtbar.

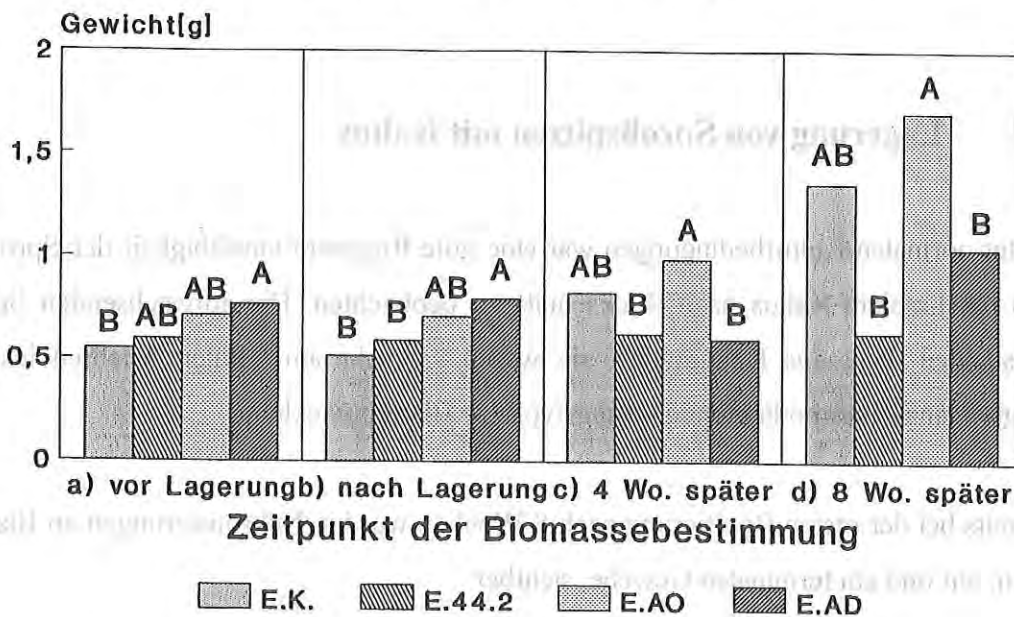
Im weiteren Verlauf des Versuchszeitraumes nahmen die Nekrotisierungen des Pflanzengewebes bei allen Genotypen zu. Nach der Lagerung zeigte sich eine verstärkte Verbräunung des Mediums. An Teilen der Kallusmasse war eine Verkorkung der peripheren Zellen zu erkennen, die auch in der Regenerationsphase nach Lagerung stabil blieb.

Nach Safraninfärbung von Gewebeschnitten konnte unter dem Mikroskop demonstriert werden, daß Kalluszellen in tracheale Elemente übergehen. Solche Zellen zeichnen sich durch verstärkte Einlagerung von fluoreszierenden Stoffen in die Zellwand aus. Im gealtertem Kallus ließen sich unregelmäßige Muster der Gefäßbildung beobachten.

Trotz einer deutlichen Zunahme der Biomasse in der zweiten Regenerationsphase nach Lagerung (Abb. 2 A) verschlechterte sich der Anteil vitaler Triebe (Abb. 2 B) nach 32 Wochen Lagerdauer signifikant. Weniger als die Hälfte der eingelagerten Sproßachsen blieben in den Regenerationsphasen vital.

## Sproßspitzen-Lagerung mit Kallus

### A. Biomasse von Sproßsp. mit Kallus



### B. Zustand von Sproßspitzen mit Kallus nach Lagerperioden

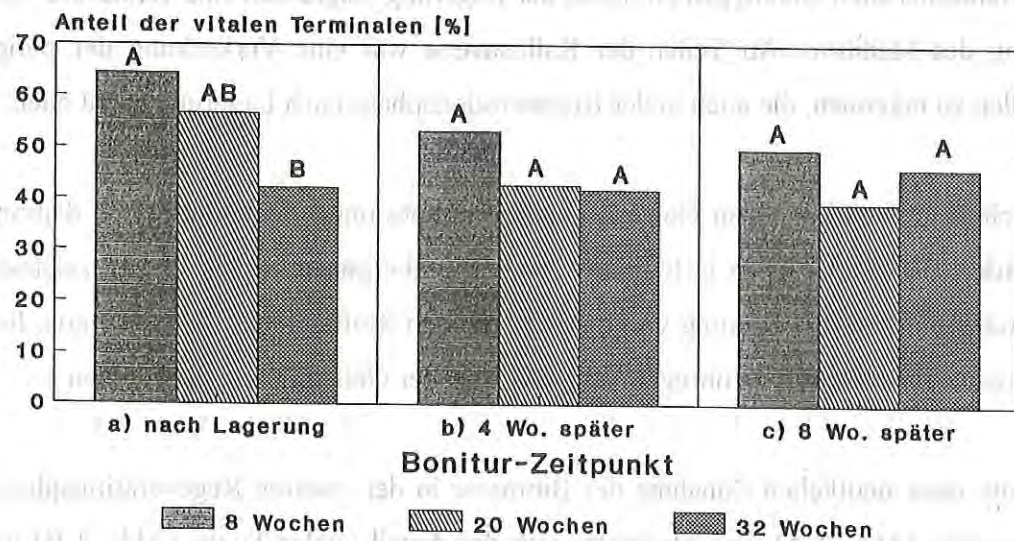


Abb. 2: Lagerung und Regeneration von Sproßspitzen mit Kallus:  
 A. Einfluß des Genotyps auf die Änderung der Biomasse;  
 B. Effekt der Lagerdauer auf den Zustand der Terminalen.

Storage and regeneration of shoot tips with callus:  
 A. Influence of the genotype on the change in biomass;  
 B. Influence of the storage period on the condition of the terminal ends.

### **3.3 Lagerung bewurzelter Sprosse**

Eine erheblich bessere Regenerierbarkeit war bei den Sprossen gegeben, die mit Wurzeln eingelagert wurden. Bei diesen Sprossen konnten nach der 32-Wochen-Lagerung sowohl die basalen als auch die terminalen Teile mit und ohne Wurzelansatz regeneriert werden (Bewurzelungsraten bis 75%). Auch nach dem Entfernen der in der Lagerung lang gewordenen Wurzeln war die Wurzelneubildung bei allen Genotypen zu beobachten. In der Bewurzelungsfähigkeit, Wurzelanzahl und Vitalität nach Lagerung unterschieden sich die Genotypen nicht signifikant.

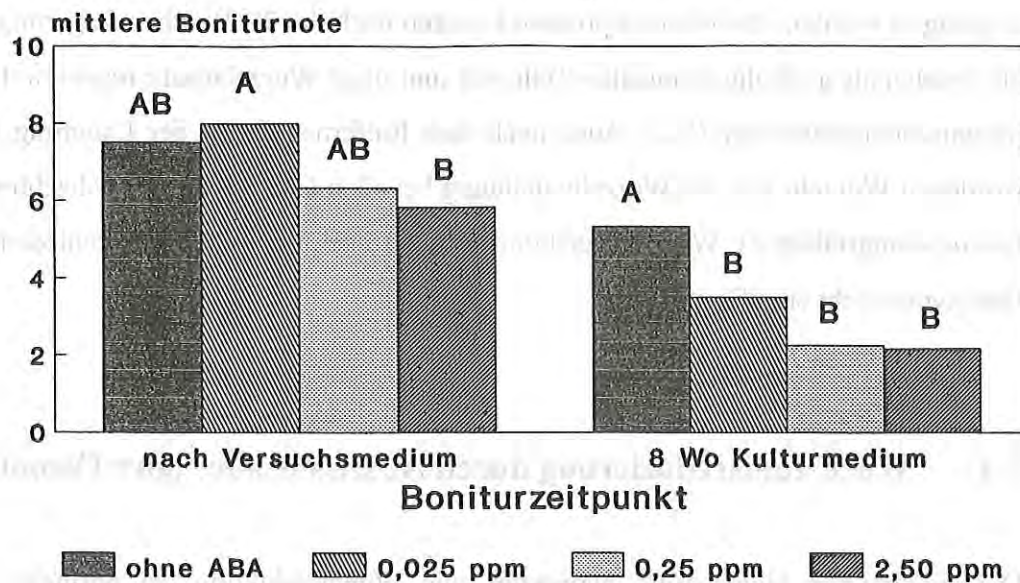
### **3.4 Wachstumsreduzierung durch Abszissinsäure oder Osmotica**

Die eingesetzten Hemmstoffe bewirkten eine Wuchsreduktion bei normalen Kulturbedingungen. Der Habitus der Versuchspflanzen war nach der Applikation von Abszissinsäure oder Osmotica stark verändert. Bereits die niedrigste Abszissinsäurekonzentration verhinderte eine normale Streckung der Internodien. Während einer achtwöchigen Regenerationsphase auf Medium ohne Hemmstoff war die Vitalität behandelter Sprosse herabgesetzt (Abb. 3 A). Bei höheren Konzentrationen von Abszissinsäure, aber auch bei Konzentrationen über 8% Polyethylenglycol, Sorbitol und Mannitol war zusätzlich eine Hemmung der Neubildung von Seitentrieben und teilweise die rosettenförmige Anlage von Triebknospen zu beobachten. Auch in den auf die Hemmstoff-Behandlung folgenden Subkulturperioden auf Medien ohne Hemmstoff war eine Normalisierung des Wachstums nicht mehr gegeben, die Sproßvitalität blieb bei allen Hemmstoff-Behandlungen herabgesetzt (Abb. 3 B).

### **3.5 Lagerung von Mikrosprossen in 2-ml-Eppendorf-Gefäßen**

In einer Versuchsserie wurde die Eignung von Eppendorfgefäßen zur Lagerung kleinster Sproßspitzen (ca. 0,5 cm) geprüft. Das Mediumvolumen von 1,5 ml erwies sich als ausreichend für einen Lagerzeitraum von 56 Wochen. In diesem Zeitraum war das Längenwachstum der Sproßspitzen unbedeutend (Abb. 4 A).

## A. Abszissinsäurewirkung Vitalität behandelter Sprosse



## B. Sproßvitalität vorbehandelter Sprosse nach Subkultur auf WP-Medium

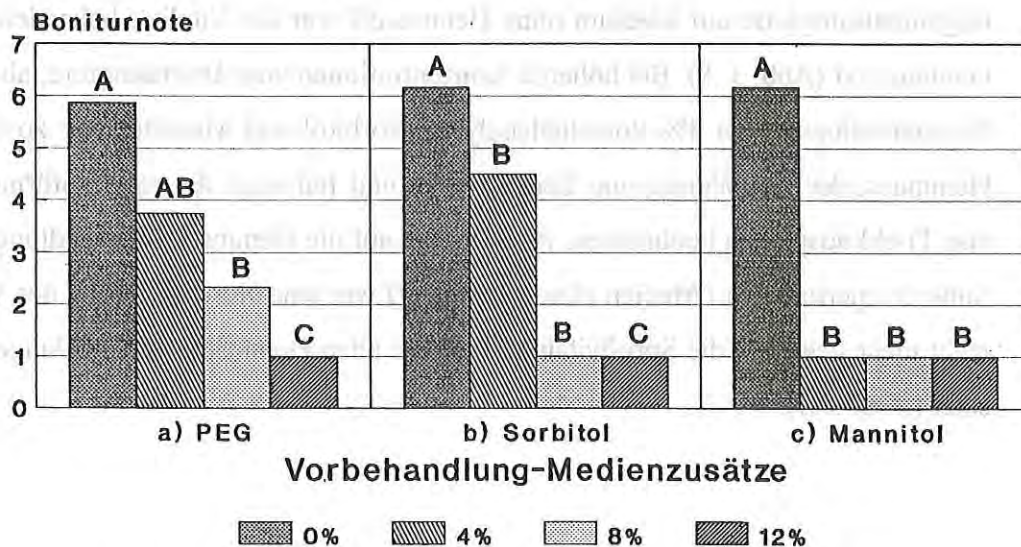


Abb. 3: Wirkung von Abszissinsäure und Osmotica auf die Vitalität der Sprosse:  
A. Abszissinsäurewirkung;  
B. Wirkung von Polyethylenglycol (PEG 4000), Sorbit und Mannit.

Effect of abscissic acid and osmotica on the vitality of the shoots:

- A. Effect of abscissic acid;  
B. Effect of polyethylene glycol (PEG 4000), sorbitol and mannitol.

Die Volumenänderung des Mediums, die bei Verwendung anderer Gefäße beachtlich sein kann, war im Eppendorfgesäß minimal, zudem haftet das Medium nicht an der Gefäßwand.

Die Vitalität der Terminalen ist ein wichtiger Parameter für die Anpassungsfähigkeit von gelagertem Pflanzenmaterial. Nekrotisierungen am terminalen Gewebe sind Hinweis auf Unverträglichkeiten und mangelnde Anpassungsfähigkeit. Die Entwicklung der Terminalen ist ein entscheidendes Kriterium für die Überlebensfähigkeit der gelagerten Mikrospore.

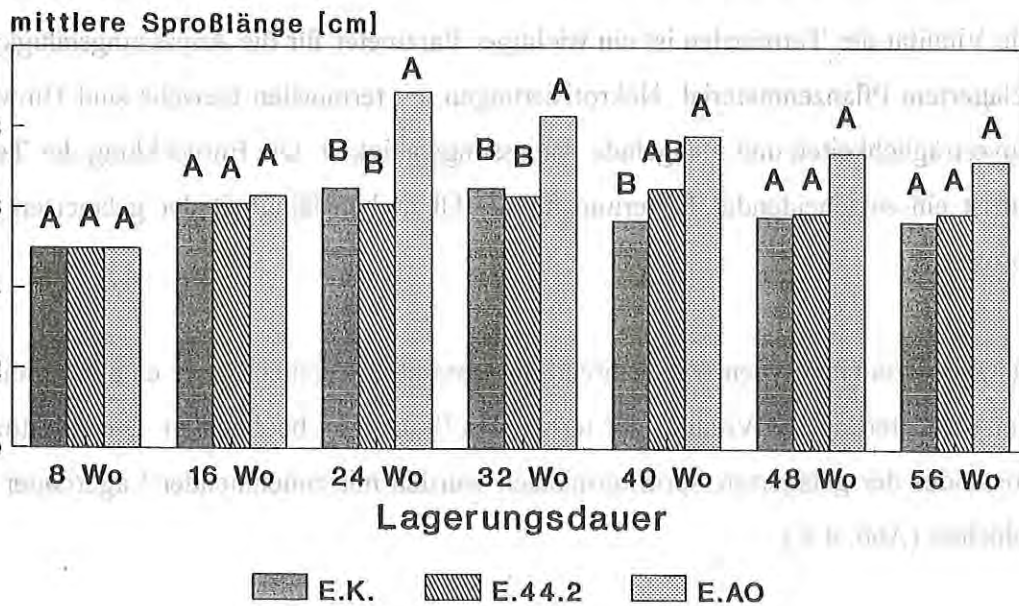
Bei allen drei Genotypen war während der gesamten Versuchsdauer eine kontinuierliche Verschlechterung der Vitalität der terminalen Spitzen zu beobachten. Die Bonituren des Zustandes der gelagerten Sproßterminalen wurden mit zunehmender Lagerdauer umgeschichtet (Abb. 4 B).

### 3.6 Endophytenkontamination

Mit nachlassender Vitalität der Mikrospore trat ein Endophyt in Erscheinung, der als *Bazillus pabui* vorläufig identifiziert wurde (Dr. Köhn, Biologische Bundesanstalt Braunschweig). In Reinkultur erweist sich das Bakterium als starker Säurebildner und als Oxydase negativ. Im Reihenverdünnungstest erwiesen sich die Antibiotica Streptomycin, Kanamycin und Neomycin im Bereich von 50 ppm bis 150 ppm als wirksam. An bewurzelten Kulturen, die im Freiland kultiviert wurden, trat der Endophyt nicht in Erscheinung. Seine Bekämpfung kann *in vitro* nach dem Umsetzen der Sproßkulturen durch Applikation der sterilfiltrierten Antibiotica (10 ml Lösung mit 150 ppm Wirkstoff pro Weckglas) erfolgen.

# Lagerung im Eppendorfgesäß

## A. Längenwachstum der Genotypen



## B. Vitalität der Mikrospieß-Terminalen

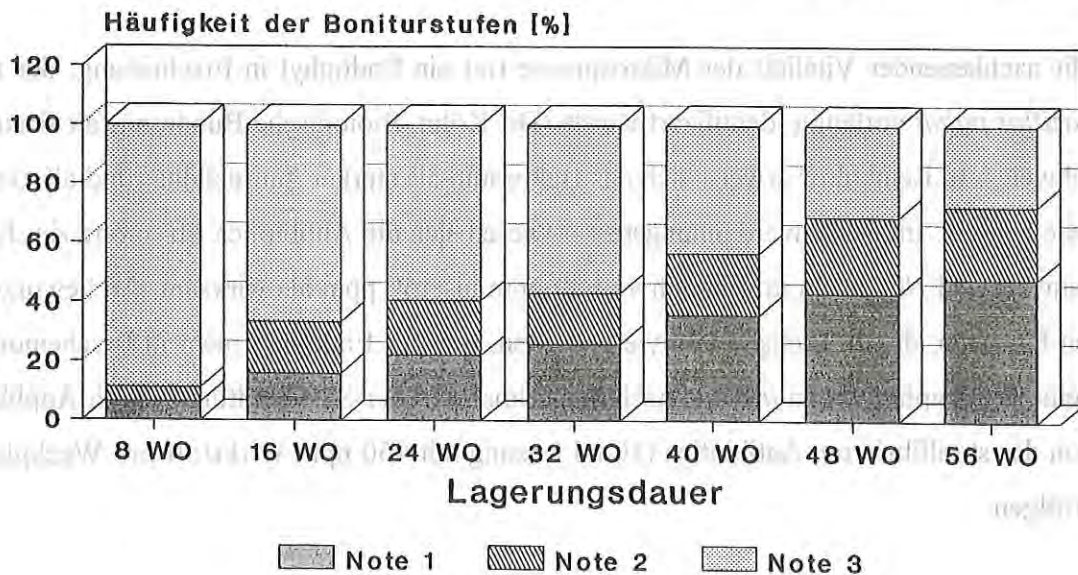


Abb. 4: Lagerung im Eppendorfgesäß:  
 A. Längenwachstum der Genotypen nach diversen Lagerperioden;  
 B. Vitalität der Mikrospieß-Terminalen.

Storage in Eppendorf caps:  
 A. Height growth of the genotypes following diverse storing periods;  
 B. Vitality of microshoot terminals.



### 3.7 Bewurzelung gelagerter Eichen

Je nach Genotyp stellt sich die Bewurzelung unterschiedlich schnell ein. Im allgemeinen erfolgt die Bewurzelung 4-6 Wochen nach der Umsetzung auf das Bewurzelungsmedium. Zum Zeitpunkt der Bildung von Seitenwurzeln ist eine Umstellung auf sterile oder in sterile Kultur im Erds substrat erfolgreich. In der Anzahl durchschnittlich bewurzelter Sprosse unterschied sich nur der Genotyp A.O mit 2,9 bewurzelter Sprossen/Glas zu den Genotypen E.1 mit 1,6 bewurzelter Sprossen/Glas, E.AP mit 1,3 bewurzelter Sprossen pro Glas und LO VI 5 mit 0,9 bewurzelter Sprossen/Glas. Dementsprechend ergeben sich für den Anteil bewurzelter Sprosse die gleichen Signifikanzen. Vom Genotyp E.AO bewurzelter 72,30% der Sprosse, von E.1 36,36%, von E.AP 32,50% und von LO VI 5 22,50%.

Die besten Bewurzelungserfolge wurden auf dem Medium 9 (3,17 bewurzelte Sprosse), Medium 8 (3,17 bewurzelte Sprosse) und Medium 5 (2,77 bewurzelte Sprosse), erzielt (siehe Tab. 4).

### 3.8 Entwicklung bewurzelter Eichen in der Baumschule

Im April 1991 verschulte Eichen (Bewurzelung 1989 *in vitro*), die über ein Jahr im Topf kultiviert worden waren, zeigten im Sommer 1993 unterschiedliches Wachstum. Zwei Drittel der Pflanzen, die vegetative Nachkommen adulter Genotypen darstellen, hatte einen kräftigen Leittrieb gebildet. Der Rest der Pflanzen zeigte ein eher plagiotropes und buschförmiges Wachstum. Die Wuchshöhe der fünfjährigen Pflanzen überstieg in keinem Fall 1,5 m.

## 4. Zusammenfassende Diskussion

Aus Winterknospen von Stockausschlägen, Wasserreisern und von veredelten Reisern adulter Trauben- und Stieleichen wurden Sproßspitzen gewonnen. Etablierte Sproßspitzenkulturen blieben langfristig (Beobachtungszeitraum: 6 Jahre) lebensfähig.

Um die Veränderungen an Sproßkulturen während der Lagerung kenntlich zu machen, wurden die Kriterien „Biomasseänderung“, „Längenwachstum“ und „Austriebsneigung“ sowie „Vitalität“ und „Vermehrungsrate nach Lagerung“ erfaßt und mit statistischen Methoden geprüft.

Die Lagerungsdauer erwies sich als dominierender Faktor bei der Lagerung von Eichensproßkulturen. Mit jeder Verlängerung der Lagerzeit über 30 Wochen hinaus verschlechterte sich der Sproßzustand signifikant.

Die sicherste Form der Lagerung ist bei Verwendung bewurzelter Sprosse gegeben. Die Lagerung bewurzelter Sprosse mit anschließender Vermehrung und erleichterter Wurzelinduktion bietet dem Vermehrungsbetrieb die Möglichkeit des Abbaus von Arbeitspitzen.

Bei Anwendung von Abszissinsäure und beim Einsatz diverser Osmotica kommt es nicht nur zu einer Wuchshemmung, sondern darüberhinaus zur Habituation der Sproßkulturen, wie sie erstmals von MEINS; BINNS (1978) für Tabakzellkulturen beschrieben wurde.

Die Kosten eines Lagersystems werden u.a. durch das Lagervolumen bestimmt. Von den geprüften Lagergefäßen bieten Eppendorf-Caps mit 1,5 ml oder 2,0 ml Volumen die besten Voraussetzungen, wenn Sproßspitzen verwendet werden, die unbelastet von Endophyten sind.

Bewurzelte fünfjährige Eichen aus *in vitro* Kultur zeigen zu zwei Drittel befriedigendes apikal dominantes Wachstum. Der Rest tendierte zu buschförmigem Wachstum, das bei stecklingsvermehrten Pflanzen auf Beibehaltung der adulten Phase zurückgeführt wird.

Inwieweit diese Fixierung zeitlich begrenzt ist und ob sie durch *in vitro* Techniken (somatische Embryogenese) und Langzeitlagerung oder durch wiederholte Pflanzung des Ausgangsmaterials auf Sämlingsunterlagen eliminiert werden kann, muß in künftigen Untersuchungen geklärt werden.

Lagerungs- und bewurzelungsfähige Eichensproßkulturen können, wie von mehreren Autoren beschrieben (FAVRE; JUNKER 1987; CHALUPA 1988; VIEITEZ *et al.* 1993) auch sehr schnell durch sterile Keimung der Eicheln, die sich noch in einem frühreifen Zustand befinden können, gewonnen werden. Probleme, die sich aufgrund der Phasentalterung mit Explantaten adulter Eichen ergeben können (JUNCKER; FAVRE 1989; MEIER-DINKEL 1993) sind dann nicht existent.

Sollte sich Gefrierkonservierung von Meristemen und somatischen Embryonen als möglich erweisen (JÖRGENSEN 1993), könnte die Effizienz der Langzeitlagerung in Zukunft erheblich gesteigert werden. Mit Hilfe genetischer Analyse könnte sowohl die Diversität des eingelagerten Materials bestimmt als auch die Lagerungsform gefunden werden, die höchste genetische Stabilität garantiert.

## 5. Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen wurden im Rahmen des BMFT-Forschungsvorhabens 0318920 B durchgeführt (Projektleitung Dr. Dr. habil. H. Weisgerber). Für die finanzielle Unterstützung danken wir dem Bundesminister für Forschung und Technologie.

## 6. Literatur

AITKEN-CHRISTIE, J.; SINGH, A.P. (1987): Cold storage of tissue cultures. *In: Cell and Tissue Culture in Forestry*, Vol. 2 (Bonga, J.M.; Durzan, D.J., eds.), M. Nijhoff Publ., Dordrecht/Boston/ London, pp. 285-304.

CHALUPA, V. (1988): Large scale micropropagation of *Quercus robur* L. using adenine-type cytokinins and thidiazuron to stimulate shoot proliferation. *Biol. Plant (Prague)*, 30(6), pp. 414-21.

FAVRE, J.M. ; JUNKER, B. (1987): *In vitro* growth of buds taken from seedlings and adult plant material in *Quercus robur* L. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 8, pp. 49-60.

- GEBHARDT, K.; HEINECKER, B.; WEISGERBER, H. (1991): Stump sprouts: a valuable source for clonal propagation and germplasm preservation of adult sessile oak. *In: Woody Plant Biotechnology* (Ahuja M.R., ed.), Plenumcorp, New York, pp. 341-343.
- GEBHARDT, K.; FRÜHWACHT-WILMS, U.; WEISGERBER, H. (1993): Micro-propagation and restricted-growth storage of adult oak genotypes. *Annales des Sciences Forestières*, 50, pp. 323-330.
- GRESSHOFF, P.M.; DOY, C.H., (1972): Development and differentiation of haploid *L. esculentum* (Tomato). *Planta*, 107, pp. 161-70.
- JÖRGENSEN, J. (1993): Embryogenesis in *Quercus petraea*. *Annales des Sciences Forestières*, 50, pp. 344-355.
- JUNCKER, B.; FAVRE, J.M. (1989): Clonal effects in propagating oak trees via *in vitro* culture. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 19, pp. 267-276.
- LLOYD, G.; MC COWN, B. (1980): Commercially feasible micropropagation of Mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture. *Proceedings of the International Plant Propagators' Society*, 30, pp. 421-427.
- MEIER-DINKEL, A. (1990): Kühlungslagerung von Gewebekulturen. *In: Erhaltung forstlicher Genressourcen* (B.R. Stephan, ed.), Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, 164, S. 137-144.
- MEIER-DINKEL, A. (1993): Untersuchungen zur Phasenalterung und zur In-vitro- Vermehrung von Stiel- und Traubeneiche. *In: Beiträge zur in vitro Vermehrung und Wurzelentwicklung von Stiel- und Traubeneichen sowie zur Erhaltung forstlicher Genressourcen* (A. Meier-Dinkel; G. Schüte; Kim Tae Su; J. Kleinschmit, eds.), J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, S. 7-159.
- MEINS, F.; BINNS, A. (1978): Epigenetic clonal variation in the requirement of plant cells for cytokinins. *In: The clonal basis of development* (S. Subtelny; I.M. Sussex, eds.), New York Academic, pp. 185-201.
- MURASHIGE, T.; SKOOG, F. (1962): A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, pp. 473-479.
- VIEITEZ, A.M., PINTOS, F.; SANJOSE, M.C.; BALLESTER, A. (1993): *In vitro* shoot proliferation determined by explant orientation of juvenile and mature *Quercus rubra* L. *Tree Physiology*, 12 (2), p. 107.

# Die Behaarung der Blätter von Traubeneiche und Stieleiche (*Quercus petraea* und *Quercus robur*): Variabilität und taxonomische Bedeutung

Gregor Aas

Professur für Forstschutz und Dendrologie, ETH Zürich,  
CH-8092 Zürich

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, morphology, trichomes,  
taxonomy

## Summary

Title of the paper: Leaf pubescence of sessile and pedunculate oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*): variability and taxonomic relevance.

The target of this investigation was to find out whether and to what extent particular leaf trichomes of pedunculate and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Matt.] Liebl.) occur species specifically. Leaves of 299 pedunculate oaks and 159 sessile oaks were analysed. The abaxial surfaces of the leaves show two different types (among others) of trichomes: stellate hairs on the leaf lamina as well as fasciculate hairs along the midrib and in the vein axils. All the investigated sessile oaks had pubescent leaves, the majority (94%) had stellate hairs as well as fasciculate hairs. 90% of the pedunculate oaks were glabrous, *i.e.* the leaves showed neither stellate nor fasciculate hairs, and 10% had pubescent leaves. Thus, the pubescence of the leaves of pedunculate and sessile oak is very taxa specific and therefore of high taxonomic relevance.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Morphologie, Trichome,  
Taxonomie

## Zusammenfassung

Das Ziel der Untersuchung war es herauszufinden, ob und in welchem Ausmass bestimmte Haartypen (Trichome) der Blätter von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* und *Q. petraea*) artspezifisch vorkommen. Dazu wurden Blätter von 299 Stiel- und 159 Traubeneichen analysiert. Auf den Unterseiten der Laubblätter kommen (unter anderen) zwei Trichom-Typen vor: Sternhaare auf der Spreitenfläche sowie Büschelhaare entlang der Mittelrippe und in den Nervenwinkeln. Alle untersuchten Traubeneichen hatten behaarte Blätter, die Mehrheit (94%) sowohl Stern- als auch Büschelhaare. Stieleichen erwiesen sich dagegen überwiegend als kahl, hatten also weder Stern- noch Büschelhaare. Der Anteil behaarter Stieleichen betrug insgesamt 10%. Die Behaarung der Laubblätter von Stiel- und Traubeneichen ist somit in hohem Masse sippenpezifisch und deshalb taxonomisch von grosser Bedeutung.

## 1. Einleitung

Die taxonomische Differenzierung von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Q. petraea* [Matt.] Liebl.) ist nach wie vor ein kontrovers diskutiertes Problem (GARDINER 1970, AAS 1988). Dies vor allem deshalb, weil die spezifische Variation diagnostischer Merkmale beider Eichen unzureichend bekannt ist. Ganz besonders gilt das für mikromorphologische Merkmale wie die Behaarung von Blättern und Sprossen.

Die Bedeutung der Behaarung von Laubblättern für die Systematik der Gattung *Quercus* ist seit langem bekannt. SCHWARZ (1936) und CAMUS (1936-38) beschreiben in ihren Monographien der Gattung verschiedene Typen von Pflanzenhaaren (Trichome) als sippenspezifische Merkmale. HARDIN (1976) hat eine differenziertere Klassifizierung und Terminologie der Laubblatt-Trichome von *Quercus* entwickelt und darauf aufbauend die Variation innerhalb der Gattung im östlichen Nordamerika beschrieben (HARDIN 1979 a, b). Auf die Möglichkeit, mittels der Behaarung der Laubblätter Stiel- und Traubeneiche zu differenzieren, weisen CAMUS (1936-38) und SCHWARZ (1936) hin. In der Literatur finden sich jedoch widersprüchliche Angaben zum sippenspezifischen Charakter des Auftretens bestimmter Haartypen. Behaarte Stieleichen sind zwar schon seit langem bekannt und von verschiedenen Autoren als Taxon unterschiedlicher Kategorie innerhalb von *Q. robur* beschrieben, so von SCHWARZ (1936) als Varietät *puberula* oder von WEIMARCK (1947) als Subspecies *puberula*. Dennoch gehen verschiedene Autoren (z.B. MOSS 1910, ETTER 1944, JONES 1959, CARLISLE und BROWN 1965) nach wie vor davon aus, dass sternförmige oder büschelige Haare auf der Blattunterseite ein ausschliessliches Merkmal der Traubeneiche seien, wohingegen Stieleichen solche Haare stets fehlen. In zahlreichen variationsstatistischen Untersuchungen wurde die Behaarung neben anderen morphologischen Merkmalen erfolgreich für die multivariate Trennung von Stiel- und Traubeneichen (z.B. OLSSON 1975a, COUSENS 1963, 1965, CARLISLE und BROWN 1965, WIGSTON 1975, RUSHTON 1983, AAS 1993) bzw. von Stiel-, Trauben- und Flaumeichen (*Q. pubescens*) (GRANDJEAN und SIGAUD 1987) verwendet.

Im Vergleich dazu gibt es nur wenige Studien, die sich detailliert mit der Variation der Behaarung von Stiel- und Traubeneiche beschäftigen. OLSSON (1975 b) folgert aus den Ergebnissen einer Studie in Schweden über die Häufigkeit verschiedener Trichomtypen auf der Blattunterseite, dass es vernünftiger wäre, Stiel- und Traubeneiche als Subspecies derselben Art zu behandeln. KISSLING (1977) hat in der Schweiz das Vorkommen und die Variation verschiedener Haartypen unter anderem bei *Quercus pubescens* und *Q. petraea* beschrieben. Die Behaarung liefert danach gute Unterscheidungsmerkmale für diese Arten. Beide Untersuchungen belegen, dass die Behaarung der Blätter mitteleuropäischer Eichen taxonomisch relevant ist. Die Untersuchung von OLSSON (1975b) beschränkt sich dabei auf Eichen Südschwedens und enthält kaum Angaben über die intraspezifische Variabilität der unterschiedenen Sippen (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. petraea* x *robur*). KISSLING (1977) stellt zwar sehr detailliert die Behaarung verschiedener Individuen von *Q. petraea* und *Q. pubescens* dar, insbesondere die Feinstruktur der Haare. Die erzielten Ergebnisse sind aber unter dem Vorbehalt zu sehen, dass nur sehr wenige Individuen berücksichtigt wurden und diese überwiegend aus einem geographisch eng begrenzten Gebiet der Schweiz stammen. Eine eingehende Beschreibung der Behaarung von *Q. robur* hat KISSLING (1977) nicht vorgenommen.

Ziel der vorliegenden Studie war es deshalb herauszufinden, inwieweit das Vorkommen bestimmter Haartypen auf der Blattunterseite von Stiel- und Traubeneiche artspezifisch variiert.

## 2. Material und Methode

Untersucht wurden 146 Stieleichen und 159 Traubeneichen, insgesamt somit 305 Bäume. Sie stammen aus etwa 30 verschiedenen, zufällig ausgewählten Eichenbeständen Deutschlands, Polens und der nördlichen Schweiz. Bei den Bäumen handelte es sich um Individuen im blühfähigen Alter (>30 Jahre). Darüberhinaus wurden zur Ermittlung der Häufigkeit behaarter Stieleichen 153 zweijährige Sämlinge (dritte Vegetationsperiode) analysiert. Diese sind eine zufällige Auswahl aus einem grösseren Kollektiv, das im Zuge einer anderen Untersuchung an Eichen-Jungpflanzen 1990 angezogen worden ist (Anzucht im Pflanzgarten der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL Birmensdorf). Sie stammen von insgesamt 39 individuell beernteten Mutterbäumen ab, die in verschiedenen Gebieten Deutschlands beerntet wurden. Voruntersuchungen hatten ergeben, dass die Behaarung in diesem Alter bereits gut erkennbar ist. Die Herkunft der Mutterbäume dieser Sämlinge ist nicht identisch mit der der analysierten Altbäume. Alle Untersuchungen wurden an normal und vollständig entwickelten Blättern von Frühjahrstrieben durchgeführt (in der Regel pro Baum zwei Triebe mit je drei Blättern, insgesamt somit sechs Blätter pro Pflanze), die nach Abschluss der Triebstreckung im Frühjahr geerntet und herbarisiert wurden. Die Artbestimmung der Bäume erfolgte nach morphologischen Merkmalen. Dabei wurden die von AAS (1988) erarbeiteten Kriterien zugrunde gelegt.

Die Untersuchungen wurden mit einem Lichtmikroskop (Wild Kombistereo M3C) und einem Rasterelektronenmikroskop (REM, Stereoscan 600 M, Cambridge Instruments) durchgeführt. Für die Elektronenmikroskopie wurden etwa 1 cm<sup>2</sup> grosse Stücke der getrockneten Blätter verwendet, die direkt, d.h. ohne weitere Vorbehandlung vergoldet wurden (sputtering).



### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Haartypen

Bei einem Teil der untersuchten Individuen (s.u.) konnten auf der Spreitenfläche der Blattunterseite sog. Sternhaare (nach der Terminologie von HARDIN 1976: stellate trichomes, Abb. 1) festgestellt werden. Diese bestehen aus vier, seltener aus zwei oder drei einzelligen, dickwandigen und relativ starren Armen, die an ihrer Basis miteinander verbunden sind. Die Arme sind im Mittel etwa 70-140  $\mu\text{m}$  lang, annähernd gerade und sternförmig in einer Ebene ausgebreitet, d.h. sie liegen der Epidermis an. Im typischen Fall bilden dabei zwei (der vier) Arme die Sehne eines Halbkreises mit den beiden anderen Armen dazwischen.



Abb. 1: REM-Aufnahme von Sternhaaren auf der Unterseite eines ausgewachsenen Laubblattes von *Quercus petraea* (Bildbreite ca. 470  $\mu\text{m}$ ).

REM photography of stellate hairs on the abaxial surface of a mature leaf from *Quercus petraea* (width of the photo about 470  $\mu\text{m}$ ).

Neben diesen Sternhaaren kommen, wiederum nur bei einem Teil der untersuchten Eichen, sog. Büschelhaare (nach der Terminologie von HARDIN 1976: fasciculate trichomes, Abb. 2) vor. Diese bestehen aus zwei bis acht (meist vier), an ihrer Basis miteinander verbundenen Armen. Diese sind länger als jene von Sternhaaren (im Durchschnitt etwa 200-600  $\mu\text{m}$  lang) und stets mehr oder weniger aufrecht, d.h. die Arme stehen von der Epidermis ab. Büschelhaare wurden bei den untersuchten Eichen ausschliesslich entlang der Mittelrippe und in den Nervenwinkeln (Winkel zwischen Mittelrippe und Seitennerven erster Ordnung) gefunden, nicht jedoch auf der Spreitenfläche.

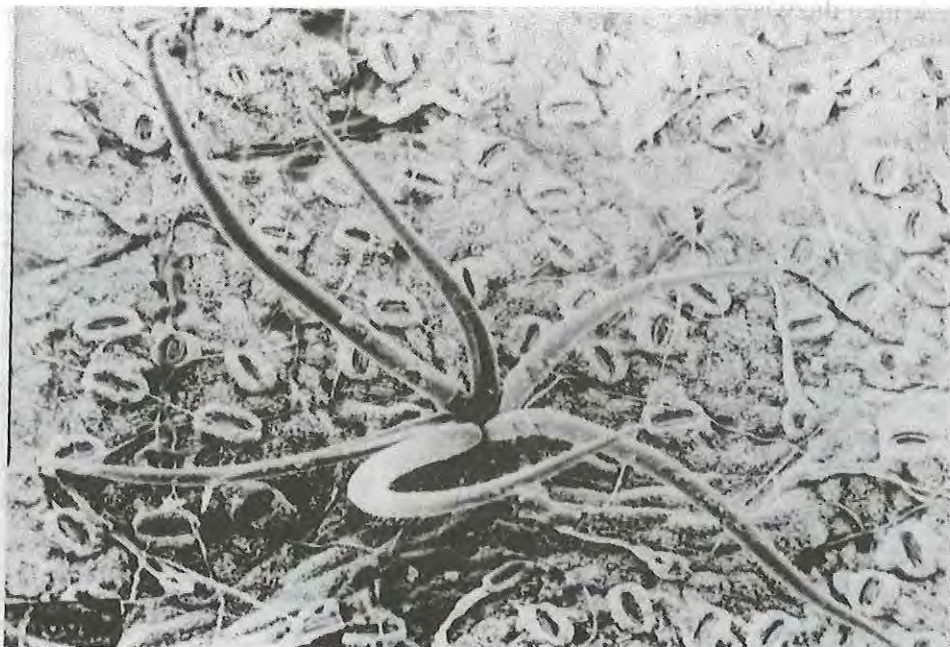


Abb. 2: REM-Aufnahme eines einzelnen, sechsarmigen Büschelhaares auf der Unterseite eines Laubblattes von *Quercus petraea* (Bildbreite ca. 570  $\mu\text{m}$ ).

REM photography of an individual fasciculate hair with 6 arms on the abaxial surface of a leaf from *Quercus petraea* (width of the photo about 570  $\mu\text{m}$ ).

### 3.2 Häufigkeit behaarter Formen

Tab. 1 enthält die Anzahl Stiel- und Traubeneichen mit kahlen bzw. mit behaarten Blättern. Als „kahl“ wurden Blätter bezeichnet, die auf ihrer Unterseite weder Stern- noch Büschelhaare aufwiesen, als „behaart“ solche mit Stern- und/oder Büschelhaaren. Für die Zuordnung eines Individuums zum Typ „behaart“ genügte es, wenn zumindest auf einem der untersuchten Blätter Stern- und/oder Büschelhaare gefunden wurden. Von wenigen Ausnahmen abgesehen wurde jedoch keine intraindividuelle Variation festgestellt, d.h. jeweils alle untersuchten Blätter eines Individuums waren „kahl“ oder „behaart“.

Alle Traubeneichen waren behaart, wobei der Grossteil der Individuen (93.7%) sowohl Stern- als auch Büschelhaare hatte (Abb. 3). Im Unterschied dazu erwiesen sich rund 90% aller Stieleichen als kahl (Abb. 3). In Tab. 2 ist die Häufigkeit kahler bzw. behaarter Stieleichen für Altbäume und Sämlinge getrennt dargestellt.

Tab. 1: Anzahl (absolut und in %) Individuen von *Q. robur* und *Q. petraea* mit kahlen bzw. behaarten Laubblättern.

Number (absolute and in %) of individual *Q. robur* and *Q. petraea* trees with glabrous and pubescent leaves respectively.

Behaarung der Laubblätter	<i>Q. robur</i> N=299		<i>Q. petraea</i> N=159	
	abs.	%	abs.	%
<b>kahl</b>	270	90,3	0	0
<b>behaart</b>	29	9,7	159	100
nur Sternhaare	8	2,7	1	0,6
nur Büschelhaare	1	0,3	9	5,7
Stern- und Büschelhaare	20	6,7	149	93,7

Tab. 2: Anzahl (absolut und in %) Individuen von *Q. robur* mit kahlen bzw. behaarten Laubblättern: Vergleich von Altbäumen und Sämlingen.

Number (absolute and in %) of individual *Q. robur* and *Q. petraea* trees with glabrous and pubescent leaves respectively: Comparison of mature trees and seedlings.

Behaarung der Laubblätter	Altbäume N=146		Sämlinge N=153	
	abs.	%	abs.	%
<b>kahl</b>	125	85,6	145	94,8
<b>behaart</b>	21	14,4	8	5,2
nur Sternhaare	7	4,8	1	0,7
nur Büschelhaare	1	0,7	0	0
Stern- und Büschelhaare	13	8,9	7	4,6

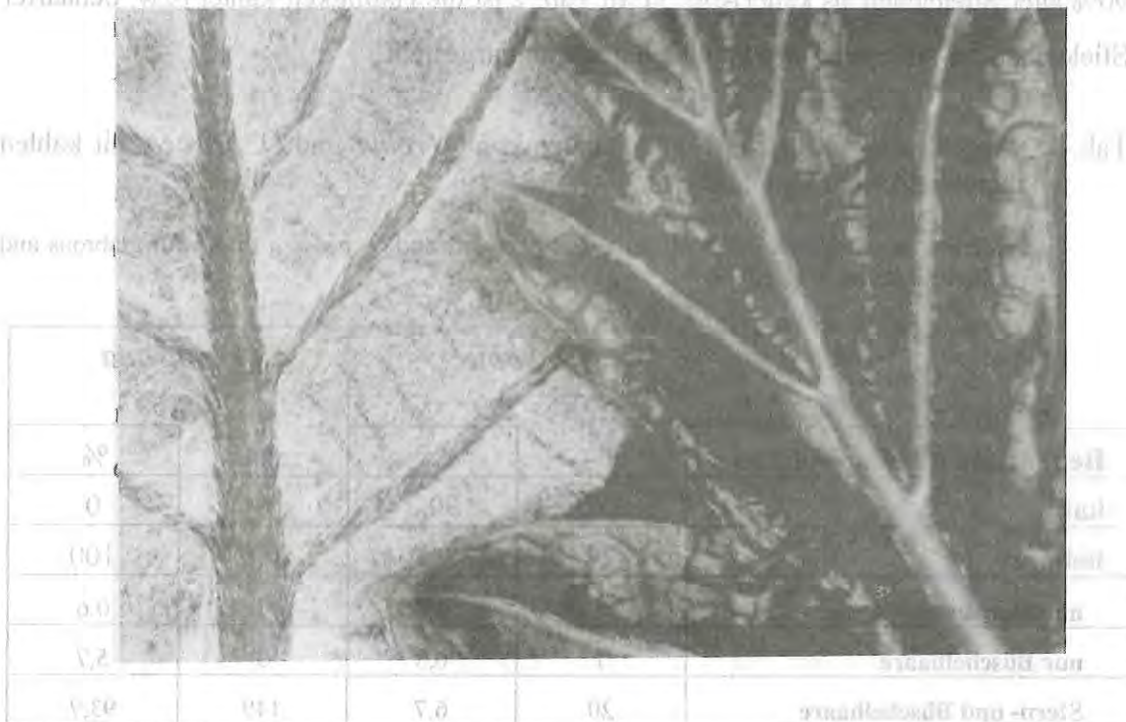


Abb. 3: Junge Laubblätter (zum Zeitpunkt der Laubentfaltung, Grösse der Blätter: ca. 2 cm) von *Quercus robur* (rechts) und *Q. petraea* (links): Die Unterseite der Blattspreite von *Q. robur* ist kahl, die von *Q. petraea* auf der gesamten Fläche sowie entlang der Mittelrippe behaart.

Juvenile leaves (at the time of unfolding, leaf size ca. 2 cm) of *Quercus robur* (right side) and *Q. petraea* (left side): the abaxial surface of the leaf of *Q. robur* is glabrous, while that of *Q. petraea* is pubescent on the lamina as well as along the midrib.

## 4. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Klärung der Frage, inwieweit das Vorkommen von Stern- und Büschelhaaren auf der Blattunterseite von Stiel- und Traubeneichen artspezifisch ist. Neben diesen beiden Haartypen kommen auf den Blättern dieser beiden Eichen weitere Trichom-Typen vor, die hier nicht weiter berücksichtigt wurden, da sie taxonomisch weniger relevant sind (AAS, in Vorbereitung). Traubeneichen sind den erzielten Ergebnissen zufolge behaart: in der Regel finden sich sowohl Sternhaare auf der Spreitenfläche als auch Büschelhaare entlang der Mittelrippe und in den Nervenwinkeln. Nur rund 6% der untersuchten Traubeneichen zeigten eine davon abweichende Merkmalskombination dergestalt, dass entweder nur Büschelhaare oder nur Sternhaare vorhanden waren. Unter den analysierten Traubeneichen befand sich keine einzige mit kahlen Blättern. Im Unterschied dazu wies die grosse Mehrheit der Stieleichen weder Stern- noch Büschelhaare auf. Betrachtet man die untersuchten Altbäume und Sämlinge zusammen, so konnten nur bei etwa 10% der Individuen einer oder beide Haartypen festgestellt werden.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der Anteil behaarter Stieleichen bei den Altbäumen 14,4% betrug, bei den Sämlingen dagegen nur 5,2%. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um zu klären, ob dies dadurch bedingt ist, dass die Behaarung der Stieleiche in Abhängigkeit vom Alter der Bäume variiert. Dieser Unterschied ist vielleicht aber auch ein Hinweis darauf, dass dieses Merkmal je nach Herkunft der Bäume Schwankungen aufweisen kann. So lag der Anteil behaarter Stieleichen in einer von OLSSON (1975b) in Schweden untersuchten Population bei etwa 40%. Nach SCHWARZ (1936) kommen behaarte Stieleichen vor allem im Osten des Areals vor. Zusätzliche Analysen sind notwendig, um herauszufinden, ob und in welchem Ausmass es eine solche herkunftsbedingte (bzw. populationsspezifische) Variation gibt. In gleicher Weise sollte an weiterem Material der Traubeneiche überprüft werden, inwieweit es tatsächlich zutrifft, dass die Blätter stets behaart sind. Nach derzeit laufenden Untersuchungen (AAS, in Vorbereitung) scheinen in sehr seltenen Fällen auch Traubeneichen vorzukommen, die weder Stern- noch Büschelhaare aufweisen.

Trotz dieser durch Umfang und Herkunft des untersuchten Materials bedingten Einschränkungen erscheint der Schluss zulässig, dass Trauben- und Stieleiche bezüglich der Behaarung der Blattunterseite morphologisch deutlich differenziert sind. Dieses qualitative Merkmal ist somit für die Bestimmung beider Taxa gut geeignet. Bezogen auf das untersuchte Kollektiv (458 Eichen) können unter ausschliesslicher Verwendung dieses Merkmals ("behaart" vs. "kahl") alle 159 Traubeneichen und rund 90% aller Stieleichen (270 von 299) richtig zugeordnet werden. Lediglich 29 Stieleichen würde man demnach wegen ihrer behaarten Blätter falsch als Traubeneichen bestimmen. Dies sind nur 6,3% aller untersuchten Bäume. Im Vergleich zu anderen morphologischen Parametern (vgl. AAS 1988) ist damit bei dem Merkmal Behaarung der Blattunterseite die Überschneidung zwischen Trauben- und Stieleiche relativ gering. Beide Eichen sind dadurch auch besser trennbar als durch das Vorkommen von Buchtennerven, also jenem Merkmal, das AAS (1988) als das zwischen beiden Eichen am stärksten diskriminierende bezeichnet. Bei diesem Parameter liegt der Anteil Individuen mit sich überschneidender Merkmalsausprägung über 10%. Nach derzeitigem Kenntnisstand kann man deshalb das Auftreten von Stern- und Büschelhaaren als das beste Unterscheidungsmerkmal für Stiel- und Traubeneiche bezeichnen. Diese Feststellung dürfte nicht nur im Vergleich mit anderen morphologischen Merkmalen zutreffen, sondern auch unter Berücksichtigung der bislang bekannten biochemisch-genetischen Parameter zur Trennung von Trauben- und Stieleichen (vgl. KREMER *et al.* 1991, MÜLLER-STARCK und ZIEHE 1991, MOREAU *et al.* 1994).

Selbst wenn damit die taxonomische Bedeutung der Behaarung der Laubblätter für die Unterscheidung von Stiel- und Traubeneiche als relativ gross einzustufen ist, muss man festhalten, dass auch die Ausprägung dieses Merkmals, so wie die aller bislang bekannten morphologischen und genetischen Merkmale, nicht völlig artspezifisch ist. Stern- und Büschelhaare auf der Blattunterseite sind kein ausschliessliches Merkmal der Traubeneiche, sind also keine absoluten Marker für diese Art, so wie dies gelegentlich in der Literatur angegeben wird (z.B. MOSS 1910, ETTER 1944, JONES 1959).

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob behaarte Stieleichen Formen sind, die durch die Bastardierung (bzw. Introgression) mit der Traubeneiche entstanden sind, so wie das beispielsweise OLSSON (1975 b) annimmt. Die vorliegende Untersuchung kann

diese Frage nicht abschliessend klären. Aus der Sicht des Autors sprechen aber zwei Gründe gegen diese Vermutung. Zum einen handelt es sich bei den hier festgestellten behaarten Formen der Stieleiche um solche, die nach anderen morphologischen Merkmalen als weitgehend typisch für diese Art bezeichnet werden können, die also keinen Einfluss der Traubeneiche vermuten lassen. Zum anderen kommen behaarte Formen auch im allopatrischen Teil des Areals der Stieleiche vor, d.h. in Gebieten, die weit östlich der Verbreitungsgrenze der Traubeneiche liegen, nach SCHWARZ (1936) und SCHUTJAEV (1987) hier sogar gehäuft. Ganz offensichtlich haben zwar nur ein (mehr oder weniger) kleiner Teil der Stieleichen Laubblätter mit Stern- und Büschelhaaren, trotzdem ist das Vorkommen solcher Haare Teil der spezifischen Variation dieser Art.

## **5. Danksagung**

Ein Teil der Arbeiten wurde im Rahmen eines Projektes durchgeführt, das vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (Gesuchs-Nr. 31-32375.91) mitfinanziert wird. Der Autor dankt Tamara Brügger für die englische Übersetzung der Zusammenfassung, O. Holdenrieder und M. Sieber für die Durchsicht des Manuskriptes sowie der WSL Birmensdorf, insbesondere Peter Lawrenz, für die Pflanzenanzucht .

## 6. Literatur

- AAS, G. (1988): Untersuchungen zur Trennung und Kreuzbarkeit von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Q. petraea* [Matt.] Liebl.): Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians Universität, München, 159 S.
- AAS, G. (1993): Taxonomical impact of morphological variation in *Quercus robur* and *Q. petraea*: a contribution to the hybrid controversy. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl. 1, pp. 107-113.
- CAMUS, A.: Les chênes. Monographie du genre *Quercus*. Tome I, 1936-38 (Texte, Atlas). Tome II, 1938-39 (Texte, Atlas). Paris, Lechevalier.
- CARLISLE, A. und BROWN, A.H.F. (1965): The assessment of the taxonomic status of mixed oak (*Quercus* spp.) populations. *Watsonia*, 6, pp. 120-127.
- COUSENS, J.E. (1963): Variation of some diagnostic characters of the sessile and pedunculate oaks and their hybrids in Scotland. *Watsonia*, 5, pp. 273-286.
- COUSENS, J.E. (1965): The status of the pedunculate and sessile oaks in Britain. *Watsonia*, 6, pp. 161-176.
- ETTER, H. (1944): Über die Unterscheidung nordschweizerischer Stiel- und Traubeneichen nach vegetativen Merkmalen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 12, S. 237-246.
- GARDINER, A.S. (1970): Pedunculate and sessile oak (*Quercus robur* L. and *Q. petraea* [Matt.] Liebl.). A review of the hybrid controversy. *Forestry*, 43, pp. 151-160.
- GRANDJEAN, G. et SIGAUD, P. (1987): Contribution à la taxonomie et à la l'écologie des chênes du Berry. *Annales des Sciences Forestières*, 44, pp. 35-66.
- HARDIN, J.W. (1976): Terminology and classification of *Quercus* trichomes. *Journal of the Elisha Mitchell Science Society*, 92, pp. 151-161.
- HARDIN, J.W. (1979a): Patterns of variation in foliar trichomes of eastern North American *Quercus*. *American Journal of Botany*, 66, pp. 576-585.
- HARDIN, J.W. (1979b): Atlas of foliar surface features in woody plants, I. Vestiture and trichome types of eastern North American *Quercus*. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 106, pp. 313-325.
- JONES, E.W. (1959): Biological Flora of the British Isles. *Quercus* L. *Journal of Ecology*, 47, pp. 169-222.



- KISSLING, P. (1977): Les poils des quatre espèces de chênes du Jura (*Quercus pubescens*, *Q. petraea*, *Q. robur* et *Q. cerris*). *Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft*, 87, pp. 1-18.
- KREMER, A.; PETIT, R.; ZANETTO, A.; FOUGÈRE, V.; DUCOUSSO, A.; WAGNER, D. and CHAUVIN, C. (1991): Nuclear and Organelle Gene Diversity in *Quercus robur* and *Q. petraea*. In: Genetic Variation in European Populations of Forest Trees (MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M., Hrsg.). J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, pp. 141-166.
- MOREAU, F.; KLEINSCHMIT, J. and KREMER, A. (1994): Molecular differentiation between *Q. petraea* and *Q. robur* assessed by random amplified DNA fragments. *Forest Genetics*, 1, pp. 51-64.
- MOSS, C.E. (1910): British oaks. *Journal of Botany*, 48, pp. 1-8.
- MÜLLER-STARCK, G. and ZIEHE, M. (1991): Genetic Variation in Populations of *Fagus sylvatica* L., *Quercus robur* L., and *Q. petraea* Liebl. in Germany. In: Genetic Variation in European Populations of Forest Trees (MÜLLER-STARCK, G. und ZIEHE, M., Hrsg.). J.D. Sauerländer's Verlag Frankfurt am Main, pp. 125-140.
- OLSSON, U. (1975a): A morphological analysis of phenotypes in populations of *Quercus* (Fagaceae) in Sweden. *Botaniska Notiser*, 128, pp. 55-68.
- OLSSON, U. (1975b): The structure of stellate trichomes and their taxonomic implication in some *Quercus* species (Fagaceae). *Botaniska Notiser*, 128, pp. 412-424.
- RUSHTON, B.S. (1983): An analysis of variation of leaf characters in *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. population samples from Northern Ireland. *Irish Forestry*, 40, pp. 52-77.
- SCHWARZ, O. (1936): Monographie der Eichen Europas und des Mittelmeergebietes. I. Textband (200 S.), II. Atlas der Blattformen. Dahlem bei Berlin.
- SCHUTJAEV, A.M. (1987): [Population-Geographical Variability of Leaf Hairiness in *Quercus robur* L.]. *Lesowedenie*, pp. 17-26.
- WEIMARCK, H. (1947): De nordiska ekarna. 1. *Quercus Robur* subsp. *pedunculata* och subsp. *puberula*. *Botaniska Notiser*, pp. 61-78.
- WIGSTON, D.L. (1975): The distribution of *Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl. and their hybrids in south-western England. 1. The assessment of the taxonomic status of populations from leaf characters. *Watsonia*, 10, pp. 345-369.

# Artbestimmung bei Stiel- und Traubeneichen

Michaela Rommel,<sup>1)</sup> Gunter Rothe<sup>1)</sup>;  
Werner Maurer<sup>2)</sup> und Uwe Tabel<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Allgemeine Botanik der Johannes Gutenberg-Universität  
D-55099 Mainz

<sup>2)</sup> Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenzüchtung  
D-67705 Trippstadt/Pfalz

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, intermediate forms,  
hybrids, classification methods, morphological foliage traits,  
phosphoenolpyruvate carboxylase

## Summary

Title of the paper: Species classification for pedunculate and sessile oaks.

For this study about 17 oak trees in each of 26 different forest districts of Rheinland-Pfalz (Rhineland-Palatinate) had been selected in 1993, and branches with fully developed leaves were sampled from the individuals in the current-year summer. The trees differ from each other by their sites within different Rhineland-Palatinate growing areas as well as in their individual ages.

Assessment of species classification was performed by examining those morphological foliage traits that are usually employed and by evaluating them using different analyzing procedures. The enzyme phosphoenolpyruvate carboxylase from dormant buds was included in the evaluation as a biochemical trait for species discrimination.

On the base of the analyzing procedures used and the comparison of these methods with each other the preliminary result is obtained that about one half of the oak trees studied can be classified to be „pure“ pedunculate oak or „pure“ sessile oak, respectively while the other half comprises intermediate forms and hybrids originating from them. It is concluded that inclusion of more traits with known segregation will increase the number of recognizable hybrids.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Übergangsformen, Hybride,  
Bestimmungsmethoden, morphologische Blattmerkmale,  
Phosphoenolpyruvat Carboxylase

## Zusammenfassung

Für diese Untersuchung waren 1993 in 26 verschiedenen Forstamtsbereichen des Landes Rheinland-Pfalz je ca. 17 Eichen ausgewählt und hiervon im Sommer des Jahres Zweige mit vollständig entwickelten Blättern gewonnen worden. Die Bäume unterscheiden sich bezüglich ihrer Standorte innerhalb verschiedener rheinland-pfälzischer Wuchsgebiete und ihres jeweiligen Alters.

Für die Bestimmung der Artzugehörigkeit wurden die üblicherweise verwendeten morphologischen Blattmerkmale erfaßt und diese nach verschiedenen Verfahren evaluiert. Zusätzlich wurde die Aktivität des Enzym Phosphoenolpyruvat Carboxylase in Winterknospen als biochemisches Merkmal zur Artendifferenzierung in die Bewertung mit eingeschlossen.

Auf der Basis der angewandten Bestimmungsverfahren und der Vergleiche miteinander ergibt sich als vorläufiges Ergebnis, daß etwa die eine Hälfte der untersuchten Eichen „reine“ Stieleichen bzw. „reine“ Traubeneichen sind und die andere Hälfte Übergangsformen bzw. Arthybride darstellen. Es muß angenommen werden, daß sich durch Einbeziehen weiterer Merkmale mit bekanntem Erbgang die Zahl der erkennbaren Arthybride noch vergrößern würde.

## 1. Einleitung

Zwischen der vermutlich älteren Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) und der jüngeren Stieleiche (*Quercus robur* L.) wurden zahlreiche morphologische Übergangsformen beobachtet (BURGER 1921; JONES 1968; BEUSCHEL 1974; AAS 1991).

Deshalb wird bereits seit längerem die Frage diskutiert, ob es sich bei Eichen dieses Formenkreises um zwei getrennte Arten oder um zwei Sippen („Ökotypen“) der gleichen Art handelt. Beide Auffassungen lassen sich in zwei alternative Hypothesen kleiden:

*Hypothese 1:* Stieleiche und Traubeneiche sind getrennte, reproduktiv voneinander isolierte Arten mit eindeutig verschiedenen Merkmalsausprägungen. Übergangsformen stellen Extreme der Variation der einen oder der anderen Art dar, bzw.

*Hypothese 2:* Stieleiche und Traubeneiche sind „partiell interfertile Sippen einer Art“, durch Bastardierung bzw. Introgression kontinuierliche Übergangsformen erzeugen (AAS 1988).

Gelenkte Kreuzungen zwischen beiden Arten haben gezeigt, daß Stiel- und Traubeneichen zumindest partiell interfertil sind (DENGLER 1941; BEUSCHEL 1974; RUSHTON 1977; AAS 1988; KLEINSCHMIT persönliche Mitteilung).

Dennoch sind noch zahlreiche Fragen zu klären, z.B.:

(a) Welche Gestalt besitzen Arthybride von Stiel- und Traubeneichen ?

(b) Sind Arthybride fertil ?

(c) Wie groß ist die Zahl der Arthybriden innerhalb deutscher Vorkommen ?

Notwendige Voraussetzungen zur Beantwortung dieser Fragen stellen zum einen eine eindeutige Artansprache und zum anderen Kenntnisse über den Vererbungsgang morphologischer (und anderer Merkmale) dar. Das morphologische Merkmal „Buchtenerven“ wird vermutlich codominant, die „Blattstiellänge“ dagegen vermutlich dominant vererbt. Auch das biochemische Merkmal „Phosphoenolpyruvat Carboxylase-Aktivität in Winterknospen“ unterliegt vermutlich einem dominanten Erbgang (VULICEVIC und ROTHE 1995).

Damit ist es möglich, bisherige morphologische Artansprachen von Stiel- und Traubeneichen mit einer Ansprache auf genetischer Grundlage zu vergleichen. Außerdem kann die Kenntnis des Vererbungsganges von Merkmalen dazu benutzt werden, die Zahl der Hybriden am „natürlichen“ Standort zu schätzen. Die Ergebnisse diesbezüglicher Untersuchungen in 26 rheinland-pfälzischen Forstamtsbereichen an nahezu 400 Eichen werden im folgenden beschrieben.

## 2. Material

Untersucht wurden je *ca.* 17 Eichen in 26 Forstamtsbereichen des Landes Rheinland-Pfalz, von denen im Sommer 1993 Zweige mit vollständig entwickelten Blättern geworben wurden. Die Bäume unterschieden sich bezüglich ihres Standortes (Höhenlage, Trophie, Wasserversorgung, Exposition und Neigung) sowie ihres Alters.

Vierjährige Arthybride aus gelenkten Kreuzungen von Stiel- und Traubeneichen wurden freundlicherweise von Dr. Jochen Kleinschmit, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode, zur Verfügung gestellt.

### **3. Bestimmungsmethoden**

#### **3.1 Morphologische Ansprachen**

Die morphologische Klassifizierung der Bäume erfolgte nach 3 verschiedenen Verfahren:

##### **3.1.1 Kumulative morphologische Ansprache**

Hier wurden zahlreiche blatt- sowie fruchtmorphologische Merkmale bonitiert und die Klassifizierung anhand der überwiegenden Zahl typischer Merkmale vorgenommen:

- Buchtennerven (typisch für Stieleichen)
- Büschelhaare auf der Blattunterseite (typisch für Traubeneichen)
- Blattbasis (Stieleichen: geöhrt; Traubeneichen: spitz zulaufend)
- Blattstiellänge (Stieleichen: < 5 mm; Traubeneichen: > 10 mm)
- Blattform (Stieleichen: mehr oder weniger unsymmetrische Blätter;  
Traubeneichen: symmetrische Blätter)
- zusätzlich, falls vorhanden:  
Fruchtstiellänge (Stieleichen: > 3 cm; Traubeneichen: < 2 cm)

##### **3.1.2 Quantitative morphologische Ansprache**

###### **3.1.2.1 Bestimmung der Anzahl der Buchtennerven pro Blatt sowie der Blattstiellänge (Indexformel)**

Die Anzahl der Buchtennerven pro Blatt sowie die Länge der Blattstiele wurden in eine Indexformel (*I*) (DUPOUEY und BADEAU 1993) eingesetzt:

$$I = (407 \times Nb) - (130 \times Ls) + 357,$$

mit: Nb= Zahl der Buchtenerven pro Blatt; Ls= Länge des Blattstiels (mm), beidesmal von 10 Blättern eines Baumes erhoben), wobei gilt:

aus $I > +1.000$	ergibt sich eine Stieleiche,
aus $I < -1.000$	ergibt sich eine Traubeneiche,
aus $I = 0$ bis $+1.000$	ergibt sich eine intermediäre Stieleiche, sowie
aus $I = 0$ bis $-1.000$	ergibt sich eine intermediäre Traubeneiche.

### 3.1.2.2 Bestimmung der Zahl der Buchtenerven pro Blatt

Als weiteres quantitatives Verfahren wurde die ausschließliche Bestimmung der Anzahl der Buchtenerven pro Blatt (Mittelwert von 10 Blättern) angewendet (VULICEVIC und ROTHE 1995), wobei die folgenden 99%-Vertrauensbereiche gelten (SACHS 1978):

Traubeneichen:	0,12 - 0,29 Buchtenerven pro Blatt (n = 180),
Stieleichen:	2,71 - 3,13 Buchtenerven pro Blatt (n = 163)
<i>FI</i> -Arthybride (vierjährig):	0,82 - 2,26 Buchtenerven pro Blatt (n = 7)

Dieses Merkmal wird vermutlich codominant vererbt (VULICEVIC und ROTHE 1995).

## 3.2 Biochemische Ansprache

Als biochemisches Merkmal diene das Vorkommen von Phosphoenolpyruvat Carboxylase (PEPC, EC 4.1.1.31). In Stieleichen ist das Enzym in Winterknospen aktiv, in Traubeneichen jedoch nicht. Dieses biochemische Merkmal wird dominant vererbt, d.h. *FI*-Arthybride besitzen PEPC-Aktivität in Winterknospen (VULICEVIC und ROTHE 1995).

## 4. Ergebnisse

Das Ergebnis der verschiedenen morphologischen bzw. morphologisch/biochemischen Klassifizierungen von *ca.* 400 Eichen als Stiel- oder Traubeneichen bzw. Übergangs- oder Hybridformen wurde in der Tabelle 1 zusammengestellt. Es ergeben sich hieraus folgende Erkenntnisse:

- die kumulative morphologische Artansprache aller Eichen (Stieleichen + Traubeneichen + Übergangsformen = 100%) und die Bestimmung der Zahl ihrer Buchtennerven pro Blatt führte in 72% der Fälle zu einem übereinstimmenden Ergebnis;
- die kumulative morphologische Artansprache und die Klassifizierung mit Hilfe der Indexformel stimmten zu 65% überein;
- die Bestimmung nach Anzahl der Buchtennerven sowie die Bestimmung mit Hilfe der Indexformel stimmten zu 75% überein;
- die kumulative morphologische Ansprache und die biochemische Ansprache führten in 80% der Fälle zu einem übereinstimmenden Ergebnis;
- die Klassifizierung nach der Anzahl der Buchtennerven und die biochemische Artansprache stimmten zu 75% überein;
- die Artansprache mit der Indexformel und die biochemische Ansprache stimmten zu 78% überein, und
- die kumulative Ansprache und die Bestimmung der Zahl der Buchtennerven in Verbindung mit der biochemischen Ansprache stimmten zu 57% überein.

Es ergibt sich somit, daß die verschiedenen Methoden im Vergleich nur in 57 - 80% der Fälle zu einem übereinstimmenden Ergebnis führten.

Die Zahl der „Übergangsformen“, die sich nach der kumulativen Methode ergaben, ist mit 14% relativ gering. Entsprechend der Anzahl der Buchtennerven bzw. gemäß der Indexformel stellen jedoch 1/3 aller untersuchten Eichen intermediäre Formen dar (Tab. 2). Die Zahl der Arthybride *n*-ter Ordnung ergibt sich mit den drei angewendeten Methoden zu 20 - 25%. Werden alle Eichen aufsummiert, die mit einer der in der Tabelle 2 aufgeführten sechs Bestimmungsmethoden als intermediär oder als Hybrid *n*-ten Grades ermittelt wurden, so waren 56% aller untersuchten Bäume nicht eindeutig als Stieleiche oder als Traubeneiche zu identifizieren.

Tab. 1: Übereinstimmende Zahl der als Stieleichen oder als Traubeneichen oder als deren intermediäre Formen (Arthybride) bestimmten Eichen im paarweisen Vergleich verschiedener Bestimmungsmethoden.

Coinciding number of oak trees assessed to be pedunculate oaks or sessile oaks or their intermediate forms (species hybrids) resulting from paired comparisons by applying different classification methods.

Forstamt	N	kum/ nNerv	kum/ Index	kum/ PEPC	nNerv/ Index	nNerv/ PEPC	Index/ PEPC	kum/ nNerv + PEPC
Ahrweiler	9	9	7	7	7	7	6	7
Bad Dürkheim	17	12	11	14	14	14	13	11
Bellheim	15	10	9	15	13	13	14	10
Bitburg	13	11	11	13	13	13	13	11
Cochem	17	14	13	11	12	9	7	9
Elmstein-Süd	16	12	10	12	7	10	12	9
Entenpfuhl	17	11	7	8	10	8	10	4
Eppenbrunn	17	16	13	14	12	13	12	13
Fischbach	17	15	16	14	13	12	13	12
Hachenburg-Süd	15	10	10	13	13	13	13	9
Hagenbach	17	8	7	17	12	17	17	8
Hardenburg	15	13	11	8	11	6	9	6
Hinterweiden- thal-West	17	14	14	12	11	10	13	10
Hochspeyer	16	12	10	14	12	11	9	10
Irrel	16	13	13	12	12	10	13	9
Johanniskreuz	17	12	11	10	12	9	13	7
Kandel	14	10	7	13	11	13	13	9
Kusel	15	11	8	7	8	7	10	5
Lambrecht	17	13	13	14	13	13	13	12
Landstuhl	16	10	9	13	10	13	12	8
Mayen	12	8	7	9	9	9	8	7
Osburg	17	10	10	16	15	16	16	10
Ramsen	10	7	8	8	9	7	7	5
Salmtal	14	9	8	14	13	14	14	9
Simmern	14	7	7	14	10	13	13	7
Speyer	16	9	8	16	15	16	16	9
<b>SUMME:</b>	<b>396</b>	<b>286</b>	<b>258</b>	<b>318</b>	<b>297</b>	<b>296</b>	<b>309</b>	<b>226</b>
<b>%</b>	<b>100</b>	<b>72</b>	<b>65</b>	<b>80</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>78</b>	<b>57</b>

**Legende:**

- N:** Zahl der untersuchten Eichen je Forstamt;  
**kum:** kumulative morphologische Ansprache;  
**nNerv:** Bestimmung der Zahl der Buchtennerven pro Blatt (Mittelwert von 10 Blättern; 0 - 0,3: Traubeneiche, 0,4 - 2,6: Arthybrid,  $\geq 2,7$ : Stieleiche);  
**Index:** Bestimmung mit der Indexformel (DUPOUEY und BADEAU 1993);  
**PEPC:** Bestimmung der Aktivität des Enzyms Phosphoenolpyruvat Carboxylase in Winterknospen;  
**nNerv + PEPC:** Bestimmung der Zahl der Buchtennerven pro Blatt und zusätzliche Bestimmung der Aktivität des Enzyms Phosphoenolpyruvat Carboxylase in Winterknospen



Tab. 2: Anzahl morphologisch intermediärer Stiel- bzw. Traubeneichen sowie vermutlicher Hybride gemäß verschiedener Auswerteverfahren.

Number of morphologically intermediate pedunculate and sessile oaks as well as putative hybrids resulting from employing different evaluation methods.

Forstamt	N	morphologisch intermediäre Formen			Hybride <i>n</i> -ter Ordnung			
		kum	nNerv	Index	kum/PEPC	Index/PEPC	nNerv/PEPC	Σ
Ahrweiler	9	1	1	1	2	3	2	3
Bad Dürkheim	17	2	3	4	3	4	3	8
Bellheim	15	2	4	6	0	1	2	7
Bitburg	13	1	3	3	0	0	0	3
Cochem	17	3	2	5	6	10	8	11
Elmstein-Süd	16	2	6	4	4	4	6	10
Entenpfuhl	17	4	7	8	9	7	9	15
Eppenbrunn	17	2	3	6	3	5	4	8
Fischbach	17	2	4	3	3	4	5	6
Hachenburg-Süd	15	0	5	5	2	2	2	7
Hagenbach	17	0	9	10	0	0	0	12
Hardenburg	15	7	9	7	7	6	9	10
Hinterweidenthal-West	17	3	4	2	5	4	7	8
Hochspeyer	16	1	5	7	2	7	5	9
Irrel	16	0	3	3	4	3	6	7
Johanniskreuz	17	4	5	4	7	4	8	11
Kandel	14	2	6	9	1	1	1	9
Kusel	15	4	6	7	8	5	8	12
Lambrecht	17	5	7	7	3	4	4	10
Landstuhl	16	3	6	8	3	4	3	12
Mayen	12	1	5	4	3	4	3	12
Osburg	17	1	6	8	1	1	1	8
Ramsen	10	1	2	1	2	3	3	5
Salmtal	14	0	5	6	0	0	0	6
Simmern	14	2	5	7	0	1	1	9
Speyer	16	1	8	9	0	0	0	9
<b>SUMME:</b>	<b>396</b>	<b>54</b>	<b>129</b>	<b>144</b>	<b>78</b>	<b>87</b>	<b>100</b>	<b>227</b>
<b>%</b>	<b>100</b>	<b>14</b>	<b>33</b>	<b>36</b>	<b>20</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>57</b>

**Legende:**

- N: Anzahl untersuchter Eichen;  
kum: Ansprache mit Hilfe der kumulativen Methode;  
nNerv: ausschließliche Ansprache über die Anzahl der Buchtenerven pro Blatt;  
Index: Ansprache mit Hilfe der Indexformel;  
PEPC: Phosphoenolpyruvat Carboxylase-Aktivität in Winterknospen (Stieleiche mit Aktivität, Traubeneiche ohne Aktivität);  
kum/PEPC,  
Index/PEPC,  
nNerv/PEPC: keine Übereinstimmung nach Ansprache mit beiden Merkmalen;  
Σ: Summe der übereinstimmenden Intermediäre und Hybride nach Ansprache mit allen Methoden

## 5. Diskussion

Bisherige Klassifizierungen haben ausschließlich statistische Methoden zur Einteilung in Stieleiche und Traubeneiche und ihrer intermediären Formen benutzt (AAS 1991; DUPOUEY und BADEAU 1993). Im Rahmen der Clusteranalyse werden mehrere morphologische Größen angesprochen, wobei einzelne extreme Merkmale unberücksichtigt bleiben (AAS 1988). Die Clusteranalyse hat demzufolge den Vorteil, über zahlreiche Merkmale zu integrieren und eindeutige Gruppen zu bilden. Bisher mußte sie jedoch ohne Kenntnisse über die Vererbung von Merkmalen, also ohne die Berücksichtigung kausaler Zusammenhänge auskommen.

Inzwischen lassen jedoch Analysen an *F1*-Arthybriden aus gelenkten Kreuzungen zwischen Stiel- und Traubeneichen darauf schließen, daß die Anzahl der Buchtenerven pro Blatt codominant vererbt wird (VULICEVIC und ROTHE 1995). *F1*-Arthybride und Arthybride *n*-ten Grades lassen sich somit anhand einer mittleren Zahl von Buchtenerven (0,82 - 2,26) erkennen. Dies schließt allerdings nicht aus, daß sich unter den anhand dieses Merkmals ermittelten phänotypisch „reinen“ Stiel- und Traubeneichen genotypische Hybride verbergen. Diese können unter Verwendung weiterer morphologischer oder biochemischer Merkmale erkannt werden (Tab. 2). Hierzu zählt z.B. das dominant vererbte biochemische Merkmal „Phosphoenolpyruvat Carboxylase-Aktivität in Winterknospen“ (VULICEVIC und ROTHE 1995).

Somit lassen sich die Erkenntnisse von AAS (1991) sowie die von DUPOUEY und BADEAU (1993) wie folgt fortschreiben:

- (a) Eichen mit einer intermediären Zahl an Buchtenerven (0,82 - 2,26 pro Blatt) stellen Arthybride *n*-ter Ordnung von Stiel- und Traubeneichen dar;
- (b) phänotypisch „reine“ Stiel- und Traubeneichen sind teilweise genotypische Arthybride (*n*-ten Grades), sowie
- (c) der traditionelle Artbegriff ist auf den Formenkreis der Stieleichen und Traubeneichen nicht anwendbar  
(Ablehnung der ersten der in der Einleitung genannten beiden Hypothesen).

Wir vermuten, daß in unserem Untersuchungsgebiet Arthybride zweiten und  $n$ -ten Grades mit größter Wahrscheinlichkeit durch Kreuzung von  $F1$ -Arthybriden untereinander, jedoch seltener durch Introgression (Rückkreuzung der reinen Art mit einem  $F1$ -Arthybriden) zustande kamen. Formen mit überwiegender Ähnlichkeit zu Traubeneichen waren seltener anzutreffen als solche, die auf eine Kreuzung von  $F1 \times F1$ -Arthybriden zurückzuführen sind.

Mit den verschiedenen morphologischen Ansprüchen erwiesen sich 14 - 36% aller bonitierten Eichen als Übergangsformen. Die Zahl der Arthybriden  $n$ -ten Grades von Stiel- und Traubeneichen dürfte bei 20 - 25% liegen.

Bei Einbeziehen weiterer Merkmale mit bekanntem Erbgang muß die Zahl der erkennbaren Arthybride größer werden. Deshalb dürfte ein erheblicher Teil der untersuchten Eichen genotypische Arthybride von Stiel- und Traubeneiche darstellen. Darauf weist auch die geringe Zahl von Bäumen hin (44%), die nach Anwendung von sechs verschiedenen Bestimmungsmethoden als „reine“ Stiel- oder Traubeneichen identifiziert werden konnten (Tab. 2).

Die Hybride  $n$ -ten Grades sind mit größter Wahrscheinlichkeit interfertil ebenso wie ein erheblicher Teil der phänotypisch „reinen“ Stiel- und Traubeneichen, so daß die Zahl der im Genverbund stehenden Eichen erheblich größer als 50% der untersuchten Eichen sein dürfte. Sollte es auch Eichen geben, die ausschließlich intrafertil sind, was keineswegs gesichert ist, so wäre nur diese geringe Zahl von Individuen getrennten Arten zuzurechnen. Alle übrigen sind als Mitglieder verschiedener Sippen bzw. Ökotypen der gleichen Art anzusehen. Morphologisch lassen sich intra- und interfertile Stiel- und Traubeneichen nicht unterscheiden. Somit ist es derzeit nicht möglich, die Phänotypen von Stiel- und Traubeneichen zwei getrennten Arten im klassisch taxonomischen Sinne zuzuordnen. Da die Traubeneiche als die ältere Art gilt, scheinen die folgenden Benennungen gerechtfertigt: *Quercus petraea* bzw. *Quercus petraea*, v. *robur*.

## 6. Literatur

- AAS, G. (1988): Untersuchungen zur Trennung und Kreuzbarkeit von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der forstwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians Universität, München, 159 S.
- AAS, G. (1991): Kreuzungsversuche mit Stiel- und Traubeneichen (*Quercus robur* L. und *Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 162, S. 462-465.
- BEUSCHEL, G. (1974): Untersuchungen über die Vererbung und umweltbedingte Veränderung quantitativer und qualitativer Eigenschaften bei freiabgeblühten Traubeneichen. Dissertation München.
- BURGER, H. (1921): Über morphologische und biologische Eigenschaften der Stiel- und Traubeneiche und ihrer Erziehungsweise im Forstgarten. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, XI, S. 306-377.
- DENGLER, A. (1941): Bericht über Kreuzungsversuche zwischen Trauben- und Stieleiche (*Quercus sessiliflora* Smith und *Quercus pedunculata* Ehrh. bzw. *robur* L.) und zwischen europäischer und japanischer Lärche (*Larix europaea* D.C. bzw. *decidua* Müller und *L. leptolepis* Murray bzw. *Kämpferi* Sargerzt.). *Mitteilungen der H.-Göring-Akademie der Deutschen Forstwissenschaft*, 1, S. 87-109.
- DUPOUEY, J.-L. and BADEAU, V. (1993): Morphological variability of oaks (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* [Matt.] Liebl., *Quercus pubescens* Willd.) in north-eastern France: preliminary results. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl. 1, pp. 35s-40s.
- JONES, E.W. (1968): The taxonomy of the British species of *Quercus*. *Proceedings of the Botanical Society of the British Islands*, 7, pp. 183-184.
- RUSHTON, B.S. (1977): Artificial hybridization between *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. *Watsonia*, 11, pp. 229-236.
- SACHS, L. (1978): *Angewandte Statistik, Statistische Methoden und ihre Anwendungen* Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, S. 91.
- VULICEVIC, I. und ROTHE, G.M. (1995): Differenzen im Winterstoffwechsel von Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.). *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 50(5), S. 233-238.

# Isoenzymanalysen im Rahmen der Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung Baden-Württemberg 1992

Sabine Löchelt

Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA)  
Abt. Botanik und Standortkunde  
Arbeitsbereich Forstpflanzenzüchtung  
D-79100 Freiburg i. Br.

**Keywords:** *Quercus robur* L., isozyme analysis, genetic constitution,  
progeny tests, Baden-Württemberg

## Summary

Title of the paper: Isozyme analysis concomitant the progeny test of pedunculate oak from Baden-Württemberg 1992.

During autumn 1992 acorns of *Quercus robur* L. were collected in several stands of Baden-Württemberg in order to start a progeny test. Aim of this progeny test is to describe not only phenotypic characteristics but also the genetic structures of the stands.

So far the genetic constitution of 11 provenances has been studied using the method of isozyme analysis. For analysis leaf tissue was used causing a restriction in the enzymes systems included in the analysis. A comparison of allelic frequency distributions confirmed former investigations on pedunculate and sessile oaks postulating quantitative differences in their respective contents of alleles. The calculation of measures, which describe genetic multiplicity and diversity of the provenances, reveals significant differences between the provenances.

At present evidence on correlations between phenotype and genotype cannot be given.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur* L., Isoenzymanalyse, genetische Konstitution,  
Nachkommenschaftsprüfung, Baden-Württemberg

## Zusammenfassung

Unter Ausnutzung der Mast 1992 wurde von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Botanik und Standortkunde eine Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung begonnen. Ziel der Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung ist es, neben phänotypischen Merkmalen u.a. auch die genetischen Strukturen der Herkünfte zu beschreiben, um dadurch Erkenntnisse über die genetische Variation der Stieleichen-Vorkommen in Baden-Württemberg zu gewinnen.

Bisher wurde die genetische Konstitution von 11 Herkünften mittels Isoenzymanalysen ermittelt. Die Analyse erfolgte an Blattgewebe, was eine Einschränkung der in die Analyse einbezogenen Enzymsysteme zur Folge hatte.

Ein Vergleich der Allelhäufigkeitsverteilungen bestätigte frühere Untersuchungen an Stiel- und Traubeneichen, die quantitative Unterschiede in der Allelbesetzung der beiden Arten postulierten. Die Berechnung von Maßen, die die genetische Vielfalt und Diversität der Herkünfte beschreiben, zeigte erhebliche Unterschiede zwischen den Herkünften auf.

Aussagen zu Korrelationen zwischen Phänotyp und Genotyp können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gemacht werden.

## **1. Einleitung**

Unter Ausnutzung der Mast 1992 wurde von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Botanik und Standortkunde eine Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung begonnen. Ziel der Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung ist es, neben phänotypischen Merkmalen u.a. auch die genetischen Strukturen der Herkünfte zu beschreiben, um dadurch Erkenntnisse über die genetische Variation der Stieleichen-Vorkommen in Baden-Württemberg zu gewinnen. Dadurch soll eine weitere Hilfe bei der Abgrenzung von örtlich angepaßten Ökotypen gewonnen werden, was für die Erhaltung genetischer Mannigfaltigkeit von entscheidender Bedeutung ist.

## **2. Material und Methode**

Von den 23 in die Nachkommenschaftsprüfung einbezogenen Herkünften (vgl. hierzu den Beitrag von FRANKE in dieser Veröffentlichung „Die Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung Baden-Württemberg 1992 - Erste Ergebnisse der Anzuchtphase -“) konnten bisher 10 Herkünfte genetisch analysiert werden. Es handelt sich hierbei um die drei amtlich vorgeschriebenen Standards Reutlingen VII, Ebrach (Bayern), Farchau (Niedersachsen), um die niederländische Herkunft NL3/NL und die Herkünfte Bad Waldsee V, Biberach, Giengen, Reutlingen V, Riedlingen, Schöntal und Villingen.

Die Bestimmung der genetischen Konstitution der Bestände erfolgte mittels Isoenzymanalysen.

Für Isoenzymanalysen werden in der Regel Knospen in Winterruhe benötigt. Da die einjährigen Pflanzen zu wenig Knospen besaßen, wurden sie herkunftsweise im Gewächshaus im Frühjahr 1994 angetrieben und die Analysen an Blättern durchgeführt. Die Analyse mit Blättern als Untersuchungsmaterial ergab, daß im Gegensatz zu anderen Baumarten (z.B. Winterlinde; MAURER pers. Mitteilung) bei Stieleiche ältere Blätter die besten Zymogramme lieferten.

Untersucht wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Enzymsysteme:

Tab. 1: Zusammenstellung der untersuchten Enzymsysteme.

A compilation of the enzyme systems studied.

Enzymsystem	untersuchter Locus
Aminopeptidase	AP-B
Glutamat-Dehydrogenase	GDH-A
Isocitrat-Dehydrogenase	IDH-A, IDH-B
Malat-Dehydrogenase	MDH-B, MDH-C
Menadion-Dehydrogenase	MR-A
NADH-Dehydrogenase	NADH-A
6-Phosphogluconat-Dehydrogenase	6-PGDH-A, 6-PGDH-B
Phosphogluco-Isomerase	PGI-A, PGI-B
Phosphogluco-Mutase	PGM-A
Shikimat-Dehydrogenase	SKDH-A

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Die Genloci 6-PGDH-A, IDH-A, GDH-A, NADH-A und PGI-A zeigten keine Variation. Weitere Enzymsysteme, wie z.B. GOT, ACO, DIA und LDH konnten an den Blattproben nicht oder nur unsicher ausgewertet werden.

Zunächst sollte mit Hilfe der genetischen Analysen geklärt werden, ob es sich bei den in die Eichen-Nachkommenschaftsprüfung einbezogenen Herkünften tatsächlich um Stieleichen und nicht um Traubeneichen handelte. In diesem Zusammenhang wurde auf eine frühere Untersuchung (LÖCHELT und FRANKE 1993) zurückgegriffen:

Damals wurden die Allelhäufigkeitsverteilungen von fünf Stieleichenbeständen und sechs Traubeneichenbeständen ermittelt. Es handelte sich um Eichenbestände auf Dauerbeobachtungsflächen der FVA Baden-Württemberg, die von der Abteilung Waldschutz betreut werden. Ein Teil der Ergebnisse ist der Tabelle 2 zu entnehmen. Die Allelhäufigkei-

ten wurden dabei über alle untersuchten Bestände der jeweiligen Art gemittelt. Es konnten zwar Allele nachgewiesen werden, die jeweils nur in einer der beiden Arten vorkommen; allerdings traten diese Allele nicht in allen Individuen einer Art auf. D.h., eine Artunterscheidung aufgrund des Auftretens oder des Fehlens bestimmter Allele auf der Basis von Einzelindividuen war nicht möglich. Dabei war jedoch zu beachten, daß bei geringen Häufigkeiten das Vorkommen oder Fehlen eines bestimmten Allels auch auf den relativ niedrigen Stichprobenumfang zurückzuführen sein kann.

Tab. 2: Durchschnittliche Allelhäufigkeiten der untersuchten Stiel- und Traubeneichenbestände.

Mean allele frequencies of the pedunculate oak and sessile oak stands studied.

Locus	Allel	Häufigkeit	
		Q. robur	Q. petraea
GOT-C	C1	-----	0,011
	C2	0,038	0,028
	C3	0,017	-----
	C4	0,900	0,961
IDH-B	B1	-----	0,061
	B2	0,314	0,161
	B3	0,686	0,778
MDH-C	C1	-----	0,067
	C2	-----	0,056
	C3	1,000	0,866
	C4	-----	0,011
MR-A	A2	-----	0,022
	A3	0,943	0,850
	A4	0,009	0,056
	A5	0,022	0,017
	A6	0,026	0,055
	A6	<b>0,007</b>	<b>0,155</b>
SKDH-A	A3	0,990	0,839
	A4	0,003	0,006

Insgesamt wurden quantitative Unterschiede zwischen Stiel- und Traubeneichen festgestellt. Sie waren am SKDH-A-Locus besonders deutlich (vgl. hierzu die Tabelle 2): Bei beiden Eichenarten war das Hauptallel das Allel A<sub>3</sub>. Betrachtet man die Häufigkeiten des Allels A<sub>2</sub>, so trat es bei den analysierten Stieleichen-Beständen mit einer Häufigkeit von ca. 0,7% auf, bei den Traubeneichen-Beständen dagegen mit einer Häufigkeit von rund 15%. Bei den im Rahmen der Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung 1992 untersuch-



ten 10 Beständen konnte das Allel SKDH-A<sub>2</sub> nur in vier Beständen nachgewiesen werden. In diesen Beständen tritt es mit Häufigkeiten um 0,2% auf.

Diese Häufigkeitsunterschiede spiegeln sich auch in der genetischen Differenzierung (GREGORIUS und ROBERDS 1986) wider. Mit 0,4% ist die Differenzierung der 10 untersuchten Eichenbestände gering. Traubeneichen-Bestände differenzieren an diesem Locus stärker. Die von LÖCHELT und FRANKE (1993) analysierten Bestände wiesen an diesem Genort eine genetische Differenzierung von 11% auf. Das Ergebnis wird von MÜLLER-STARCK und Mitarbeitern (pers. Mitteilung) bestätigt.

Die vorgestellten Ergebnisse sprechen insgesamt dafür, daß es sich bei den 10 analysierten Eichenherkünften tatsächlich um Stieleichen handelt. Bezüglich der genetischen Vielfalt und Diversität der 10 bislang analysierten Stieleichen-Bestände wurde eine Ranglistenauswertung durchgeführt. Es ergab sich, daß die Herkunft Giengen die höchsten Maße der genetischen Vielfalt und Diversität besitzt. Dies ist auf folgende Gegebenheiten zurückzuführen:

- die Herkunft weist die höchste Anzahl von Allelen (24 Allelen) auf (das Mittel über alle 10 Herkünfte ist 21);
- es liegen viele seltene Allele vor (7 seltene Allele; im Mittel 4);
- an allen untersuchten Genorten konnte Variation nachgewiesen werden;
- es liegt ein hoher Heterozygotiegrad vor ( $H_B$  22%; im Mittel  $H_B$  19%);
- aus den Ergebnissen ergibt sich eine hohe genetische Diversität der Herkunft.

Den letzten Rangplatz nimmt die Herkunft Schöntal ein:

- es konnten nur wenig Allele nachgewiesen werden (17 Allele; im Mittel 21);
- die Herkunft besitzt nur ein seltenes Allel (im Mittel 4 seltene Allele);
- der Heterozygotiegrad ( $H_B$ ) ist mit 13% sehr niedrig (im Mittel  $H_B$  19%);
- nur 56% der Genorte sind polymorph.

Bemerkenswert ist außerdem der Bestand Bad Waldsee V. Er unterscheidet sich am stärksten von allen anderen Beständen, was auf die teilweise anderen Allelhäufigkeitsverteilungen zurückzuführen ist. Im folgenden werden die Häufigkeiten einiger Allele ange-

geben. In Klammern sind die jeweiligen Häufigkeiten dieser Allele (über die übrigen neun Bestände gemittelt) aufgelistet:

- PGM-A<sub>4</sub> 30% (15%)
- SKDH-A<sub>4</sub> 13% (4%)
- AP-B<sub>4</sub> 26% (10%)

Der Begriff Rangstufe ist in diesem Zusammenhang nicht als Wertung zu verstehen.

Aussagen zu Korrelationen zwischen Phänotyp und Genotyp können zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht gemacht werden, da sie nur spekulativen Charakter hätten. Erst wenn alle 23 Eichen-Herkünfte genetisch analysiert sind, soll versucht werden, Zusammenhänge zwischen Phänotyp und Genotyp aufzuzeigen.

#### 4. Literatur

GREGORIUS, H.R. and ROBERDS, J.R. (1986): Measurement of Genetical Differentiation Among Subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics*, 71, pp. 826-834.

LÖCHELT, S. und FRANKE, A. (1993): Bestimmung der genetischen Konstitution von Waldbäumen mit unterschiedlich ausgeprägten Schadsymptomen auf baden-württembergischen Dauerbeobachtungsflächen zur Walderkrankung . KFK-PEF 108, 115 S.

FRANKE, A. (1995): Die Stieleichen-Nachkommenschaftsprüfung Baden-Württemberg 1992 - Erste Ergebnisse der Anzuchtphase -. *Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz*, 34/95 (dieser Band), S. 100-113.

# Vergleich morphologischer und genetischer Unterscheidungsmerkmale bei Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.)<sup>\*)</sup>

Jörg R.G. Kleinschmit

Forstamtsstraße 6  
D-34355 Staufenberg-Escherode

<sup>\*)</sup> Die vorliegende Arbeit wurde im Rahmen einer Diplomarbeit bei Professor Roloff am Institut für Forstbotanik und der Abteilung Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Georg-August-Universität Göttingen durchgeführt. Die Isoenzym- und DNA-Untersuchungen wurden im INRA, Laboratoire de Génétique et d'Amélioration des Arbres Forestiers in Pierroton bei Bordeaux, Frankreich gemacht.

**Keywords:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, species identification, isozymes, DNA, morphology

## Summary

Title of the paper: Comparison of morphological and genetic discrimination characteristics in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.).

Pedunculate and sessile oak have been described to be botanically distinct species. Both species are sympatric. They have different ecological requirements. On sites where both species occur together, morphological intermediate forms may be found. In crossing experiments and in a study on a mixed stand in France the hybridization potential for both species was proved. In the past a discussion on the level of natural hybrids and the position of intermediate forms within the complex pedunculate/sessile oak was initiated. The present work is divided into two parts.

The first part refers to the investigation on four inter- and five intraspecific families from controlled crosses performed by the Lower Saxony Forest Research Institute. They were subjected to observation of the leaf morphology (using one- to four-year-old plants) for a period of four years. The traits used are those as described by RUSHTON (1983) and discriminating values were calculated for each individual tree. These data are evaluated with regard to changes of the juvenile leaf morphology and the position of the progeny relative to their parents. The results make clear that the morphology of juvenile plants cannot be compared with those of mature trees. Besides the species hybrids cannot be distinguished from intraspecific crosses on the base of intermediate leaf morphology. Moreover, two out of the interspecific families served for the analysis of the segregation mode of the primers employed in DNA analysis.

The second part of this work refers to the observation of a plot including 115 trees of a mixed 115-year-old oak stand (Compartment 66a of the State Forest District Escherode) by using morphological and genetic traits. Leaf and acorn morphology was analyzed as well as isozyme studies (using 10 different enzyme systems) and DNA analysis (PCR mode, 7 primers) were performed. The results from the different methods for species discrimination are compared with each other as well as with results obtained from investigations on a mixed oak stand (Petite Charnie) located in north-western France. So far no method of species discrimination supplies traits specific for the species concerned which allows an unequivocal species discrimination on the base of one single trait. In the different methods, however, parallels in their evidences are found in such a way that sessile oak in the present work reveals a greater variability than pedunculate oak does.

**Schlüsselwörter:** *Quercus robur*, *Quercus petraea*, Artbestimmung, Isoenzyme, DNA, Morphologie

## Zusammenfassung

Stiel- und Traubeneiche sind als Arten botanisch getrennt beschrieben. Beide Arten sind sympatrisch. Sie haben unterschiedliche ökologische Ansprüche. Auf Standorten, wo beide Arten zusammen vorkommen, findet man morphologische Intermediärformen. In Kreuzungsversuchen und bei Untersuchungen in einem gemischten Bestand in Frankreich hat man die Hybridisierbarkeit beider Arten nachgewiesen. In der Vergangenheit entstand eine Diskussion über den Grad an natürlichen Hybriden und über die Stellung der Intermediärformen innerhalb des Komplexes Stiel-/Traubeneiche. Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile.

Der erste Teil behandelt die Untersuchung von vier inter- und fünf intraspezifischen Familien aus kontrollierten Kreuzungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. An ihnen wurde über vier Jahre (ein bis fünfjährige Pflanzen) hinweg die Blattmorphologie beobachtet. Als Merkmale wurden die von RUSHTON 1983 beschriebenen Merkmale verwandt und für jedes Individuum Diskriminanzwerte berechnet. Diese Daten werden im Hinblick auf Veränderungen der juvenilen Blattmorphologie und die Stellung der Nachkommen zu ihren Eltern ausgewertet. Hierbei zeigt sich, daß die Morphologie juveniler Pflanzen nicht mit der von adulten Bäumen vergleichbar ist. Außerdem sind die Arthybriden nicht auf Grund intermediärer Blattmorphologie von intraspezifischen Kreuzungen zu unterscheiden. Zwei der interspezifischen Familien dienen desweiteren zur Analyse des Vererbungsmodus der verwendeten Primer bei der DNA-Analyse.

Den zweiten Teil der Arbeit bildet die Betrachtung einer Parzelle von 115 Bäumen eines 145 jährigen gemischten Eichenbestandes (Abt.66a des staatl.FoA Escherode) an Hand morphologischer und genetischer Merkmale. Es wurden hier Blatt- und Fruchtmorphologie analysiert, Isoenzymuntersuchungen (10 Enzymsysteme) und DNA-Analysen mit Hilfe der PCR-Technik (7 primer) durchgeführt. Die Ergebnisse der verschiedenen Methoden zur Artunterscheidung werden untereinander und mit Ergebnissen von Untersuchungen an einem gemischten Eichenbestand (Petite Charnie) im Nordwesten Frankreichs verglichen. Keine der Methoden zur Artunterscheidung liefert bisher artspezifische Merkmale, die eine zweifelsfreie Artunterscheidung an Hand eines einzelnen Merkmales erlauben. Es finden sich bei den verschiedenen Methoden aber Parallelen in ihren Aussagen, die dergestalt sind, daß die Traubeneiche in der vorliegenden Arbeit eine größere Variabilität zeigt, als die Stieleiche.

## 1. Einleitung

Die Gattung *Quercus* umfaßt 320 Arten (KRAHL-URBAN 1959). Die Stieleiche (*Q. robur* L.) und die Traubeneiche (*Q. petraea* [Matt.] Liebl.) gehören zur Untergattung *Lepidobalanus* und dort zur Sektion *Robur*. Die Stiel- und die Traubeneiche sind botanisch als getrennte Arten beschrieben. Sie sind neben der Buche in Europa die wichtigsten Laubbaumarten. *Q. robur* und *Q. petraea* kommen in weiten Bereichen sympatrisch vor (MEUSEL 1965), wobei sie sich in ihren ökologischen Ansprüchen unterscheiden (GRANDJEAN und SIGAUD 1987). Kontrollierte Kreuzungen haben gezeigt, daß beide Arten kreuzbar sind (DENGLER 1941, RUSHTON 1977, AAS 1988, STEINHOFF 1993). Die interspezifischen Kreuzungen mit *Q. robur* als Mutter zeigen höhere Fertili-

tätsraten als die dazu reziproken Kreuzungen. Untersuchungen an einem Mischbestand in Frankreich haben diese Ergebnisse in der Natur bestätigt (BACILIERI 1994). In Mischbeständen findet man neben Individuen, die morphologisch die reinen Arten repräsentieren, Individuen, die intermediäre morphologische Ausprägungen zeigen. Diese Intermediärformen kommen zumeist auf intermediären Standorten vor. In der Literatur werden zwei Möglichkeiten zu dem Status dieser Intermediärformen diskutiert: zum einen, daß es sich um die extremen Ausprägungen der reinen Arten handele; zum anderen, daß es sich um Arthybriden und deren Rückkreuzungen handele (Überblick bei GARDINER 1970, AAS 1993).

In Tabelle Nr. 1 werden verschiedene Merkmale beider Arten zu einem Vergleich gegenübergestellt.

Tab. 1: Vergleich verschiedener Merkmale bei Stieleiche (*Quercus robur* L.) und Traubeneiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.).

Comparison of different traits in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.).

Merkmal	<i>Q. robur</i>	<i>Q. petraea</i>
<b>Habitus</b>		
- Höhe	30 - 40 (50)m	18 - 30 (40)m
- Krone	unregelmäßige Verzweigung, Blätter gehäuft an den Triebenden auftretend	regelmäßigere Krone mit geraderen Ästen, die Krone insgesamt dicht erscheinend durch gleichmäßig verteilte Blätter
- Stamm	löst sich früh auf in einzelne Zweige	mehr oder weniger bis in die Spitze der Krone gerade durchgehend
<b>Blattmorphologie</b>		
- Blattstiellänge	kurz (1-11 mm)	lang (11-61 mm)
- Öhrung am Blattgrund	vorhanden	keine
- Intercalarnerven	vorhanden	keine, oder nur selten im unteren Drittel der Spreite
- Behaarung auf der Blattunterseite	keine	Sternhaare in den Achsen zwischen Mittel- und Seitennerven
- Form der Spreite	unregelmäßig	regelmäßig
- Basalform	herzförmig mit Winkeln >90°	eher spitz mit Winkeln < 90°
- Tiefe der Buchten	Spreite tief eingeschnitten	Buchten weniger stark ausgeprägt
<b>Fruchtmorphologie</b>		
- Eichelstreifung	longitudinale Streifen in frischem Zustand vorhanden	keine Streifung
- Länge des Fruchstieles	lang 3-8 (2-15) cm	Frucht sitzend bis kurz - 1,5 (-2) cm
- Eichengewicht	3-6 g	1,9- 5,5 g
<b>Knospen</b>	an der Spitze des Triebes konzentriert, rundlich	gleichmäßig über den ganzen Zweig verteilt, spitzer, größer
<b>Ökologische Ansprüche</b>	basenreiche Standorte mit guter Wasserversorgung	ärmere saure Standorte, mit gut durchlüfteten Böden, trockenisverträglicher
<b>Isoenzymuntersuchungen</b>	Frequenzunterschiede der Allele zwischen Populationen, kein artspezifisches Allel, Artunterscheidung auf Populationsebene	
<b>DNA- Untersuchungen (RAPDs)</b>	kein artspezifisches Fragment, Frequenzunterschiede größer als bei Isoenzymen, Artunterscheidung auf Individualebene möglich	



## 2. Material und Methoden

### 2.1 Kontrollierte Kreuzungen

#### 2.1.1 Blattmorphologie

Untersucht wurden neun Familien intra- und interspezifischer Kreuzungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt aus dem Jahr 1989. Die Artzugehörigkeit der Eltern wurde anhand der Diskriminanzfunktion nach ELSNER (1993) überprüft.

Tab. 2: Familien der kontrollierten Kreuzungen 1989 der Samenplantagen in Berkel, Niedersachsen, mit ihren Eltern, der Anzahl an Nachkommen und ihrer Einteilung in Gruppen.

Families of controlled crosses 1989 from the seed orchard in Berkel, Lower Saxony with their parents, the number of progenies and their classification in groups.

Familie Nr.	Eltern		Anzahl an Pflanzen	Arten- gruppe
	Mutter	Vater		
1	<i>Q. robur</i> Koberg 6	x <i>Q. petraea</i> Lüß 6	24	hymr
2	<i>Q. robur</i> Lensahn 2	x <i>Q. petraea</i> Reinhausen 2	24	hymr
3	<i>Q. robur</i> Koberg 6	x pollen mix <i>Q. robur</i>	37	robu
4	<i>Q. robur</i> Lensahn 2	x pollen mix <i>Q. robur</i>	41	robu
5	<i>Q. robur</i> Koberg 6	x <i>Q. robur</i> Lensahn 2	20	robu
6	<i>Q. petraea</i> Reinhausen 2	x pollen mix <i>Q. petraea</i>	3	petra
7	<i>Q. petraea</i> Lüß 6	x pollen mix <i>Q. petraea</i>	17	petra
8	<i>Q. petraea</i> Saarburg 2	x pollen mix <i>Q. robur</i>	8	hymp
9	<i>Q. petraea</i> Ritzerau 9	x <i>Q. robur</i> Lensahn 2	2	hymp

An diesen Familien wurde über vier Jahre (1991, 1992, 1993, 1994) die Blattmorphologie nach der Beschreibung von RUSHTON (1983) untersucht. Pro Baum wurden die Merkmale an fünf bzw. zehn Blättern gemessen. Hiervon wurden die Mittelwerte je Baum gebildet. Die neun Familien wurden für die folgenden Analysen in vier Gruppen zusammengefaßt. Es wurde je eine Gruppe für die Innerartkreuzungen und je eine Gruppe für die Arthybridkreuzungen getrennt nach der Art des Mutterbaumes gebildet. Mit den Blattmittelwerten wurde für jedes Individuum ein Diskriminanzwert nach ELSNER (1993) errechnet und in einer Häufigkeitsverteilung wiedergegeben. Die Entwicklung der Blattmorphologie der Gruppen über den beobachteten Zeitraum kann so optisch beurteilt werden.

Zur weiteren Untersuchung wurden die Messungen jedes Merkmals in fünf Klassen unterteilt und mit dem Programm *GSED* (Genetic Structure from Electrophoresis Data) (GILLET 1994) der phänotypische Abstand zwischen den einzelnen Gruppen berechnet. Der phänotypische Abstand aller beobachteten Merkmale ergibt sich analog zu dem genetischen Abstand nach GREGORIUS (1974) als arithmetisches Mittel der pro Merkmal errechneten Abstände. Als relatives Abstandsmaß variiert er zwischen 0 und 1, mit 1 für disjunkte Populationen.

Genischer Abstand ( $d_0$ ):

$$d_0(p,p') = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n |p_k - p'_k|$$

wobei  $p$  und  $p'$  die Häufigkeitsvektoren der genetischen Typen zweier Kollektive darstellen, mit  $p_k$  als der Häufigkeit des  $k$ -ten Typs und  $n$  als der Anzahl der Typen, so daß gilt, daß die Summe der Häufigkeiten aller Typen eines Vektors genau 1 ergibt.

Außerdem wurde analog zu Berechnungen nach Isoenzymuntersuchungen jeweils die Gesamtdifferenzierung ( $\delta_T$ ) als ein Maß für die Variation innerhalb verschiedener Kollektive berechnet (GREGORIUS 1987, 1988). Die Gesamt-Differenzierung aller Merkmale ergibt sich als arithmetisches Mittel der Gesamt-Differenzierungen der Population für ein beobachtetes Merkmal.

Gesamt-Differenzierung eines Kollektivs:

$$\delta_T = \frac{N}{N-1} \left( 1 - \sum_{k=1}^n p_k^2 \right)$$

wobei  $N$  die Größe des Kollektivs ist,  $p$  der Häufigkeitsvektor der  $n$  verschiedenen Typen und  $p_k$  die Häufigkeit des  $k$ -ten Typs, so daß gilt, daß die Summe der Häufigkeiten aller Typen gleich 1 ist.

Bei  $\delta_T = 0$  ist das Kollektiv monomorph, bei  $\delta_T = 1$  gibt es keine zwei gleichen Individuen innerhalb der Kollektive.



Ein in der Literatur als besonders wichtig zur Artunterscheidung beschriebenes Merkmal ist die Behaarung der Blattunterseite. Dieses Merkmal wurde nur in den Jahren 1993 und 1994 in sieben Klassen aufgenommen und in einer Häufigkeitsverteilung wiedergegeben.

### 2.1.2 DNA-Analyse

Die Familien Nr.1 und Nr.2 dienen zur Analyse des Vererbungsmodus der RAPD-Fragmente von sieben Random Primern (MOREAU 1993, MOREAU *et al.* 1994). Für die untersuchten Primer wurden die Segregationsverhältnisse der Fragmente bei den Nachkommen mit der Anwesenheit bzw. der Abwesenheit der Banden bei den Eltern verglichen.

## 2.2 Abteilung 66a des Staatlichen Forstamtes Escherode (Niedersachsen)

Eine Parzelle von 115 Bäumen des ca. 145jährigen Eichenmischbestandes wurde anhand von Blatt- und Fruchtmorphologie, Isoenzymen und DNA-Merkmalen (RAPDs) untersucht.

### 2.2.1 Morphologische Untersuchungen

Pro Baum wurden 1992 zehn Blätter aus dem äußeren Kronenraum vermessen. Es wurden die Blattmerkmale nach RUSHTON (1983) aufgenommen. Weiterhin wurden Daten an zehn Fruchtständen mit Eicheln aufgenommen. Für die Blattmorphologie wurde der Diskriminanzwert nach ELSNER (1993) errechnet und in einer Häufigkeitsverteilung dargestellt. Zur Bildung von Artengruppen wurde der Diskriminanzwert (diskr) nach DUPOUEY und BADEAU (1993) berechnet (bin = Anzahl der Interkalarnerven; bls = Blattstiellänge).

$$\text{diskr} = (407 \times \text{bin}) - (130 \times \text{bls}) + 357$$

Die Arteinteilung nach diesem relativ einfachen Maß wurde benutzt, um mit einem französischen Bestand eine vergleichbare Arteinteilung zu haben, da in jenem Datensatz die Messung der Buchtentiefe, die für die Berechnung des Diskriminanzwertes nach ELSNER (1993) nötig ist, fehlt. Die gesamten Daten gingen in die Berechnung des phänotypischen Abstandes zwischen den Artengruppen und der Gesamt-Differenzierung ( $\delta_T$ ) innerhalb der Artengruppen ein. Hierzu wurde jedes beobachtete Merkmal in fünf Klassen gleicher Breite eingeteilt. Die errechneten Parameter wurden anschließend mit den entsprechenden Werten eines französischen Eichenmischbestandes (Petite Charnie) verglichen, dessen Daten BACILIERI (1994) netterweise zur Verfügung gestellt hat.

### 2.2.2 Genotyp an Enzymgenloci

Im Oktober 1992 wurden zusammen mit den Blättern und Früchten je Baum etwa fünf 30 cm lange Zweige eingesammelt. Sie wurden kühl und feucht gelagert und nach Frankreich geschickt, wo die Knospen bei  $-80^{\circ}\text{C}$  bis zur Extraktion im Frühsommer 1993 eingelagert wurden. Die Extraktion, Migration, Färbung und das Lesen der Gele erfolgte wie von FOUGERE (1988) und ZANETTO (1989) beschrieben. Es wurden zehn Enzymsysteme des primären und sekundären Stoffwechsels untersucht.

Tab. 3: Auflistung der Enzymsysteme und ihre Interpretation nach der Elektrophorese.

List of the enzyme systems investigated and their interpretation following electrophoresis.

<i>Abkürzung</i>	<i>Name des Systems</i>	<i>E.C. ref.</i>	<i>Locus code</i>	<i>Anzahl ident. Allele</i>	<i>Quartärstruktur</i>
AAP	Alanin-Aminopeptidase	3.4.11.1	A	4	monomer
ACP	Saure Phosphatase	3.1.3.2	B	3	monomer
GOT	Glutamat-Oxalacetat-Transaminase	2.6.1.1	B	2	dimer
IDH	Isocitratdehydrogenase	1.1.1.42	A	5	dimer
LAP	Leucin-Aminopeptidase	3.4.11.1	B	3	monomer
MDH	Malatdehydrogenase	1.1.1.37	A	1	dimer
MR	Menadionreduktase	1.6.99.2	A	5	tetramer
6-PGD	6-Phosphogluconat-Dehydrogenase	1.1.1.44	B	3	dimer
PGI	Phosphogluco-Isomerase	5.3.1.9	B	4	dimer
PGM	Phosphoglucomutase	2.7.5.1	A	3	monomer
<i>total</i>			<i>10</i>	<i>33</i>	

Für die Daten wurde mit Hilfe des Programms *GSED* die Genpool-Diversität, die Gesamt-Differenzierung der Gruppen und der allelische Abstand zwischen den Gruppen berechnet. Für den französischen Bestand liegen zu den Isoenzymuntersuchungen keine Daten von den intermediären Formen vor. Die Arzteilung erfolgte hier auf Grund der Gruppierung nach einer Diskriminanzanalyse, die mehr Individuen, die nach DUPOUEY und BADEAU (1993) Intermediärformen sind, zu den reinen Arten gruppiert.

Der Vergleich der Variationsparameter ist für diesen Teil der Untersuchungen also nur bedingt möglich. Die Betrachtung des Abstandes zwischen den Gruppen beschränkt sich auf den allelischen Abstand, da für Petite Charnie nur Allelfrequenzen getrennt nach Gruppen zum Vergleich vorliegen.

### **2.2.3 DNA-Analyse mit Hilfe von RAPDs**

Aus einem Teil der bei  $-80^{\circ}\text{C}$  eingelagerten Knospen wurde nach einem modifizierten Protokoll von SAGHAI-MAROOF *et al.* (1984) Gesamt-DNA extrahiert. Mit Hilfe von acht Random Primern und der PCR-Technik wurden RAPDs erzeugt, deren Vererbungsanalyse anhand von kontrollierten Kreuzungen durchgeführt wurde (s.o.). Die Beobachtungen über die Anwesenheit bzw. Abwesenheit der Banden wurden mit 0 bzw. 1 gewertet und gingen als Rohdaten in die Berechnung des phänotypischen Abstandes und der Gesamt-Differenzierung ( $\delta T$ ) der Gruppen ein. Auch hier wurden die Maße für die Gruppen berechnet, die aufgrund des Diskriminanzwertes nach DUPOUEY und BADEAU (1993) gebildet wurden. Für den französischen Bestand liegen nur die Daten zu 38 Individuen des Bestandes vor (MOREAU 1993). Die Bäume wurden anhand ihrer Blattmorphologie nach der Diskriminanzfunktion von DUPOUEY und BADEAU (1993) in Gruppen eingeteilt und in die Berechnung der Variationsparameter miteinbezogen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Kontrollierte Kreuzungen

##### 3.1.1 Blattmorphologie

Die Diskriminanzwerte der Nachkommen liegen in etwa im Bereich der Diskriminanzwerte der Eltern von den Samenplantagen in Berkel (Niedersachsen). Eine Clusteranalyse der Blattmorphologiedaten der Eltern und Nachkommen zusammen zeigt jedoch, daß juvenile Morphologie nicht direkt mit adulter vergleichbar ist. Daher werden im folgenden die intraspezifischen mit den interspezifischen Kreuzungen verglichen. Die Häufigkeitsverteilungen der Diskriminanzwerte nach ELSNER (1993) ist in der Abbildung 1 wiedergegeben.

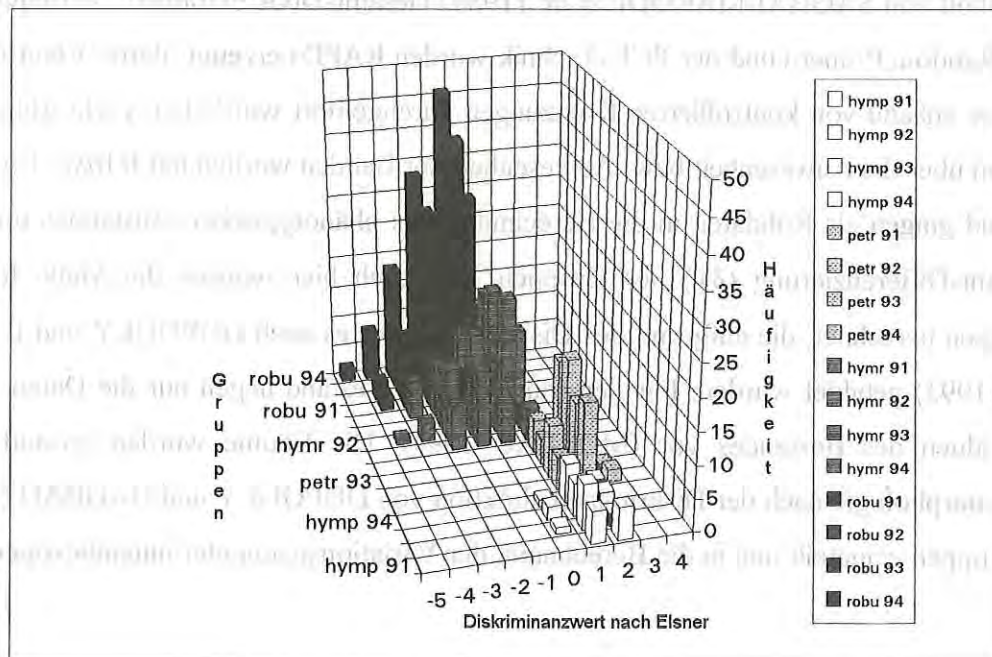


Abb. 1: Verteilung der Diskriminanzwerte nach ELSNER (1993): Kontrollierte Kreuzungen '91 - '94.

Distribution of discrimination values according to ELSNER (1993): controlled crosses '91 - '94.

Der rein optische Vergleich zeigt zwischen den Jahren innerhalb der Gruppen keine großen Unterschiede. Die Arthybriden liegen mit ihren Diskriminanzwerten zur Art der Mutter hin gruppiert, allerdings mit einer Verschiebung der Schwerpunkte zur Mitte (Intermediärform) hin. Die Innerartkreuzungen mit *Q. petraea* und die Arthybriden mit *Q. petraea* als Mutter zeigen jeweils über die vier Jahre in ihrer Verteilung keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die Variation der Verteilung der Diskriminanzwerte über die vier Jahre ist für die Gruppe der reinen Stieleichen (\*\*\*) und für die Gruppe der Hybriden mit *Q. robur* als Mutter (\*\*\*) signifikant verschieden. Der Unterschied der Verteilungen zwischen den Gruppen „petr - hymp“ innerhalb eines Jahres ist 1991 und '92 nicht signifikant, 1993 bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit und 1994 bei 5% Irrtumswahrscheinlichkeit signifikant verschieden. Für die Gruppen „robu - hymr“ ergeben sich 1991, '92 und '94 signifikante Unterschiede in den Verteilungen der Diskriminanzwerte innerhalb eines Jahres bei 0,1% Irrtumswahrscheinlichkeit. 1992 ist kein signifikanter Unterschied in den Verteilungen festzustellen.

Beim Vergleich der phänotypischen Abstände (Tab. 4) fällt auf, daß die größten Abstände zwischen den reinen Arten auftreten (Ausnahme „Hymp 92 - robur“ größter Abstand). Die Arthybriden zeigen zu der Gruppe der Mutterart geringere Abstände als zur Gruppe der Vaterart.

Jahr	petraea				robur				hymp			
	1991	1992	1993	1994	1991	1992	1993	1994	1991	1992	1993	1994
petraea	0											
robur					0							
hymp						0						
petraea x robur							0					
petraea x hymp								0				
robur x hymp									0			



Die Verteilung der Behaarungsklassen in Abbildung 2 zeigt noch einmal, daß sich die Gruppen der Arthybriden zu den jeweiligen Gruppen der Mutterart gruppieren. Sowohl innerhalb der Artengruppen über die beiden Jahre hinweg als auch zwischen den Artengruppen mit gleicher Mutterart innerhalb eines Jahres ergeben sich mit einer Ausnahme keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Verteilungen. Die Ausnahme betrifft die Gruppen „robu94 - hymr94“ mit einem signifikanten Unterschied in den Verteilungen bei 1% Irrtumswahrscheinlichkeit.

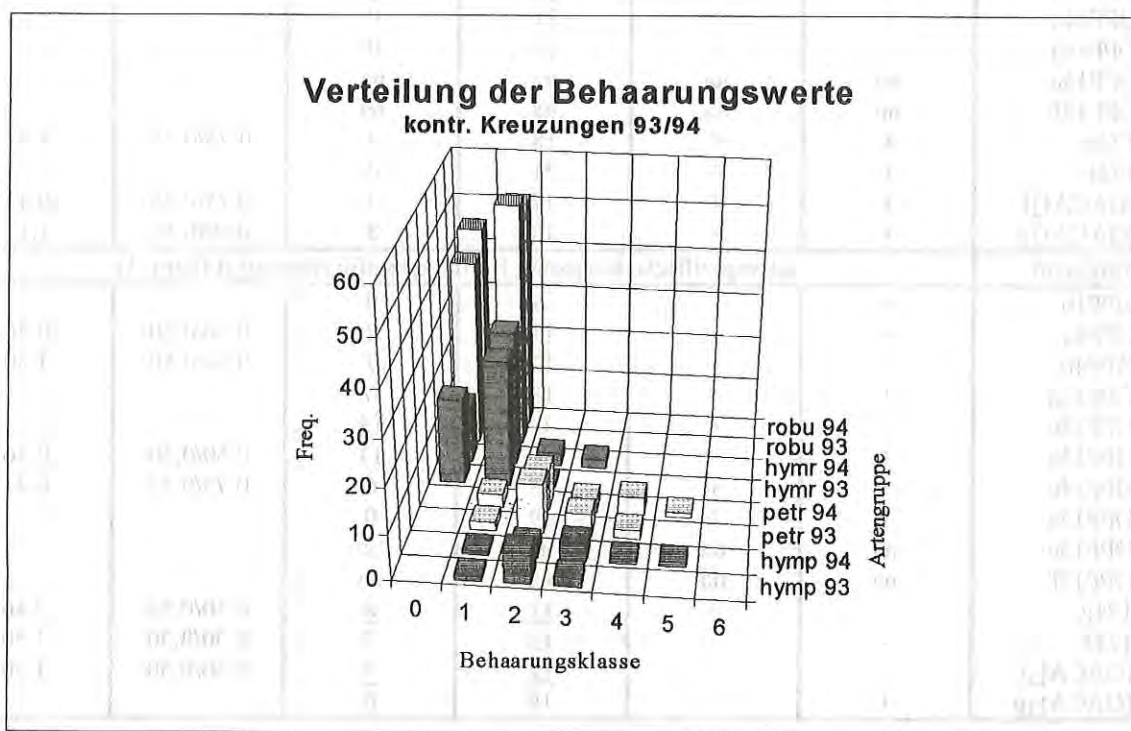


Abb. 2: Verteilung der Behaarungswerte für die kontrollierten Kreuzungen 1993 und 1994.

Distribution of the data obtained for leaf pubescence from the controlled crosses 1993 and 1994.

### 3.1.2 DNA-Analyse (RAPDs)

Die Analyse des Vererbungsmodus der Fragmente faßt die nachfolgende Tabelle 5 zusammen. RAPD-Banden sind dominante Marker.

Tab. 5: Phänotyp der Eltern und Segregation der Nachkommen kontrollierten interspezifischen Kreuzungen (Moreau et al. 1994).  
Parental phenotypes and segregation of the progenies from controlled interspecific crosses (MOREAU et al. 1994).

Fragment	Interspezifische Kreuzung A / Interspecific crossing A (Fam. 2)					
	Eltern / Parents		Nachkommenschaft/Offspring		Test	
	P a)	R b)	+ c)	- d)	Verhältnisse Proportions tested	G e)
OPF1b	+	-	12	9	0.50/0.50	0.42
OPF4a	-	-	0	21		
OPF4b	-	+	21	0	0.75/0.25	1.71
OPF12a	+	+	13	8		
OPF12c	-	-	<u>1</u>	<u>20</u>	0.50/0.50	15.53
OPF14a	+	-	<u>19</u>	<u>2</u>		
OPF14c	+	+	21	0	0.75/0.25	1.42
OPF15a	-	+	21	0		
OPF15e	na	na	na	na	0.50/0.50	1.17
OPF15f	na	na	na	na		
174g	+	+	18	3	0.75/0.25	1.42
174h	+	+	21	0		
[GACA] <sub>4f</sub>	+	+	17	4	0.75/0.25	0.41
[GACA] <sub>4g</sub>	+	-	13	8	0.50/0.50	1.17
Fragment	Interspezifische Kreuzung B / Interspecific crossing B (Fam. 1)					
OPF1b	+	+	19	0	0.50/0.50	0.46
OPF4a	+	-	11	8		
OPF4b	-	+	12	7	0.50/0.50	1.30
OPF12a	+	+	19	0	0.50/0.50	0.46
OPF12c	-	-	0	19		
OPF14a	+	-	8	11	0.50/0.50	0.46
OPF14c	+	+	13	6	0.75/0.25	0.41
OPF15a	+	+	19	0	0.50/0.50	0.46
OPF15e	na	na	na	na		
OPF15f	na	na	na	na	0.50/0.50	1.30
174g	-	-	<u>11</u>	<u>8</u>		
174h	-	+	12	7	0.50/0.50	1.30
[GACA] <sub>4f</sub>	-	-	<u>12</u>	<u>7</u>	0.50/0.50	1.30
[GACA] <sub>4g</sub>	+	+	19	0		

- a) P: Phänotyp des *Q. petraea*-Elters (+: Fragment vorhanden; -: Fragment fehlt)  
a) P: phenotype of the *Q. petraea* parent (+: fragment present; -: fragment absent)
- b) R: Phänotyp des *Q. robur*-Elters (+: Fragment vorhanden; -: Fragment fehlt)  
b) R: phenotype of the *Q. robur* parent (+: fragment present; -: fragment absent)
- c) +: Anzahl der Nachkommenschaften, die das Fragment aufweist  
c) +: number of offsprings exhibiting the fragment
- d) -: Anzahl der Nachkommenschaften, die das Fragment nicht aufweist  
d) -: number of offsprings not showing the fragment
- e) G: Wert des Log-Likelihood-Verhältnis-Tests test (G = 3.84 bei p = 0.05; G = 6.63 bei p = 0.01  
1 Freiheitsgrad)  
e) G: :value of the log-likelihood ratio test (G = 3.84 at p = 0.05; G = 6.63 at p = 0.01 with 1 df)
- na : keine Daten vorhanden / no data available
- Zahlenangaben in **Fettschrift** und unterstrichen zeigen Unstimmigkeiten zwischen den Eltern- und Nachkommenschafts-Phänotypen an. / Numbers in **bold characters** and underlined indicate discrepancies between parental and offsprings phenotypes.



Die unterstrichenen Ziffern zeigen Unstimmigkeiten zwischen dem Phänotyp der Eltern und dem der Nachkommen. Mögliche Ursachen hierfür könnten sein:

- Verunreinigungen bei der kontrollierten Kreuzung durch Fremdpollen;
- Probleme bei der Amplifikation der Eltern-DNA vorliegen, da bei den Nachkommen Banden auftreten, obwohl die Eltern diese nicht zeigen.

## 3.2 Abteilung 66a

### 3.2.1 Morphologische Untersuchungen

Abbildung 3 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Diskriminanzwerte nach ELSNER (1993) (Werte  $< 0$  für *Q. robur*; Werte  $> 0$  für *Q. petraea*; Werte zwischen -1 und 1 für intermediäre Formen). Man sieht, daß es sich bei dieser Verteilung um ein Kontinuum handelt. Der Diskriminanzwert trennt die beiden Arten also nicht in zwei diskrete Gruppen. Der Übergangsbereich zwischen den beiden Maxima stellt nach ELSNER (1993) die Intermediärformen dar. Hervorgehoben sind die Artgruppierungen nach DUPOUEY und BADEAU (1993), die noch etwas konservativer in der Beurteilung der Artzugehörigkeit sind als die Einteilung nach ELSNER (1993). Es werden nur die Individuen als Vertreter einer der beiden Arten eingestuft, die eine sehr arttypische Ausprägung des betrachteten Merkmals zeigen. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden Merkmalsunterschiede für die drei nach DUPOUEY und BADEAU's Diskriminanzwert gebildeten Gruppen betrachtet.

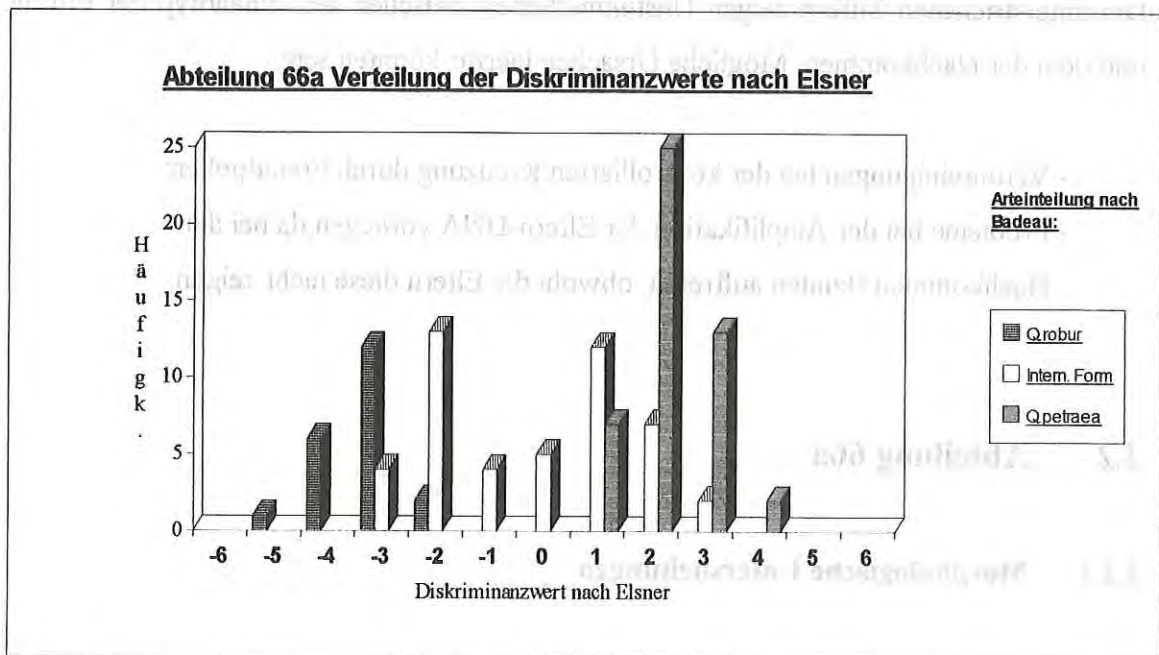


Abb. 3: Abteilung 66a: Verteilung der Diskriminanzwerte nach ELSNER (1993).

Compartment 66a: Distribution of discriminant score according to ELSNER (1993).

### 3.2.2 Genotypen an Enzymgenloci

Es wurden 10 Enzymsysteme untersucht, wovon eines (MDH) monomorph ist. In den Vergleich der Bestände gingen acht Enzymgenloci ein.

### 3.3 Vergleich der Ergebnisse von den Isoenzymuntersuchungen, RAPD-Fragmenten und morphologischen Untersuchungen

In der folgenden Tabelle 6 sind die berechneten Distanzen der Gruppen für die einzelnen Merkmale gegenübergestellt.

Tab. 6: Vergleich der errechneten Abstände für 3 Merkmale:  
Abt.66a (D), Petite Charnie (F).

Comparison of the distances calculated for 3 traits: Comptm. 66a (D), Petite Charnie (F).

**Genischer Abstand ( $d_0$ )** aufgrund der Allelhäufigkeiten von *acht Enzymgenloci* (PGM, PGI, IDH, ACP, LAP, AAP, MR, GOT):

**Genic distance ( $d_0$ )** basing on allele frequencies from eight enzyme gen loci (PGM, PGI, IDH, ACP, LAP, AAP, MR, GOT):

Gruppe	Q.r. Abt66a	I.F. Abt66a	Q.p. Abt66a	Q.r. PC	I.F. PC	Q.p. PC
Q.r. Abt66a	0,000					
I.F. Abt66a	0,126	0,000				
Q.p. Abt66a	<b>0,187</b>	0,108	0,000			
Q.r. PC	0,094	-	0,227	0,000		
I.F. PC	-	-	-	-	0,000	
Q.p. PC	0,162	-	0,082	<b>0,184</b>	-	0,000

**Phänotypischer Abstand ( $d_0$ )** aufgrund der Auswertung von 8 *Fragmenten von RAPDs* (OPF1b, OPF4b, OPF12a, OPF14a und c, OPF15a, 174h, [GACA]<sub>4</sub>f):

**Phenotypic distance ( $d_0$ )** basing on the evaluation of 8 *fragments of RAPDs* (OPF1b, OPF4b, OPF12a, OPF14a and c, OPF15a, 174h, [GACA]<sub>4</sub>f):

Gruppe	Q.r. Abt66a	I.F. Abt66a	Q.p. Abt66a	Q.r. PC	I.F. PC	Q.p. PC
Q.r. Abt66a	0,000					
I.F. Abt66a	0,251	0,000				
Q.p. Abt66a	<b>0,423</b>	0,179	0,000			
Q.r. PC	0,262	0,417	0,585	0,000		
I.F. PC	0,131	0,333	0,504	0,213	0,000	
Q.p. PC	0,548	0,297	0,147	<b>0,711</b>	0,630	0,000

**Phänotypischer Abstand ( $d_0$ )** nach Einteilung der 10 gemessenen *morphologischen Merkmale an Blättern* in fünf Klassen und anschließender Berechnung der Klassenbesetzung:

**Phenotypic distance ( $d_0$ )** based on the frequencies within 5 classes which were built up for each of the 10 measured *morphological leaf characters*:

Gruppe	Q.r. Abt66a	I.F. Abt66a	Q.p. Abt66a	Q.r. PC	I.F. PC	Q.p. PC
Q.r. Abt66a	0,000					
I.F. Abt66a	0,300	0,000				
Q.p. Abt66a	<b>0,564</b>	0,368	0,000			
Q.r. PC	0,265	0,446	0,683	0,000		
I.F. PC	0,301	0,381	0,66a1	0,121	0,000	
Q.p. PC	0,576	0,458	0,355	<b>0,548</b>	0,523	0,000

Betrachtet man für die Enzymgenloci die Abstände zwischen den Gruppen in Abteilung 66a, so ist der Abstand zwischen den reinen Arten größer als der zwischen den morphologischen Intermediärformen einerseits und den reinen Arten andererseits. Der Abstand zwischen den reinen Arten in Petite Charnie (wenn auch nach etwas anderer Arteinteilung) hat etwa die gleiche Größe wie der Abstand zwischen den reinen Arten in Abteilung 66a.

Für die Berechnung der Abstände aus den RAPDs ergeben sich innerhalb der Bestände die gleichen Tendenzen. Allerdings sind hier die errechneten Abstände absolut gesehen größer als die allelischen Abstände nach Isoenzymuntersuchungen. Auffallend ist, daß die Abstände in Petite Charnie größer sind als die vergleichbaren in Abt. 66a. Dies kann darauf beruhen, daß zur Analyse der RAPDs in Petite Charnie jeweils morphologisch typische Individuen herangezogen wurden.

Die Berechnung der phänotypischen Abstände auf Grund der Blattmorphologie für die Bestände zeigt wieder die gleichen Tendenzen zwischen den Gruppen. Die Abstände zwischen den reinen Arten sind größer als jene zwischen einer reinen Art auf der einen und den Intermediärformen auf der anderen Seite. Absolut gesehen sind die Abstände für die Blattmorphologie im Vergleich zu den anderen betrachteten Merkmalen am größten (Ausnahmen: *Q. robur* - *Q. petraea* in Petite Charnie und *Q. petraea* - intermediäre Formen in Petite Charnie für den phänotypischen Abstand nach RAPD-Analyse). In Tabelle 7 sind die Daten für die Gesamt-Differenzierung wiedergegeben. Die Werte für die Gesamt-Differenzierung ( $\delta_T$ ) der Gruppen liegen in Abt.66a bei *Q. petraea* höher als bei *Q. robur*. Dieser Trend zeigt sich bis auf die Isoenzymuntersuchungen auch in Petite Charnie, wobei er leicht durch die Anzahl der betrachteten Merkmale verändert werden kann ( - nimmt man die Fruchtmorphologie hinzu, so hat *Q. robur* in Abt.66a höhere Werte für das Differenzierungsmaß der Morphologie als *Q. petraea*). Die Größe der Differenzierung ( $\delta_T$ ) hängt für die quantitativen morphologischen Daten zudem von der Anzahl der gebildeten Klassen ab. Bildet man im Extrem für jedes Merkmal nur eine Klasse, so wird  $\delta_T = 0$ , bildet man unendlich viele Klassen, so erhält man für jede Population Werte von  $\delta_T = 1$ .

Die intermediären Formen haben - mit Ausnahme der Blattmorphologie in Petite Charnie - die größte Gesamt-Differenzierung. Dies liegt wahrscheinlich an der konservativen Arzuteilung nach dem Diskriminanzwert von DUPOUEY und BADEAU (1993), der relativ viele Individuen als Intermediärformen klassiert.

Tab. 7: Vergleich der Gesamt-Differenzierungsmaße  $\delta T$  für:

Comparison of total population differentiation  $\delta T$  for:

**a: Blattmorphologie mit allen gemeinsamen Merkmalen**

**a: Leaf morphology with all traits together**

Gruppe:	Q.r.	I.f.	Q.p.
Abt. 66a	0.376	0.535	0.431
Petite Charnie	0.340	0.388	0.466a

**b: RAPD-Fragmente (8 Banden von 7 Primern)**

**b: RAPD fragments (8 bands resulting from 7 primers)**

Gruppe	Q.r.	I.f.	Q.p.
Abt. 66a	0.336	0.462	0.400
Petite Charnie	0.250	0.307	0.260

**c: Genotypen an 8 Enzymloci: PGM PGI IDH ACP LAP AAP MR GOT:**

**c: Genotypes at 8 enzyme gene loci: PGM PGI IDH ACP LAP AAP MR GOT:**

Gruppe:	Q.r.	I.f.	Q.p.
Abt. 66a	0.316	0.345	0.328
Petite Charnie	0.370	-	0.342

Führt man eine Faktorenanalyse mit den Daten der DNA-Untersuchungen der Abt. 66a durch, so werden die auf Grund der Blattmorphologie gebildeten Gruppen getrennt, wenn auch nicht so deutlich wie bei einer Diskriminanzanalyse mit den morphologischen Daten. Projiziert man nun die Daten der beiden intraspezifischen Familien auf die ersten beiden Achsen der Analyse, so kann man zwei Dinge feststellen: erstens befinden sich die Arthybriden der kontrollierten Kreuzungen genau zwischen den Gruppen der morphologisch reinen Arten, und zweitens sind die morphologischen Intermediärformen über den ganzen Bereich verteilt. Die morphologischen Intermediärformen gruppieren sich also nicht ausschließlich im Bereich der F<sub>1</sub>-Hybriden der kontrollierten Kreuzungen. Die morphologischen Intermediärformen sind also nicht zwingendermaßen F<sub>1</sub>-Hybriden.

Gruppe	1	2	3
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00

#### 4. Diskussion

Zusammenfassend muß noch einmal hervorgehoben werden, daß es keine artspezifischen Marker gibt. Morphologische und RAPD-Daten sind in der Lage, mit Hilfe multivariater Verfahren die beiden Arten auf Individualebene zu unterscheiden, wobei die Grenzziehung zwischen den beiden Arten immer subjektiv ist. Mit Hilfe von Isoenzymuntersuchungen kann man Artunterschiede auf Populationsebene finden.

Bei der Untersuchung der Blattmorphologie der kontrollierten Kreuzungen zeigt sich, daß es eine juvenile Blattmorphologie gibt, die nicht direkt mit der Blattmorphologie adulter Individuen vergleichbar ist. Individuen interspezifischer Kreuzungen zeigen in den ersten fünf Jahren eine Blattmorphologie, die weitgehend der von intraspezifischen Kreuzungen der Mutterart entspricht, mit z.T. signifikanter Verschiebung der Verteilungsschwerpunkte in Richtung intermediärer Formen. In dieser Altersphase kann man also Arthybriden auf Individualebene nicht anhand der Blattmorphologie von den Innerartkreuzungen unterscheiden. Auf Populationsebene wäre eine Unterscheidung mit statistischer Sicherheit möglich. Sollte dieses Phänomen auch bei fortschreitender Alterung der Individuen stabil bleiben, so kann man F<sub>1</sub>-Hybriden in der Natur nicht anhand

ihrer intermediären Morphologie von reinen Arten unterscheiden. Intermediäre Formen adulter Bäume können vielmehr zum einen die Variationsbreite der reinen Arten widerspiegeln, zum anderen aber auch verschiedene Grade von Kreuzungen und Rückkreuzungen zwischen den Arten darstellen. Diese Aussage deckt sich mit dem Vergleich der RAPD-Fragmente der zwei Arthybridkreuzungen mit denen der Altbäume der Abteilung 66a.

Vergleicht man die verschiedenen Methoden zur Artunterscheidung in ihren Aussagen, so findet man, daß diese im wesentlichen gleichgerichtet sind. Je weiter das Merkmal von der genetischen Kontrolle entfernt ist, desto größer ist die Differenzierung zwischen den Arten. Welche von beiden Arten die größere Variabilität zeigt, hängt bei den morphologischen Merkmalen davon ab, ob man nur Blattmorphologie oder aber Blatt- und Fruchtmorphologie betrachtet. Für die untersuchten Bestände ergibt sich die Tendenz über alle Merkmale, daß die Traubeneiche eine größere Variation (gemessen als Gesamtdifferenzierung der Population  $\delta T$ ) zeigt als die Stieleiche.

Wichtig für die zukünftige Erforschung des Komplexes Stiel-/Traubeneiche wäre die weitere Beobachtung der Entwicklung der Blattmorphologie der kontrollierten Kreuzungen und Untersuchungen mit den oben beschriebenen Markern an Eltern mit ihren Nachkommen in gemischten Beständen.

## 5. Literatur

- AAS, G. (1988): Untersuchungen zur Trennung und Kreuzbarkeit von Stiel- und Traubeneiche (*Quercus Robur* L. und *Q. petraea* [Matt.] Liebl.). Dissertation, München.
- AAS, G. und FRIEDRICH, K. (1991): Untersuchungen zur morphologischen Unterscheidung von Stiel- und Traubeneicheln. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 110, S. 349-357.
- AAS, G. (1993): Taxonomical impact of morphological variation in *Quercus robur* and *Q. petraea*: a contribution to the hybrid controversy. *Annales des Sciences Forestières*. 50, Suppl.1, pp. 107s-113s.

- BACILIERI, R. (1994): Regime de reproduction et flux geniques dans un peuplement mixte de chêne sessile et chêne pedonculé. Thèse de l'Université de Montpellier, (in Vorbereitung).
- DENGLER, A. (1941): Bericht über Kreuzungsversuche zwischen Trauben- und Stieleiche und zwischen europäischer und japanischer Lärche. *Mitteilungen der Hermann-Göring-Akademie der deutschen Forstwissenschaft*, 1, S. 87-109.
- DUPOUEY, J.L. and BADEAU, V. (1993): Morphological variability of oaks (*Quercus robur* L, *Quercus petraea* [Matt] Liebl, *Quercus pubescens* Willd) in northeastern France: preliminary results. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl. 1, pp. 35s-40s.
- ELSNER, G. (1993): Morphological variability of oak stands (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) in northern Germany. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl 1, pp. 228s-232s.
- FOUGERE, V. (1988): Variabilité Electrophoretique et Morphologique du Chêne Sessile *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. et du Chêne Pedonculé *Quercus robur* L.. Université de Pau et des Pays de l'Adour, Diplome d'Etudes Approfondies (Ecologie Expérimentale), 53s.
- GARDINER, A.S. (1970): Pedunculate and sessile oak (*Quercus robur* L and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl). A review of the hybrid controversy. *Forestry*, 43, pp. 151-160.
- GILLET, E.M. (1994): *GSED* (Genetic Structures from Electrophoresis Data) Version 1.0, User's Manual, Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Universität Göttingen.
- GRANDJEAN, G. et. SIGAUD, P. (1987): Contribution à la taxonomie et à l'écologie des chênes du Berry. *Annales des Sciences Forestières*, 44(1), pp. 35s-66as.
- GREGORIUS, H.-R. (1974): Genetischer Abstand zwischen Populationen. I. Zur Konzeption der genetischen Abstandsmessung. *Silvae Genetica*, 23, S. 22-27.
- GREGORIUS H.-R. (1974): On the concept of genetic distance between populations based on gene frequencies. *Proceedings of the Joint IUFRO Meeting*, Session I, S02.04.1-3, Stockholm, pp. 17-26.
- GREGORIUS, H.-R. (1978): The concept of genetic diversity and its formal relationship to heterozygosity and genetic distance. *Mathematical Biosciences*, 41, pp. 253-271.
- GREGORIUS, H.-R. (1984): A unique genetic distance. *Biometrical Journal*, 26, pp. 13-18.
- GREGORIUS, H.-R. and ROBERDS, J.H. (1986): Measurement of genetical differentiation among subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics*, 71, pp. 826-834.



- GREGORIUS, H.-R. (1987): The relationship between the concepts of genetic diversity and differentiation. *Theoretical and Applied Genetics*, 74, pp. 397-401.
- GREGORIUS, H.-R. (1988): The meaning of genetic variation within and between subpopulations. *Theoretical and Applied Genetics*, 76, pp. 947-951.
- KRAHL-URBAN, J. (1959): Die Eichen - Forstliche Monographie der Traubeneiche und der Stieleiche. Paul Parey Verlag, Hamburg, 288 S.
- MEUSEL, H. (Ed.) (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora. Jena. Textband 583 S., Kartenband 258 S.
- MOREAU, F. (1993): Recherche de marqueurs appliquée a la differenciation moleculaire entre chêne sessile (*Quercus petraea*) et pedonculé (*Quercus robur*). Thèse, Université de Poitiers, Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées, Thèse no 593.
- MOREAU, F.; KLEINSCHMIT, J.R.G. and KREMER, A. (1994): Molecular differentiation between *Q. petraea* and *Q. robur* assessed by random amplified DNA Fragments. *Forest Genetics*, 1(1), pp. 51-64.
- RUSHTON, B.S. (1977): Artificial hybridization between *Quercus robur* L and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. *Watsonia*, 11, pp. 229-236.
- RUSHTON, B.S. (1983): An analysis of variation of leaf characters in *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. population samples from Northern Ireland. *Irish Forestry*, 40(2), pp. 52-77.
- SAGHAI-MAROOF, M.A.; SOLIMAN, K.M.; JORGENSEN, R. A. and ALLARD, R.W. (1984): Ribosomal DNA space-length polymorphism in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, vol. 81, pp. 8.014-8.018.
- STEINHOFF, S. (1993): Results of species hybridization with *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* [Matt.] Liebl. *Annales des Sciences Forestières*, 50, Suppl 1, pp. 137s-143s.
- ZANETTO, A. (1989): Polymorphisme enzymatique du Chêne Sessile *Quercus petraea* [Matt.] Liebl en France. Université de Pau et des Pays de l'Adour, Diplome d'Etudes Approfondies (Ecologie Expérimentale), 42s.

Bisher sind folgende Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz erschienen:

- |         |  |          |
|---------|--|----------|
| 1/1987  | Jahresbericht 1984-1986<br>ISSN 0931 - 9662  |          |
| 2/1987  | BLOCK, STELZER:<br>Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 3/1987  | BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, FRAUDE, HEIDINGSFELD:<br>Sondermeßprogramm Wald (SMW)<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 4/1987  | BEUTEL, BLOCK:<br>Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986)<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 5/1988  | Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und<br>Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt<br>als Dienstsitz am 10.04.1987<br>ISSN 0931 - 9662 | DM 12,-- |
| 6/1988  | Jahresbericht 1987<br>ISSN 0931 - 9662   |          |
| 7/1988  | BEUTEL, BLOCK:<br>Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987)<br>ISSN 0931 - 9662   | DM 12,-- |
| 8/1988  | GERECKE:<br>Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 30,-- |
| 9/1989  | Jahresbericht 1988<br>ISSN 0936 - 6067   |          |
| 10/1989 | HEIDINGSFELD:<br>Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in<br>Rheinland-Pfalz<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 25,-- |
| 11/1989 | BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN:<br>Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur<br>Wipfelköpfung der Fichte<br>ISSN 0931 - 9662                                       | DM 12,-- |
| 12/1989 | Jahresbericht 1989<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067   |          |
| 13/1990 | SCHÜLER:<br>Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun<br>- angelegt 1959 - heute noch aktuell?<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 14/1990 | BLOCK:<br>Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen<br>Waldgebieten 1984 - 1989<br>ISSN 0931 - 9662  | DM 12,-- |
| 15/1990 | Jahresbericht 1990<br>ISSN 0931 - 9662<br>ISSN 0936 - 6067   |          |

16/1991	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD, SCHRÖCK: Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983 - 1989 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
17/1991	BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD, ZOTH: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
18/1991	SCHÜLER, BUTZ-BRAUN, SCHÖNE: Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
19/1991	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionsschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
20/1992	Jahresbericht 1991 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
21/1992	AUTORENKOLLEKTIV Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldöko- systemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
22/1992	Jahresbericht 1992 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
23/1993	HEIDINGSFELD: Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustands- erhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden ISSN 0931 - 9662	DM 18,--
24/1993	BLOCK: Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
25/1994	WIERLING: Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes	DM 12,--
26/1994	Jahresbericht 1993 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
27/1994	OESTEN, ROEDER (Herausgeber): Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
28/1994	SCHRÖCK: Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
29/1994	FISCHER: Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.) Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen	DM 12,--

30/1994	SCHÜLER: Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988 bis 1992 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
31/1995	Jahresbericht 1994 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	DM 12,--
32/1995	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
33/1995	EISENBARTH: Schnittholzeigenschaften bei Lebendlagerung von Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) aus Wintersturmwurf 1990 in Abhängigkeit von Lagerart und Lagerdauer ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
34/1995	MAURER, TABEL (Herausgeber): Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten (Autorenkollektiv) ISSN 0931 - 9622	DM 15,--
DM 11	AUTORENKOLLEKTIV Der vergleichende Körperbauvergleich mit verschiedenen Pflanzenfamilien zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffen in Wäldern systemen Zusammenhänge zwischen Wald- und Luft- im Vorwort: "SMB"	DM 11,--
DM 18	HEIDINGERFELD Kleine Körper zum Luftbildersatz für großräumig gemessene Wälder erheben und zur bestmöglichen Kartierung herabgelagerter Wälder ISSN 0931 - 9662	DM 18,--
DM 12	BLOCK Verteilung und Verringerung von Schadstoffen in zwei Wäldersystemen in Rheinland-Pfalz: Wälder nach Kalk- und Stickstoffdüngung ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
DM 11	WIERTZ Zur Auswirkung von Wasserstoffperoxid und den Isoprenen für die Feinwirkung am Beispiel des Pflanzens Jahresbericht 1993 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	DM 11,--
DM 12	OPSTEN, RÖDTER (Herausgeber): Zur Verringerung der Luftschadstoffbelastung des Pflanzens ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
DM 12	SCHROCK Kontaminations- und Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflüsse ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
DM 12	FISCHER Untersuchung der Qualitätseigenschaften: Instandhaltung der Festigkeit von Pflanzenschnitzholz (Fichte) (Fischer) erzeugt aus nicht-wachsenden Stämmen	DM 12,--