

**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten**

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

**Schloß**

**D-67705 Trippstadt**

**Telefon: 06306-911-0**

**Telefax: 06306-2821**

**Nr. 29/94**

**Hubert W. Fischer**

**Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere  
der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz (*Pseudotsuga  
Menziesii* (Mirb.) Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten  
Stämmen**

**ISSN 0931 - 9662**

Diese Arbeit wurde in der vorliegenden Fassung als Dissertation bei der Forstlichen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen angenommen.  
(Betreuer: Prof. Dr. Gero Becker)

**Biege den Baum, soviel du magst,  
er wächst doch immer nach oben.**

- Tschechisches Sprichwort -

## Vorwort

Rheinland-Pfalz hat von allen Bundesländern die größte Douglasienfläche, sodaß Waldbau und Nutzung dieser Gastbaumart hier von besonderer Bedeutung sind. Daher hat das rheinland-pfälzische Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten bereits in den vergangenen Jahren kontinuierlich Untersuchungen angeregt und gefördert, die sich mit den waldbaulichen Eigenschaften, der Ästung, dem Gesundheitszustand und den holztechnologischen Eigenschaften der Douglasie befaßten.

Das Schwergewicht der Douglasienflächen liegt historisch bedingt in den jüngeren Altersklassen, sodaß bei dem gegebenen hohen Zuwachs der Holzvorrat und damit auch das Nutzungspotential ständig steigen. Diese Nutzungen fallen ganz überwiegend im Zuge von Pflegeeingriffen als schwächere, ungeästete Bäume an, deren Dimensionen sich durchaus für die Verwendung im Konstruktionsholzbereich eignen. Es erschien daher dringlich, die Kenntnisse über die Qualität des aus diesen Bäumen erzeugten Schnittholzes unter spezifisch rheinland-pfälzischen Verhältnissen zu vertiefen, um die Vermarktung dieser Sortimente auf bessere Grundlagen stützen zu können. Gleichzeitig sollten die Auswirkungen unterschiedlicher waldbaulicher Maßnahmen auf die Holzqualität geprüft werden.

Diesen Zielen dient die vorliegende Untersuchung, die im Rahmen einer engen Kooperation zwischen dem Institut für Forstbenutzung der Universität Göttingen und der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz entstanden ist. In diese vertrauensvolle Zusammenarbeit waren auch das Materialprüfamt der Universität Kaiserslautern, das Sägewerk Vatter in Schopp/Pfalz sowie die rheinland-pfälzischen Forstämter Boppard, Cochem, Hinterweidenthal-West und Kirchberg einbezogen. Der vorliegende Ergebnisbericht dokumentiert diese erfolgreiche Zusammenarbeit zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen und Betrieben der Holz- und Forstwirtschaft und kann als Beispiel zu weiteren Kooperationsvorhaben ermutigen.

*Gero Becker*

Institut für Forstbenutzung  
der Universität Göttingen

*Axel Roeder*

Forstliche Versuchsanstalt  
Rheinland-Pfalz

## Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand in den Jahren 1991 bis 1994 im Rahmen eines Kooperationsvertrages zwischen dem Institut für Forstbenutzung der Georg-August-Universität Göttingen und der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz in Trippstadt.

Das Vorhaben wurde vom damaligen Leiter des Holzverwertungsreferates des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Herrn MR Dr. Volker Düssel, initiiert. Ihm sei hierfür herzlich gedankt.

Herrn Prof. Dr. Gero Becker, dem Antragsteller und wissenschaftlichen Betreuer dieses Forschungsvorhabens, gilt mein besonderer Dank für die Themenstellung und die intensive, konsequente Betreuung. Den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Instituts für Forstbenutzung danke ich für vielfältige Anregungen und Diskussionen. Hervorzuheben an dieser Stelle ist Dr. František Hapla, der mir hinsichtlich Untersuchungsmethodik und statistischer Auswertung stets hilfreich zur Seite stand. Für die Bereitstellung der holzanatomischen Basisdaten von drei Versuchsbeständen, die im Rahmen von Diplomarbeiten am Institut für Forstbenutzung erarbeitet wurden, danke ich Frau Yvonne Christine Ulfers und Herrn Yu-Jen Lin.

Dank gebührt den zahlreichen studentischen Hilfskräften und den Mitarbeitern der Abteilung Arbeitswirtschaft und Forstnutzung der Forstlichen Versuchsanstalt, Frau Heike Ackermann, Frau Claudia Lemmen und Herrn Georg Happersberger, ohne die die umfangreiche und sorgfältige Datenerfassung im vorgesehenen Zeitraum nicht möglich gewesen wäre. Herrn Michael Jochum danke ich für die gewissenhafte Anfertigung der Graphiken. Den Herren Diplom-Biologen Thomas Becker, Dieter Falke und Mario Nenno spreche ich meinen Dank aus für ihre Leistungen bei der Datenverarbeitung und der statistischen Auswertung.

Bei den Forstdirektionen sowie den Forstamts- und den betroffenen Revierleitern der Forstämter Boppard (OFR Dr. Loskant), Cochem (FDir Dietrich), Hinterweidenthal-West (FDir Albert) und Kirchberg (FDir Schmittinger) bedanke ich mich für die Unterstützung bei der Versuchsflächenauswahl und der Probebaumentnahme.

Für den reibungslosen Ablauf beim Einschnitt des Versuchsholzes danke ich der Fa. Vatter in Schopp/Pfalz.

Herrn Dr.-Ing. Udo Schaefers vom Materialprüfamt der Universität Kaiserslautern danke ich für die sorgfältige technische Durchführung der zerstörenden Biegespannungsprüfungen an den Kanthölzern .

Ferner bedanke ich mich bei Frau Silvia Schwarz und Frau Christa Conrad, welche mit bemerkenswerter Geduld die Schreifarbeiten ausführten.

Die vorliegende Arbeit mag als Beleg für die Effizienz von Kooperationsabkommen zwischen einer universitären Forschungseinrichtung und einem mehr praxisorientierten Betriebsforschungsinstitut gelten. Die Bündelung des sachlichen, finanziellen und wissenschaftlichen Potentials ist somit für beide Seiten gleichermaßen von Nutzen.

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
<b>1. Einleitung und Problemstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>3. Stand des Wissens</b>	<b>4</b>
3.1 Allgemeines zur Douglasie	4
3.2 Holztechnologische Eigenschaften der Douglasie	8
<b>4. Versuchsplanung, Material und Methoden</b>	<b>16</b>
<b>4.1 Untersuchungskonzept</b>	<b>16</b>
4.1.1 Zielsetzung	16
4.1.2 Einflußgrößen	16
4.1.3 Zu untersuchende Eigenschaften	18
4.1.4 Stichprobenumfang	20
<b>4.2 Untersuchungsmaterial</b>	<b>21</b>
4.2.1 Versuchsbestände	21
4.2.2 Probebäume - Auswahl und Meßgrößen	24
4.2.3 Einteilprogramm und Einschnittmuster	25
<b>4.3 Untersuchte Parameter und methodisches Vorgehen</b>	<b>28</b>
4.3.1 Rundholz	28
4.3.2 Untersuchungen an den Stammscheiben	29
4.3.2.1 Jahrringbreite und Spätholzanteil	29
4.3.2.2 Kern- und Splintholzanteile	31
4.3.2.3 Darrdichte	32
4.3.3 Schnittholz	33
4.3.3.1 Visuelle Bewertung und Sortierung der Kanthölzer	34
4.3.3.1.1 Ästigkeit	35
4.3.3.1.2 Jahrringbreite	36
4.3.3.1.3 Faserneigung	36
4.3.3.2 Anteil juvenilen Holzes	37
4.3.3.3 Rohdichte der Kanthölzer	38

4.3.3.4	Dynamischer Biege-Elastizitätsmodul	38
4.3.3.5	Biegefestigkeit und Statischer Biege-Elastizitätsmodul	40
<b>4.4</b>	<b>Statistische Auswertung</b>	<b>44</b>
4.4.1	Datenerfassung und Datenverwaltung	44
4.4.2	Explorative Datenanalyse und deskriptive Statistik	44
4.4.3	Induktive Statistik	46
<b>5</b>	<b>Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Rundholz</b>	<b>49</b>
5.1.1	Baumdaten nach Beständen	49
5.1.2	Rundholzparameter der Abschnitte	52
5.1.3	Gütesortierung der Abschnitte	57
5.1.3.1	Sortierung nach CEN-Vornorm-Entwurf	58
5.1.3.2	Sortierung nach HKS	61
<b>5.2</b>	<b>Holzanatomische Kenngrößen</b>	<b>64</b>
5.2.1	Jahringbreite	64
5.2.2	Spätholzanteile	72
5.2.3	Kern- und Splintanteile	77
5.2.4	Darrdichte	82
5.2.5	Ergebniszusammenfassung der Untersuchung holzanatomischer und - physikalischer Kenngrößen anhand von Stammscheiben	88
<b>5.3</b>	<b>Schnittholz</b>	<b>91</b>
5.3.1	Holzqualität der Kanthölzer	91
5.3.1.1	Jahringbreite	91
5.3.1.2	Rohdichte	92
5.3.1.3	Ästigkeit	94
5.3.1.4	Anteil juvenilen Holzes	99
5.3.2	Visuelle Sortierung nach DIN 4074 Teil 1	101
5.3.3	Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer	104
5.3.4	Die anatomischen, physikalischen und elastomechanischen Eigenschaf- ten im Zusammenhang	113
5.3.4.1	Beziehungen zwischen Jahringbreite, Rohdichte und Anteil juvenilen Holzes	116
5.3.4.2	Beziehungen zwischen Jahringbreite und elasto- mechanischen Eigenschaften	119

5.3.4.3 Beziehungen zwischen Rohdichte und elastomechanischen Eigenschaften	121
5.3.4.4 Beziehungen zwischen Ästigkeit und elastomechanischen Eigenschaften	123
5.3.4.5 Beziehungen zwischen Anteil juvenilen Holzes und elastomechanischen Eigenschaften	127
5.3.4.6 Beziehungen zwischen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften	133
5.3.4.7 Multiple Zusammenhänge	135
5.3.5 Konsequenzen für eine der Douglasie angepaßte Sortierung	142
5.3.5.1 Vorschlag für eine modifizierte visuelle Sortierung nach DIN 4074	142
5.3.5.2 Vorschläge für eine maschinelle Sortierung mittels der Biege-Elastizitätsmodul	145
5.3.6 Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften von Kanthölzern und fehlerfreien Kleinproben	152
5.3.7 Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften von Schnittholz aus Fichte und Douglasie	154
5.3.8 Gegenüberstellung von Rund- und Schnittholzqualität	156
<b>5.4 Diskussion der Versuchsplanung im Rückblick</b>	<b>160</b>
<b>6. Wertung und Schlußfolgerungen</b>	<b>162</b>
<b>7. Zusammenfassung</b>	<b>172</b>
<b>8. Summary</b>	<b>178</b>
<b>9. Literatur</b>	<b>180</b>
<b>10. Anhang</b>	<b>192</b>
10.1 Abbildungsverzeichnis	192
10.2 Tabellenverzeichnis	196

# Wichtige Symbole und Abkürzungen

## 1. Bezeichnung der Versuchsflächen :

AEG	älterer, eng begründeter Douglasienbestand auf günstigem Standort im Forstamt Hinterweidenthal-West
AES	älterer, eng begründeter Douglasienbestand auf armem Standort im Forstamt Cochem
AWS	älterer, weitständig begründeter Douglasienbestand auf armem Standort im Forstamt Kirchberg
JEG	jüngerer, eng begründeter Douglasienbestand auf günstigem Standort im Forstamt Hinterweidenthal-West
JWG	jüngerer, weitständig begründeter Douglasienbestand auf günstigem Standort im Forstamt Boppard

## 2. Allgemein :

BHD	Brusthöhendurchmesser
CEN	Comité Européen de Normalisation
CMA	Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft
d, $\varnothing$	Durchmesser
$d_1$	Durchmesser 1m über dem Abtrieb
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EAQ <sub>DIN</sub>	größter Einzelastquotient nach DIN 4074
ECE	Economic Commission for Europe
$E_{dyn}$	dynamischer Biege-E-Modul
$E_{stat}$	statischer Biege-E-Modul
Efm	Erntefestmeter
EST	Erweiterter Sortentarif
EU	Europäische Union
GKI	Güteklasse
H/D	Verhältnis von Höhe zu Durchmesser in %
HKIVO	Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz
HKS	Handelsklassensortierung
ISO	International Organization for Standardization
JB	mittlere Jahrringbreite eines Querschnitts
KAR	"knot area ratio"; Astflächensumme, bezogen auf den Querschnitt eines Kantholzabschnitts von 150 mm Länge
KH	Kanthölzer
LFV	Landesforstverwaltung

MDM	Mittendurchmesser
MS 7, 10, 13, 17	Sortierklassen der maschinellen Sortierung nach DIN 4074 Teil 1
MSR	"machine stress rating"; maschinelle Festigkeitssortierung
m.R.	mit Rinde
o.R.	ohne Rinde
$r_0, \rho_0$	Darrdichte ( $u=0\%$ )
$r_{12}, \rho_{12}$	Rohdichte bei 12% Holzfeuchte
S 7, 10, 13	Sortierklassen nach DIN 4074 Teil 1
$\sigma_B$	Biegefestigkeit
u	Holzfeuchtigkeit in %
Z - Baum	Zukunftsbaum

### 3. Mathematisch-statistische Kenngrößen :

ANOVA	einfaktorielle Varianzanalyse
$\alpha$	Signifikanzniveau
$1-\beta$	Teststärke
B	Bestimmtheitsmaß
$\delta$	Genauigkeitsvorgabe
F-Wert	Prüfgröße bei der schrittweisen multiplen Regression
$H_0$	Nullhypothese
k	Anzahl Gruppen
max	Maximalwert
min	Minimalwert
MSE	"mean square for error"; Fehlervarianz
N, n	Stichprobenumfang
P	Prüfwahrscheinlichkeit der Testhypothesen
r	einfacher Korrelationskoeffizient nach PEARSON
$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach SPEARMAN
$\Sigma$	Summe
$\sigma^2$	Varianz
s	Standardabweichung
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
$y'$	Standardschätzfehler der y-Werte um die Regressionsgerade ( 95%-Konfidenzintervall )

1. Einleitung	1
2. Die Aufgabenstellung	2
3. Die Lösungsmethoden	3
4. Die Ergebnisse	4
5. Zusammenfassung	5
6. Literaturverzeichnis	6
7. Anhang	7
8. Schlusswort	8
9. Index	9
10. Bibliographie	10
11. Glossar	11
12. Formeln	12
13. Tabellen	13
14. Diagramme	14
15. Abbildungen	15
16. Zeichnungen	16
17. Skizzen	17
18. Proben	18
19. Modelle	19
20. Experimente	20
21. Berechnungen	21
22. Messungen	22
23. Beobachtungen	23
24. Diskussion	24
25. Fazit	25
26. Ausblick	26
27. Danksagung	27
28. Impressum	28
29. Kontakt	29
30. Impressum	30

2. Die Aufgabenstellung

2.1. Aufgabenstellung	2.1
2.2. Zielsetzung	2.2
2.3. Methodik	2.3
2.4. Ergebnisse	2.4
2.5. Zusammenfassung	2.5
2.6. Literaturverzeichnis	2.6
2.7. Anhang	2.7
2.8. Schlusswort	2.8
2.9. Index	2.9
2.10. Bibliographie	2.10
2.11. Glossar	2.11
2.12. Formeln	2.12
2.13. Tabellen	2.13
2.14. Diagramme	2.14
2.15. Abbildungen	2.15
2.16. Zeichnungen	2.16
2.17. Skizzen	2.17
2.18. Proben	2.18
2.19. Modelle	2.19
2.20. Experimente	2.20
2.21. Berechnungen	2.21
2.22. Messungen	2.22
2.23. Beobachtungen	2.23
2.24. Diskussion	2.24
2.25. Fazit	2.25
2.26. Ausblick	2.26
2.27. Danksagung	2.27
2.28. Impressum	2.28
2.29. Kontakt	2.29
2.30. Impressum	2.30

Die Aufgabenstellung ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

# 1. Einleitung und Problemstellung

Die Gastbaumart Douglasie hat in den waldbaulichen Planungen aller Bundesländer, aber auch im Hinblick auf ihren Anteil an den in den letzten Jahrzehnten begründeten Beständen eine große Bedeutung erlangt. Dies gilt für Rheinland-Pfalz in ganz besonderem Maße. Neben der ausgeprägten waldbaulichen und standörtlichen Anpassungsfähigkeit und der hohen Massenleistung sind vor allem die erwarteten günstigen (Wert-) Holzeigenschaften ein Grund für diesen bisherigen Anbauerfolg. Unter Wertholz ist hochwertiges Holz mittlerer und stärkerer Dimension zur Schnittholz-, nach Möglichkeit aber zur Furnierholzerzeugung in langen Umtriebszeiten zu verstehen. Dabei werden vielfach Parallelen zu der holztechnologischen und optischen Qualität des in den nord-amerikanischen Küstengebirgen unter urwaldähnlichen Bedingungen in den "Old Growth"-Beständen erwachsenen Douglasienholzes gezogen. Es besteht jedoch weitgehende Übereinstimmung, daß die unter den bisherigen Bedingungen hierzulande heranwachsenden Douglasien diese Qualitätserwartungen nicht ohne weiteres in vollem Umfang erfüllen werden. Daß dies jedoch prinzipiell möglich ist, zeigen vereinzelt Douglasienstarkholzvorkommen, welche - Ende des vorigen Jahrhunderts begründet - unter in dieser Hinsicht günstigen Bedingungen heranwuchsen.

Gezielte waldbauliche Behandlung in der Jugend, bestehend aus der Wahl nicht zu weiter Pflanzverbände und insbesondere Wertästungsmaßnahmen, soll dazu beitragen, auch unter den in Mitteleuropa gegebenen standörtlichen, waldbaulichen und ökonomischen Bedingungen vermehrt Wertholz zu erzeugen.

Je nach den regional unterschiedlich formulierten Ästungsrichtlinien werden dabei maximal nur die unteren 12 m, häufig jedoch nur 3 bis 6 m des Schaftes wertgeästet. Bei einer zu erwartenden Zielhöhe des Douglasienendbestandes von je nach Standort etwa 35 bis 50 m bedeutet dies, daß im Endbestand höchstens die Hälfte, häufig jedoch nur das untere Drittel des gesamten Schaftes gesichert Wertholzeigenschaften erreichen kann.

Da sich aus wirtschaftlichen Gründen die Wertästung in Höhen über 2,5 m lediglich auf den zukünftigen Endbestand und allenfalls mögliche zusätzliche Reservebäume konzentriert, fallen weiterhin im Laufe des Bestandeslebens im Wege der Durchforstung nicht geästete Stämme in erheblicher Zahl an.

Je nach Ausgangsstammzahl und Behandlungskonzept führen deshalb überschlägige Schätzungen zu dem Ergebnis, daß rund die Hälfte der Stammholzproduktion eines Douglasienbestandes mittlerer Bonität nicht wertgeästet auf den Markt kommt.

Wegen der fehlenden, natürlichen Astreinigung - die Douglasie gilt als ausgesprochener Totasterhalter - und der Neigung zu Starkästigkeit, vor allem bei solchen waldbaulichen Modellen, die auf eine geringe Stammzahlhaltung von Jugend an abzielen, gewinnen und behalten damit die Äste als festigkeits- und qualitätsbestimmendes Merkmal ein hervorragendes Gewicht. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund der in der nächsten Zukunft voraussichtlich zunehmenden Bedeutung maschineller Festigkeitssortierung von Bauschnittholz.

Ein weiterer wesentlicher methodischer Aspekt dieser Untersuchung ist die Prüfung der Festigkeitseigenschaften von Schnittholz in Gebrauchsdimensionen. Bislang liegen lediglich zwei Großzahluntersuchungen über inländisches Douglasienschnittholz in Gebrauchsabmessungen vor (MÖHLER und BEYERSDORFER, 1987; SAUTER, 1992), deren Ergebnisse jedoch nicht ohne weiteres auf rheinland-pfälzisches Douglasienholz zu übertragen sind. Für andere Nadelholzarten wie Fichte, Tanne und Kiefer konnte bereits nachgewiesen werden, daß die Ergebnisse der Werkstoffprüfung an kleinen, fehlerfreien Normproben keineswegs auf Schnittholz in praxisüblichen Abmessungen übertragen werden können. Die verbreitete Unkenntnis der Eigenschaften heimischen Douglasienholzes ist angesichts der wachsenden Angebotsmenge an sägefähigem Holz eine ernstzunehmende Herausforderung für die angewandte Holzforschung. Die nach wie vor vorhandenen Unsicherheiten bezüglich der Verwendung von Douglasienholz in Handwerk und Sägeindustrie machen eine eindeutige Berücksichtigung der Douglasie mit ihren baumartspezifischen Eigenschaften in der technischen Literatur und den DIN-Vorschriften unerlässlich. Dabei läßt nur eine Stratifizierung des Materials bezüglich der möglichen Einflußfaktoren auf die Holzqualität gesicherte Ergebnisse erwarten. Hieraus leitet sich die Notwendigkeit von Untersuchungen auf Basis repräsentativer Stichprobenumfänge ab.

## 2. Zielsetzung

Zielsetzung vorliegender Untersuchung ist es, zu prüfen, welche Qualitäts- und insbesondere Festigkeitseigenschaften das im Rahmen von Durchforstungen aus nicht-wertgeästetem Douglasienstammholz erzeugte Schnittholz aufweist und wie diese Eigenschaften in Abhängigkeit von Alter, Standort und waldbaulicher Behandlung des Bestandes variieren. Die Untersuchung bezieht sich ausschließlich auf Douglasien aus rheinland-pfälzischen Wäldern. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Prüfung von Kanthölzern in Gebrauchsabmessungen.

Die wichtigsten Einflußgrößen (unabhängige Variablen) und damit entsprechend zu berücksichtigen sind Provenienz, Alter, Standort, Pflanzverband und Standraum.

Als Zielgrößen (abhängige Variablen) und damit als zu untersuchende Qualitätsmerkmale sind in diesem Zusammenhang von Bedeutung:

- Gütemerkmale und Güteklassenverteilung des Rundholzes unter besonderer Berücksichtigung der äußeren Ästigkeit
- Holzanatomische Merkmale (Jahringbau, Kern-, Splintanteile)
- Holzphysikalische Merkmale (Darr- bzw. Rohdichte)
- Gütemerkmale und Güteklassenanteile des Schnittholzes nach visueller Sortierung unter besonderer Berücksichtigung der inneren Ästigkeit
- Festigkeitswerte und Festigkeitsklassen maschinell zerstörungsfrei sortierten Schnittholzes
- Festigkeitswerte aus zerstörenden Biegespannungsprüfungen in Gebrauchsabmessungen.

Die Verknüpfung der Rundholzqualitätsmerkmale mit den Ergebnissen der verschiedenen Schnittholzsortierungsvarianten sowie der Festigkeitsprüfungen erlaubt detaillierte Aussagen über die Eignung nicht-wertgeästeten Douglasienstammholzes zur Erzeugung von Bauschnittholz und über den eventuellen Einfluß von unterschiedlichem Alter, waldbaulicher Behandlung und Standort auf die Variation seiner qualitätsbestimmenden Eigenschaften.

### 3. Stand des Wissens

#### 3.1 Allgemeines zur Douglasie

Schon im 19. Jahrhundert nutzten Forstleute die Möglichkeit, das in Mitteleuropa nach der Eiszeit verbliebene verhältnismäßig arme Baumartenspektrum durch fremdländische Baumarten, von denen man sich insbesondere eine höhere Wuchsleistung erhoffte, anzureichern. Erstmals beschrieben wurde die Douglasie 1792 von MENZIES auf Vancouver Island. Aus ihrer Heimat, dem pazifischen Nordwesten Nordamerikas, wurde die Douglasie zunächst 1803 nach Großbritannien eingeführt. Einige Jahre später kam sie über die Baumschule BOOTH bei Hamburg nach Deutschland. Den ersten forstlichen Douglasienanbau in Deutschland unternahm Fürst BISMARCK im Sachsenwald im Jahre 1880 (OESCHGER, 1975). Ebenfalls auf Anregung BISMARCKS wurden fremdländische Baumarten in das Versuchsprogramm der deutschen forstlichen Versuchsanstalten einbezogen (OESCHGER, 1975), was für die schnelle Verbreitung der Douglasie nicht unerheblich gewesen sein dürfte. Fossile Funde aus dem Tertiär belegen, daß die Gattung *Pseudotsuga* vor der letzten Eiszeit in Mitteleuropa heimisch war, wobei diese Arten gänzlich ausgestorben sind. *Pseudotsuga menziesii* ist mit diesen Arten keinesfalls identisch (HERMANN, 1981), so daß es sich nicht etwa um eine Wiedereinbürgerung handelt.

Nach KAISER und PURPS (1991) gibt es aus Sicht des Naturschutzes nach gegenwärtigem Kenntnisstand keine entscheidenden Gründe, die den Douglasienanbau ausschließen, sofern der Anbau verantwortungsbewußt geschieht.

Den Anbau geeigneter Herkünfte (SCHOBER, 1959; OTTO und KLEINSCHMIT, 1975; JESTAEDT, 1979) auf geeigneten Standorten (JAHN, 1959; KRAMER, 1963; SCHOBER, 1963) vorausgesetzt, erreicht die Douglasie hohe Wuchsleistungen. Auf fast allen Standorten ist sie der Fichte überlegen (JAHN, 1959; RIEBELING, 1979). Ihre außerordentliche Massenleistung auch auf schwachen Standorten in Verbindung mit ihren günstigen Holzeigenschaften führte dazu, daß die Douglasie zur bedeutendsten fremdländischen Baumart in Deutschland wurde (HENNE, 1970; v. PECHMANN und COURTOIS, 1970 a, b; KAISER und PURPS, 1991).

Darüber hinaus erfüllt die Douglasie als einzige von zehn in nennenswertem Umfang angebauten fremdländischen Baumarten den von OTTO (1993) postulierten Kriterienkatalog für den Anbau nicht standortsheimischer Baumarten. Die Kriterien sind Standortanpassung, Bodenpfleglichkeit, Krankheitsverbreitung, Anfälligkeit gegen Schäden, Misch-

barkeit, Naturverjüngungsmöglichkeit, Möglichkeit zu vielfältigen Waldstrukturen (naturnaher Waldbau). Damit sprechen nicht nur vielfältige ökonomische Gründe, sondern auch ökologische Aspekte für ihren weiteren Anbau bzw. die Ausweitung ihrer Anbaufläche.

HERMANN (1981) gibt einen umfassenden Überblick über die Gliederung des natürlichen Verbreitungsgebietes der Douglasie. Er unterscheidet vier Formen, von denen die "grüne" Küstendouglasie (Varietät *Viridis*) sich für den Anbau in Mitteleuropa am besten eignet. Die meisten der erfolgreichen ersten Anbauten dürften aus diesem Bereich stammen. Innerhalb dieses großen Areals gibt es kleinräumige Unterschiede hinsichtlich Wuchsverhalten und ökologischen Ansprüchen, womit möglicherweise einzelne Mißerfolge beim Anbau oder ungünstige Holzeigenschaften zu erklären sind.

Die sehr standortstolerante Douglasie eignet sich für den Anbau auf fast allen Standorten (JAHN, 1959; KRAMER, 1963; SCHOBER, 1963). Ausnahmen bilden dichtgelagerte, vernässungsgefährdete Böden (STRITTMATTER, 1979), extreme Frostlagen oder auch freier Kalk im Oberboden. Nach OTTO (1993) eignen sich in Niedersachsen rund zwei Drittel der gesamten Waldfläche für den Douglasienanbau. PETRI (1986) stellte "schockiert" fest, daß 90 % der Waldfläche der rheinland-pfälzischen Forstdirektionsbereiche Koblenz und Trier für die Douglasie nicht ungeeignet seien. Die Douglasie eignet sich demnach vorrangig für Standorte, auf denen es für die Fichte zu trocken ist und auf denen Kiefer und Laubbäume keine ökonomische Alternative darstellen (JAHN, 1954; HENNE, 1970; OTTO, 1972; WEIDENBACH, 1980; PETRI, 1986; KRAMER, 1988).

Nicht alle potentiellen Standorte können und sollen der Douglasie zugewiesen werden. Die derzeitige Douglasienfläche in den alten Bundesländern beträgt gemäß Bundeswaldinventur 1987 120.000 ha, das sind 1,6 % der Wirtschaftswaldfläche. In den neuen Bundesländern beträgt die Douglasien-Holzbodenfläche rd. 14.000 ha. Diese Zahl ergibt sich aus den Unterlagen des sog. Waldfonds der ehemaligen DDR und ist nur mit Vorbehalten brauchbar. Nach den Ergebnissen der Bundeswaldinventur ist Rheinland-Pfalz das douglasienreichste Bundesland mit 38.139 ha, entsprechend 5,1 % der gesamten Wirtschaftswaldfläche. Im öffentlichen Wald beträgt dieser Anteil knapp 6 %. Im Rahmen der langfristigen Anbauplanung sind gemäß Landeswaldprogramm für die Douglasie 14 % vorgesehen (PETRI, 1986). Das Bundesland mit dem zweitgrößten Douglasienanteil ist Baden-Württemberg, wo die Douglasie im öffentlichen Wald langfristig 7 % der Holzbodenfläche einnehmen soll (MOOSMAYER, 1977; WEIDENBACH et al., 1989). Nach OTTO (1993) ist in Niedersachsen, dem Bundesland mit dem drittgrößten Douglasienanteil, sehr langfristig ein Douglasienanteil von etwa 10 % geplant. All dies belegt, daß der

Douglasienanteil und damit die ökonomische Bedeutung in Deutschland weiter ansteigen wird. MAHLER (1993) beziffert die potentielle Gesamtnutzungsmenge im öffentlichen Wald der Bundesländer Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz auf Grundlage der Bundeswaldinventur auf je nach Eingriffsstärke zwischen 480.000 und 690.000 Efm o. R. je Jahr, was etwa dem Vierfachen der derzeit genutzten Menge darstellt (SAUTER, 1993). In Rheinland-Pfalz betrug die tatsächliche Einschlagsmenge im öffentlichen Wald im Mittel der Jahre 1987 bis 1990 beispielsweise rund 83.000 Efm o. R.

Die Douglasie ist die wirtschaftlich bedeutsamste Baumart des nordamerikanischen Nordwestens (HERMANN, 1988). HILF und MAISENBACHER (1962) beziffern den Anteil der Douglasie auf 27 % am Gesamtvorrat des sägefähigen Holzes. Außerhalb ihres natürlichen Vorkommens befinden sich die Hauptanbaugebiete in Mitteleuropa, vorwiegend Deutschland, West- und Südeuropa sowie auf der Südhemisphäre in Neuseeland. Über Anbaueignung und Wuchsverhalten liegen international zahlreiche Arbeiten vor.

Vorrangiges Ziel der Douglasienwirtschaft in Deutschland ist die Wertholzerzeugung, wenn auch SACHSSE (1991) ihre Zukunft zunächst als Massenh Holzart sieht. Die rheinland-pfälzischen Waldbaurichtlinien (1983/1987) unterscheiden drei Produktionszieltypen: Douglasienbestände mit hoher, mittlerer und noch mittlerer Gesamtwertleistung. Die beiden ersteren sind zur Wert- und Starkholzerzeugung vorgesehen, die letztere ist für schwache Standorte geplant, wo die Douglasie eine gegenüber anderen Baumarten immer noch überlegene Leistung erbringt, wobei ihre Holzqualität die der beiden erstgenannten Produktionszieltypen möglicherweise sogar übersteigen kann. Zur Bewertung der Gesamtleistung einer Baumart sei an dieser Stelle SPEIDEL (1967) zitiert: "Für die Beurteilung der Gesamtleistung in Abhängigkeit von Art und Stärke der Durchforstung spielen neben der Volumenleistung die Qualität, d. h. Geradschaftigkeit, Vollholzigkeit, Ästigkeit, Jahrringbreite, Drehwuchs, innere Homogenität und Holzfehler und die Stärke eine Rolle. Die Qualität und die Stärke beeinflussen die Sortenzusammensetzung und damit den durchschnittlichen Holzpreis je fm".

Im Vergleich zu waldbaulichen Zielvorstellungen anderer Bundesländer kann die Praxis der Bestandesbehandlung in Rheinland-Pfalz eher als vorsichtig eingestuft werden. Je nach Standort schwanken die empfohlenen Ausgangsbaumzahlen zwischen 3000 und 1700 Pflanzen je Hektar. Mit ein Grund für diese vergleichsweise hohen Stammzahlen waren die Ergebnisse der Untersuchungen von HAPLA (1980) sowie HAPLA und KNIGGE (1985 a) über den Einfluß der Bestandesbegründung und Durchforstung auf die Holzeigenschaften. Die Jungbestandspflege erfolgt durch Negativauswahl, nach deren Abschluß die Zielstammzahl von 1800 nicht unterschritten werden soll. Bei der Oberhö-

he von  $\pm 10$  m werden 400 Z-Baumanwärter ausgewählt und in der ersten Ästungsstufe auf 5 bis 6 m Höhe geästet. Durch diese hohe Zahl von geästeten Z-Baumanwärttern wird erreicht, daß schon bei Durchforstungen ab Alter 80 geästetes Stammholz anfällt. Bei Oberhöhe 11 bis 17 m beginnt die planmäßige Auslesedurchforstung, die etwa 200 Z-Bäume in räumlich günstiger Verteilung anstrebt. Die Auswahl der Z-Bäume erfolgt in der Reihenfolge der Kriterien Gesundheit und Vitalität, Qualität sowie Standraumverteilung. Auf besseren Standorten mit dem Ziel der Wertholzproduktion wird die Auslesedurchforstung mehr in Anlehnung an eine mäßige Durchforstung, auf schwächeren Standorten mit vorwiegendem Ziel der Massenerzeugung mehr in Anlehnung an die Richtzahlen einer starken Durchforstung nach Ertragstafel BERGEL (1985) durchgeführt. In besonders ästungswürdigen Beständen wird eine Hochästung auf 10 bis 12 m vorgenommen (Merkblatt "Wertästung" der LFV Rheinland-Pfalz, 1989). Diese soll spätestens 80 Jahre vor dem entsprechenden Erntealter bzw. Erreichen der Zielstärke vorgenommen werden. Seit 1993 gelten im öffentlichen Wald von Rheinland-Pfalz die "Ziele und Grundsätze einer ökologischen Waldentwicklung". Im Rahmen dieser Grundsätze des naturnahen Waldbaus wurde die Zielstärkennutzung eingeführt, was i. d. R. eine Erhöhung der Erntealter nach sich zieht. Das Ziel der Stark- und Wertholzproduktion wird damit unterstrichen.

Beiträge zur Douglasienwirtschaft in Niedersachsen haben v. TUYLL und KRAMER (1981), STRATMANN (1983), OTTO (1987), SPELLMANN und NAGEL (1989) geliefert.

Nach OTTO (1987) werden maximal 2500 Pflanzen je ha ausgebracht, die schon bei einer Höhe von 3 m auf 1500 bis 2000 je ha zurückgeführt werden. Die Durchforstung ist ausschließlich Z-Baum-orientiert, von denen 250 bis 300 ausgewählt werden. Die Umtriebszeit ist im Sinne eines naturnahen Waldbaus nicht exakt definiert. Das im Vergleich zu Rheinland-Pfalz stammzahlärmere Konzept wird durch höhere Deckungsbeiträge der Erstdurchforstung und höhere Betriebssicherheit begründet. Die Holzqualität, der durch Ästung Rechnung getragen wird, ist damit von eher nachgeordneter Bedeutung.

Auch das Behandlungskonzept in Baden-Württemberg ist generell stammzahlärmer. Untersuchungsergebnisse liegen von KENK und UNFRIED (1980), WEIDENBACH (1980), KENK (1981), WICKEL (1983) sowie KENK und HRADETZKY (1984) vor. In der Richtlinie zur Bestandespflege der LFV Baden-Württemberg wird von 1350 Pflanzen je ha zu Beginn der Eingriffe ausgegangen. Die Durchforstungen sind ebenfalls ausschließlich Z-Baum-bezogen, von denen etwa 80 bis 200 bei einer Oberhöhe von 10 m nach Reduktion auf ca. 1000 Bestandesglieder je ha ausgewählt werden. Die Auslese-

durchforstung im Sinne der Förderung der ausgewählten Z-Bäume setzt bei 15 m Oberhöhe ein. Die angestrebte Holzqualität soll durch eine zweistufige Wertästung auf 10 m Höhe erreicht werden.

Als Extrembeispiel der Standraumregulierung sei das "Solitärprogramm 1987" von ABETZ angeführt. In 3 bis 5 m hohen Dickungen standortsgerechter Betriebszieltypen werden die Baumzahlen selektiv auf die angestrebte einfache bzw. doppelte Endbaumzahl (bei Douglasie 100 bzw. 200/ha) reduziert (ABETZ, 1991). Die Zielsetzung ist unter anderem die Ermittlung waldwachstumskundlicher Eckwerte für extrem stammzahlarme Z-Baum-bezogene Auslesedurchforstungsmodelle, bei denen möglichst geringe, meist defizitäre Vornutzungen anfallen. Auf die erzielbaren Holzqualitäten darf man gespannt sein. Ein gewisses Maß an Skepsis dürfte angebracht sein, da die Sicherung der Holzqualität wiederum ausschließlich durch Ästungsmaßnahmen angestrebt wird. Das Produktionsziel Starkholz bei hoher Stabilität erscheint durchaus realisierbar, wohingegen die Produktion von Wertholz ausgeschlossen sein dürfte. Dies entspricht auch nicht den Hauptzielsetzungen des Solitärprogramms.

Den Stand der waldbaulichen Behandlung der Douglasie in ihrer Heimat beschreiben KRAMER und SMITH (1985) sowie HERMANN (1988). Um teure Jungbestandspflegemaßnahmen zu umgehen, werden die Bestände dort mit teilweise weniger als 1000 Pflanzen begründet. Als Umtriebszeiten sind minimal 40, maximal 110 Jahre vorgesehen. Entsprechend wird nur ein- bis zweimal durchforstet. Ästungsmaßnahmen wurden bislang nicht durchgeführt, werden jedoch für die Zukunft erwogen (KELLOGG, 1989).

Unschwer ist zu erkennen, daß die unterschiedliche waldbauliche Behandlung der Douglasie, abhängig von verschiedenartigen Zielvorstellungen und Randbedingungen, keine homogene Holzqualität dieser Baumart erwarten läßt. Die Abhängigkeit der Holzeigenschaften vom vielfach variablen Baumwachstum ist Gegenstand und eine wichtige Zielsetzung forstlich ausgerichteter Holzforschung. Deren Ergebnisse wiederum erlauben eine qualitätsbezogene Beurteilung bzw. Anweisung für waldbauliches Handeln.

### **3.2 Holztechnologische Eigenschaften der Douglasie**

Über das Holz der Douglasie liegen international zahlreiche Veröffentlichungen vor, die in der flächenmäßigen und damit wirtschaftlichen Bedeutung dieser Baumart begründet sind. Zuletzt gibt SAUTER (1992) darüber einen aktuellen, umfassenden Überblick, weshalb in dieser Arbeit auf eine ausführliche Darstellung des zusammengetragenen

Wissensstandes verzichtet werden soll. Im folgenden werden daher nur diejenigen Arbeiten, die für vorliegende Untersuchung von besonderer Relevanz sind, zitiert. Die Sichtung der vorhandenen Literatur ist insbesondere auch notwendig, um den spezifischen Forschungsansatz dieses Projektes zu formulieren und gegenüber anderen Untersuchungen abzugrenzen.

Die wichtigsten Arbeiten der Nachkriegszeit über die Holzeigenschaften von in Deutschland gewachsenen Douglasien stammen von GÖHRE (1955 a, b; 1958 a), KLAUDITZ und STOLLEY (1957), KNIGGE (1958), HILF und MAISENBACHER (1962, 1963, 1964), LÖFFLER (1966), v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a, b), KOLTZENBURG (1979 a, b), SACHSSE (1991) und SAUTER (1992).

GÖHRE (1955 a, b) untersuchte zunächst die Rohdichte des Holzes und faßte zusammen: "Das in Europa erwachsene Douglasienholz besitzt die gleiche Rohdichte wie das in Amerika erwachsene." 1958 trug GÖHRE die Erfahrungen mit der Douglasie in der ehemaligen DDR in einem Standardwerk zusammen, worin die wichtigsten holzphysikalischen Eigenschaften beschrieben sind. Die Holzprüfungen erfolgten dabei fast ausschließlich an fehlerfreien Normproben von neun Douglasienstämmen im Alter von 64 bis 73 Jahren.

KLAUDITZ und STOLLEY (1957) untersuchten an neun 60 bis 74 Jahre alten Stämmen aus verschiedenen Forstämtern Niedersachsens die technologischen Eigenschaften an Stammscheiben. Auch einige Biege- und Zugfestigkeitsversuche an Kleinproben wurden durchgeführt. Sie stellten eine höhere Inhomogenität der Holzeigenschaften im Vergleich zu anderen Nadelholzarten fest, v. a. bedingt durch den Dichtekontrast zwischen Früh- und Spätholz. Als ein Grund dieser Unterschiede werden unterschiedliche Standortverhältnisse vermutet.

An neun 47 bis 75 Jahre alten nordwestdeutschen Douglasienstämmen untersuchte KNIGGE (1958) anhand von Stammscheiben und fehlerfreien Kleinproben Jahrringstruktur, Rohdichte und elastomechanische Eigenschaften. Als erster zeigte er für Douglasie die Variation dieser Eigenschaften in Abhängigkeit von Alter und Lage im Stamm systematisch auf. Er stellte fest, daß die Rohdichte in Mitteleuropa offensichtlich von Osten nach Westen absinkt, dennoch aber über amerikanischen Dichtewerten liegt. Er sah als Möglichkeit der Homogenisierung der danach seitens der Industrie beanstandeten Holzqualität insbesondere geeignete waldbauliche Maßnahmen.

Mit der Schnittholzqualität der Douglasie befaßten sich HILF und MAISENBACHER (1962, 1963, 1964). Ihre betriebswirtschaftlich orientierten Einschnittversuche nach verschiedenen Einschnittmustern an sieben teilweise geästeten Douglasienstämmen

umfaßten auch die Beurteilung der Furniertauglichkeit. Als Hauptmangel stellten sie die Ästigkeit heraus, die mit der Höhe im Stamm zunimmt. Voraussetzungen für die Wertholzerzeugung sind danach rechtzeitige Ästung sowie hohe Umtriebszeiten. Nach HILF und MAISENBACHER (1962) erreicht ungeästetes Douglasienholz ab Alter von 80 Jahren die beste Verwertungsmöglichkeit, ist aber zur Starkholzerzeugung kaum geeignet.

Die aus dem Blickwinkel der Holzverwendung bedeutendste Arbeit für die rheinland-pfälzische Douglasienwirtschaft stammt von v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a, b). An stehenden und liegenden Probestämmen aus 24 Beständen im Alter zwischen 51 und 83 Jahren untersuchten sie zunächst Jahrringbau, Schaftformen, äußere Ästigkeit, Faserlänge und Raumdichte sowie an fehlerfreien Kleinproben von insgesamt drei Stämmen einige mechanische Holzeigenschaften. Die große Streuung der Standortsqualität, der waldbaulichen Behandlung und des Alters spiegelt sich in ihren Untersuchungsergebnissen wider. Hinsichtlich der Dichte werden die Ergebnisse von KNIGGE (1958), GÖHRE (1958 a) und PAUL (1963) bestätigt. Die Autoren stellen als Folgerung die Forderung nach einem gleichmäßigen Jahrringbau besonders hervor, wobei sie auf eine maximal zulässige absolute Ringbreite von 2,5 mm (PAUL, 1963) zur Schäl furnierherstellung hinweisen. Auch der Einfluß jugendlichen Holzes findet erstmals für die Douglasie Beachtung.

Im zweiten Teil der Untersuchung behandelten die Autoren Schnittholzqualität (ausschließlich von Brettern) und Furniereignung. Einschnittversuche an 24 Probestämmen, die entweder zu spät oder ungeästet waren, ergaben insgesamt eine eher unbefriedigende Schnittholzqualität. 94 % aller Fehler beruhten auf der Ästigkeit. Die Messerfurniertauglichkeit wurde günstiger beurteilt als die Schäl furniereignung. Die Einschränkungen ergaben sich aus der Dimension, der Jahrringbreite, dem Frühholzanteil sowie der Ästigkeit. Dagegen wurde die gute Eignung als Fensterholz hervorgehoben, was durch eine Studie der CMA (1986) bestätigt wurde. Fazit beider Teiluntersuchungen war, daß Douglasienwertholz auf geeigneten Standorten nur durch ein mittels waldbaulicher Maßnahmen gedämpftes Jugendwachstum erzeugt werden kann. Weitere Grundvoraussetzungen sind die Ästung sowie die entsprechende Stärke bzw. Alter.

1966 geben LÖFFLER, 1979 KOLTZENBURG einen zusammenfassenden Überblick über die Eigenschaften und Verwertung des einheimischen Douglasienholzes. 1991 aktualisierte SACHSSE diese Erkenntnisse. Auch er sieht die Einschränkung einer hochwertigen Verwendung durch die oftmals grobe Jahrringstruktur und in der Starkästigkeit. Er empfiehlt aufgrund der Untersuchungen von HAPLA (1980) eine Vergleichmäßigung der Jahrringbreiten v. a. durch gemäßigttes Jugendwachstum. Auf die Ästung

soll keinesfalls verzichtet werden, wobei SACHSSE aufgrund eigener Arbeiten (1973, 1983, 1985) die Hochästung mit der Klettersäge KS 31 (MUSSONG, 1991) wegen der dabei aufgetretenen Stammschäden eher kritisch sieht und einer Ästungshöhe von nur 6,5 m bei höherer Stammzahl den Vorzug gibt. Bei dieser Ästungshöhe, die auch manuell zu bewerkstelligen sei, sieht er zudem ökonomische Vorteile (SACHSSE und KÜTHE, 1987).

Als höchste Form der Wertschöpfung aus Rundholz gilt allgemein die Furniererzeugung. Über erste Versuche an einheimischen Douglasien berichten v. PECHMANN und COURTOIS (1970 b). Zur Tauglichkeit als Messerfurnier nehmen BÜCHER und ACHTERBERG (1987) und NAKE und ACHTERBERG (1989) positiv Stellung, wohingegen ihre Schälversuche bei absoluten Jahrringbreiten von bis zu 6 mm fehlschlugen, da sich dabei das Frühholz vom Spätholz abtrennte. Daß sich Schälholz auch bei Jahrringbreiten, die über den von PAUL (1963) geforderten 2,5 mm liegen, erzeugen läßt, geht aus dem "Douglas-Fir Log Grades" für Britisch Kolumbien (BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF FORESTS, 1980) hervor. Danach sind Jahrringbreiten bis 4 mm zulässig. SACHSSE und ROFFAEL (1993) bestätigen grundsätzlich die Eignung zur Schäl-furnierherstellung unter der Voraussetzung rechtzeitiger Ästung und nicht zu extremer Jahrringbreiten. Von großer Bedeutung für die Furnierqualität sind weiterhin der Dichte-contrast im Jahrring wie auch Holzfeuchte bzw. Frische. SACHSSE und ROFFAEL (1993) stellen das komplexe Zusammenwirken von Holzeigenschaften und Schäl- bzw. Schneidetechnologie heraus und bestätigen damit die Erfahrungen von MOTHE et al. (1991).

SAUTER (1992) untersuchte die technologischen Eigenschaften einheimischen Douglasienholzes an 47 südwestdeutschen Altdouglasien im Alter zwischen 80 und 106 Jahren, wobei er den Schwerpunkt auf die Darstellung der im Vergleich zu anderen Nadelhölzern höheren Bandbreite dieser Eigenschaften als Ergebnis unterschiedlicher Wachstumsbedingungen legte. Die Holzprüfungen, auch als zerstörende Festigkeitsprüfung, erfolgten ausschließlich in Gebrauchsabmessungen. Darrdichte und Ästigkeit hatten den größten Einfluß auf die Biege- und Zugfestigkeiten der Kanthölzer bzw. Brettlamellen. Er konnte aufzeigen, daß die Festigkeit selbst bei ungünstiger Prüfkörperanordnung (d.h. Hauptfehlerlage im Zugbereich) mindestens die Festigkeiten einheimischen Fichten- und Tannenholzes erreichten. Der große Einfluß juvenilen Holzes auf die mechanischen Eigenschaften von Douglasienschnittholz wurde deutlich. Die Sortierkriterien der geltenden visuellen Sortierung deckten die Festigkeitsreserven der Kanthölzer nicht auf. Die Bestimmung des E-Moduls nach dem Eigenfrequenzprinzip sieht er als rationelle und erwiesene Möglichkeit, künftig Schnittholz maschinell zu sortieren. Zur Erzeugung

hochwertigen Douglasienbauholzes betont er die Standraumregulierung, ohne allerdings konkrete Aussagen über Pflanzverbandsweite bzw. Stammzahlhaltung über das Bestandesleben hinweg zu machen.

Die Untersuchung der Beziehungen zwischen den elastomechanischen Eigenschaften und holzanatomischen sowie -physikalischen Basismerkmalen in Abhängigkeit von Alter, Standort, Standraum sowie Lage im Stamm ist hauptsächlichlicher Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Im Gegensatz bzw. Ergänzung zu SAUTER sind die untersuchten Bäume keine geästeten Altdouglasien, sondern jüngere, überwiegend ungeästete Douglasien aus Durchforstungen. Die vorliegende Arbeit unterscheidet sich außerdem grundsätzlich dadurch, daß nicht die Bandbreite der Holzqualität, sondern die Holzqualität von Durchforstungsmaterial bestimmter Bestände, die sich nach Alter, Standort und Standraum in typischer Weise unterscheiden, untersucht wird.

Der Wissensstand über den Einfluß von Jahrringbreite, Spätholzanteil, Rohdichte, Anteil juvenilen Holzes auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften wurde von SAUTER (1992) bereits aktuell zusammengetragen. Deshalb wird auf diese Untersuchungen erst im Ergebnisteil dieser Arbeit im Rahmen der Diskussion Bezug genommen.

Über die Abhängigkeit der Holzqualität der Douglasie vom Standort wird in den Arbeiten von GÖHRE (1955 b), KLAUDITZ und STOLLEY (1957), GÖHRE (1958 b), KNIGGE (1958) und KNIGGE (1962) berichtet. KNIGGE fand 1958 an neun nordwestdeutschen Douglasien mit zunehmender Standortsgüte größere Jahrringbreiten, größere Früh- und Spätholzbreiten und höhere Spätholzanteile. Andere Kennwerte, insbesondere die Dichtewerte und die elastomechanischen Eigenschaften, zeigten keine Abhängigkeit von der Standortsgüte. Nach Untersuchungen an nordamerikanischen Douglasien fand KNIGGE (1962) eine Abnahme der Dichte mit der Seehöhe und dem Ertragsniveau.

Die Auslotung der Möglichkeiten und Grenzen, durch waldbauliches Handeln gestaltenden Einfluß auf die Holzqualität auszuüben, ist seit jeher ein Bemühen geregelter Forstwirtschaft. Die allgemein wirtschaftlich schwierige Lage der Forstwirtschaft wird dazu führen, daß in absehbarer Zukunft der Standraumgestaltung als waldbaulicher Maßnahme auch unter ökonomischen Aspekten zur Erzeugung möglichst hoher Holzqualitäten ("biologische Automation") wachsende Bedeutung zukommt. Schon die forstlichen Klassiker wie DU HAMEL DU MONCEAU (1764), HARTIG (1884) sowie GAYER und FABRICIUS (1949) berichteten in ihren Werken zu diesem Thema. An inländischer Literatur über die wichtigsten Nadelbaumarten seien die Arbeiten von KNIGGE (1961), v. PECHMANN (1974), GROSS (1988) und GRAMMEL (1989, 1990) angeführt. Über

die Auswirkungen unterschiedlicher Standraumgestaltung auf die Holzqualität der Eiche publizierten BECKER et al. (1990), HAPLA und BECKER (1990) sowie SACHSSE und GRÜNEBAUM (1990). OLIVER-VILLANUEVA (1993) untersuchte die Esche unter ähnlichen Aspekten. Auf die Notwendigkeit der waldbaulichen Einflußnahme insbesondere auf das jugendliche Wachstum der Douglasie weisen die meisten Autoren hin, beispielsweise sollen KNIGGE (1958), v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a, b), HAPLA (1980) sowie HAPLA und KNIGGE (1985) erwähnt werden. In den beiden letztgenannten Arbeiten werden die Auswirkungen von Pflanzverband und Durchforstungsmaßnahmen auf die Holzeigenschaften untersucht.

Einen unkonventionellen Ansatz formulierte HARRIS (1967), der die Holzdichte als Maßstab für die Durchforstung von Douglasienbeständen in Neuseeland ansah, da eine definierte Rohdichte gleichbleibend hohe elastomechanische Eigenschaften ermöglichte. In der nordamerikanischen Literatur verweisen BRAZIER (1973, 1977), HARRIS (1978, 1985) sowie HARRY und SMITH (1980) auf Abhängigkeit der Holzeigenschaften von Ausgangspflanzverband und Stammzahlhaltung.

Ein Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt auf der zerstörenden Biegefestigkeitsprüfung von Douglasien-Kanthölzern in Gebrauchsabmessungen. Diese sog. Gebrauchsprüfung hat die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften von Holzkörpern in Gebrauchsabmessungen, wie z.B. im vorliegenden Fall von Kanthölzern, zum Ziel. Im Gegensatz zur Werkstoffprüfung an kleinen, fehlerfreien Proben - sog. Normproben - wirken sich bei der Gebrauchsprüfung sämtliche festigkeitsbestimmenden Eigenschaften wie etwa Jahrringbreite sowie Roh- bzw. Darrdichte, die innerhalb des Prüfkörpers variieren können, und v.a. Fehler des Holzes wie Ästigkeit, Faserneigung, Risse, Krümmungen usw. aus und beeinflussen das Ergebnis summarisch (KNIGGE und SCHULZ, 1966). Wegen ihrer praktischen Aussagekraft gewinnt die Gebrauchsprüfung zwar zunehmend an Bedeutung, doch müssen mehrere Punkte, die einschränkend wirken, bedacht werden: Die Prüfeinrichtungen sind von großer Dimension und kapitalintensiv, weshalb meist nur Materialprüfanstalten damit ausgestattet sind. Sollen die Ergebnisse eine vergleichbare statistische Absicherung aufweisen, ist für die Gebrauchsprüfung ein erhöhter Stichprobenumfang und damit ein unverhältnismäßig höherer Aufwand an Material und Kosten als bei Werkstoffprüfungen erforderlich. Es treten oftmals große Streuungen der Ergebnisse auf, was Ausdruck vielfältiger Einflußfaktoren ist, die getrennt zu analysieren Schwierigkeiten bereiten kann. Da die Gebrauchsprüfung nach unterschiedlichen Methoden bzw. Normen - z.B. DIN 52186 oder ISO 8375 - durchgeführt werden kann, sind die Ergebnisse nicht ohne weiteres vergleichbar (KNIGGE und SCHULZ, 1966; GLOS, 1981). Nach MARCHAND (1983) eignen sich die Ergebnisse von Gebrauchsprüfungen

jedoch besser zur Festlegung von zulässigen Spannungen in der konstruktiven Holzverwendung, da auf Basis der Ergebnisse von Werkstoffprüfungen tendenziell zu hohe Sicherheitsfaktoren angesetzt werden müssen.

GALILEO GALILEI untersuchte anlässlich seiner Eindrücke und Erfahrungen beim Bau von Galeeren auch die Belastungsfähigkeit von Holz. Er mag daher als Vater der modernen Holzprüfung gelten, als er 1638 in seinen "Discorsi e Dimostrazioni Matematiche" die erste Gebrauchsprüfung von Holz beschrieb. GALILEI untersuchte die Bruchfestigkeit eines einseitig befestigten Balkens, der an seinem frei schwingenden Ende durch ein Gewicht belastet wurde. Schon damals erkannte er den "Höheneffekt" von Prüfkörpern, wonach die Festigkeit mit der Breite proportional, mit der Höhe jedoch quadratisch zunimmt. Im 18. Jahrhundert beschrieb DU HAMEL DU MONCEAU (1764) Gebrauchsprüfungen an Holz. 1904 veröffentlichte JANKA erstmalig Ergebnisse von Großzahl-Untersuchungen der elastomechanischen Eigenschaften von Fichtenbauholz in Österreich. In der deutschsprachigen Literatur gibt KOLLMANN (1951) einen umfassenden Überblick über die Gebrauchsprüfung, der von GLOS (1981) aktualisiert wurde. In der neueren mitteleuropäischen Literatur, in der über Grosszahl-Gebrauchsprüfungen von Nadelschnittholz berichtet wird, sind die Arbeiten über Fichte von HEIMESHOF und GLOS (1980), MARCHAND und FUX (1983), GLOS und SPENGLER (1985), GLOS und SCHULZ (1986), GRAMMEL et al. (1986), GLOS und DIEBOLD (1987), MARCHAND (1987), GLOS et al. (1988), NEPVEU und BLACHON (1989) sowie GLOS und HENRICI (1991) anzuführen. Über Kiefer berichteten GLOS und SCHULZ (1986), GLOS et al. (1986) sowie NEPVEU und BLACHON (1989). Ergebnisse von Gebrauchsprüfungen an Weißtanne liegen von GRAMMEL et al. (1986), GROSS (1988) sowie NEPVEU und BLACHON (1989) vor. Die Pazifische Edeltanne wurde von NIEPAGEN (1993), die Große Küstentanne von RIEBEL (1993) untersucht. Gebrauchsprüfungen an Douglasie führten MÖHLER und BEYERSDORFER (1987), NEPVEU und BLACHON (1989) sowie SAUTER (1992) durch. MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) untersuchten als erste grossmaßstäbig u.a. Biege- und Druckfestigkeit von 111 unterschiedlich dimensionierten Douglasien-Kanthölzern aus acht Stämmen zweier Bestände in Baden-Württemberg. Sie stellten eine leichte Überlegenheit der Douglasie hinsichtlich der wesentlichsten Festigkeitseigenschaften im Vergleich zur Fichte (GRAF, 1938; GLOS und SPENGLER, 1985) fest und kamen zu dem Schluß, daß Douglasien-Bauschnittholz bei der Bemessung nach den Vorschriften der Holzbaunormen DIN 1052 wie die übrigen europäischen Nadelhölzer behandelt werden kann. Jedoch weisen sie auch auf Probleme bei der Verarbeitung hin. Einflüsse von z.B. waldbaulicher Behandlung oder Standort auf das Wachstum bzw. die Holzeigenschaften zu untersuchen, war nicht das Ziel dieser rein technologisch orientierten Untersuchung,

sodaß die entsprechenden Kennwerte nicht als unabhängige Variablen berücksichtigt wurden.

In den letzten Jahren gewinnt die maschinelle Festigkeitssortierung zunehmende Bedeutung, was nicht zuletzt durch die Aufnahme der maschinellen Sortierung in DIN 4074 "Sortierung von Nadelholz nach der Tragfähigkeit" belegt wird. Sortiermaschine und Bedienungspersonal unterliegen besonderen Anforderungen nach Teil 3 und 4 dieser Norm. Über die drei Sortierklassen der visuellen Sortierung nach DIN 4074 Teil 1 hinaus wird mit der maschinellen Sortierung zusätzlich die Sortierklasse MS 17 - Schnittholz von besonders hoher Tragfähigkeit - eingeführt. Nach GLOS (1986) und BOSTROM (1992) erfolgte die maschinelle Sortierung in Betrieben der Holzindustrie bisher ganz überwiegend mittels Biegesortiermaschinen ("stress grading"). Neuere Sortiermaschinen arbeiten nach dem Vibrations-, Durchschallungs- und Durchstrahlungsprinzip sowie mittels Laser-, Mikrowellen- und elektronischer Bildverarbeitungstechnik (BEALL, 1987, 1988; FALK und ROSS, 1990; STEIGER, 1991; NAKAMURA et al., 1992; NEGRI, 1992; SANDOZ, 1992; ROSS, 1992; BECKER, 1993). Diese neuen Methoden und Techniken müssen durch Biegeversuche für die betreffenden Holzarten und Dimensionen überprüft und statistisch abgesichert werden (GÖRLACHER, 1990). Wenn dies gelingt, können diese neuen Maschinen den herkömmlichen Biegemaschinen bei der Qualitätssicherung und insbesondere bei der zerstörungsfreien Materialprüfung überlegen sein. Die neueste Prüfmaschinenentwicklung, die in Deutschland zur maschinellen Sortierung von Brettschichtholz eingesetzt wird, beruht auf der Kombination von Durchbiegungs- und Durchstrahlungsprinzip. Durch die Kombination beider Messprinzipien werden die jeweiligen Nachteile der einzelnen Messmethoden ausgeglichen (ANONYMUS, 1994).

## **4. Versuchsplanung, Material und Methoden**

### **4.1 Untersuchungskonzept**

#### **4.1.1 Zielsetzung**

Ziel der Untersuchung ist, zu prüfen, welche Qualitäts- und insbesondere Festigkeitseigenschaften das im Rahmen der Durchforstung aus nicht-wertgeästeten Douglasienstammholz erzeugte Bauschnittholz aufweist, und wie diese Eigenschaften in Abhängigkeit von Alter, Standraum und Standort variieren. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Prüfung der elastomechanischen Eigenschaften von Kanthölzern in Gebrauchsabmessungen. Die Untersuchung bezieht sich ausschließlich auf Douglasien aus rheinland-pfälzischen Waldbeständen.

Im Gegensatz zu SAUTER (1992), der die Bandbreite der Holzeigenschaften der Douglasie anhand von insgesamt 47 Altdouglasien aus zehn südwestdeutschen Beständen darstellte, liegt dieser Untersuchung ein bestandesweiser Ansatz zugrunde. Aus den nachfolgend aufgeführten, zu untersuchenden Eigenschaften des Rund- und Schnittholzes sollen insbesondere Einflüsse von waldbaulicher Behandlung und Standort auf die Holzeigenschaften untersucht werden.

#### **4.1.2 Einflußgrößen**

Die unabhängigen Variablen "Standort, Standraum, Alter" werden auf ihre Auswirkungen auf die Zielvariablen überprüft. Die Wahl dieser unabhängigen Variablen ist Ergebnis grundsätzlicher Überlegungen, welche Faktoren das Wachstum und damit einhergehend die Holzqualität beeinflussen können. Zudem sind diese Faktoren mindestens näherungsweise quantifizierbar.

Klima und Boden prägen den Standort. Beide Standortsfaktoren setzen sich aus vielen Einzelfaktoren zusammen, die sich gegenseitig beeinflussen. Will man in der Holzforschung die komplexen Einflüsse des Standorts untersuchen, müssen andere wichtige Einflußvariablen wie waldbauliche Behandlung, Herkunft, Alter möglichst gleich gehalten werden. Wie das Wachstum der Douglasie von den Standortsfaktoren bestimmt wird, ist durch viele Untersuchungen belegt. Um nur ein Beispiel anzuführen, sei die Arbeit

von KNIGGE (1962) genannt, der die Rohdichte nordamerikanischer Douglasien unter verschiedenen Standortsbedingungen untersuchte.

Die zweite unabhängige Variable, die waldbauliche Behandlung, umfaßt die Standraumregulierung des Einzelbaumes von der Bestandesbegründung, über Jungwuchs -sowie Jungbestandspflege bis hin zu Durchforstungsmaßnahmen, nach deren Abschluß die Zielstammzahl erreicht wird. Die Standraumgestaltung ist der durch waldbauliches Handeln am meisten beeinflussbare Wirkungskomplex, von dem u. a. Durchmesserwachstum, Kronenform und -länge und damit auch das Wachstum der Äste maßgeblich bestimmt werden. Von diesen Merkmalen sind wiederum die Eigenschaften des Rund- und Schnittholzes weitgehend abhängig.

Die Einflüsse des Standraums auf qualitätsrelevante Stamm- und Holzstrukturmerkmale von Koniferen sind vielfach untersucht und belegt. Unter sonst gleichen Bedingungen steigen die Jahrringbreiten sowie die Aststärken bei zunehmenden Standraum. Dieses ist einhelliges Ergebnis von Untersuchungen sowohl über die Baumart Fichte (ABETZ, 1970, 1975, 1987; MERKEL, 1967; ABETZ und MERKEL, 1968; ABETZ und UNFRIED, 1983) als auch über die Douglasie (KENK und UNFRIED, 1980; HAPLA, 1980; KENK, 1981).

Das Alter wurde als dritte unabhängige Variable gewählt. Als altersabhängig gelten u. a. die Merkmale Jahrringbreite (KNIGGE, 1958; HILF, 1959 a; v. PECHMANN und COURTOIS, 1970 a; BOSSHARD, 1974; METTE, 1984), Spätholzanteil (KNIGGE, 1958) sowie die Dichte (GÖHRE, 1955 a, b; KNIGGE, 1958). Diese Basiseigenschaften beeinflussen wiederum wesentlich die mechanisch-technologischen Eigenschaften des Douglasienholzes.

Die Einflußvariablen "Standort, Standraum, Alter" wurden mit je zwei Varianten ausgestattet, wobei hinsichtlich des Standorts und des Standraums möglichst große Unterschiede angestrebt wurden. Als Altersstufen wurden 60- und 80-jährige Durchforstungsbestände gewählt. Aus der Kombination der unabhängigen Variablen ergeben sich acht mögliche Varianten (Versuchbestände), die nachfolgend aufgelistet sind.

Tab. 1: Mögliche Varianten nach Einflußvariablen

Alter	Standraum	eng (E)		weit (W)	
	Standort	gut (G)	schlecht (S)	gut (G)	schlecht (S)
60 (J)		JBG	JES	JWG	JWS
80 (A)		ABG	AES	AWG	AWS

Von diesen acht möglichen Varianten - im weiteren mit dem entsprechenden Kürzeln typisiert - wurden fünf (in Tab. 1 punktiert unterlegt) untersucht. Vor allem der hohe zeitliche und finanzielle Aufwand für die als Großzahluntersuchung angestellte zerstörende Biegespannungsprüfung der Kanthölzer war als begrenzender Faktor ausschlaggebend. Weiterhin konnte ein Bestand AWG nicht gefunden werden, die jüngeren Bestände JES und JWS hätten möglicherweise nicht die erforderlichen Stamm- bzw. Abschnittsdimensionen zur Erzeugung ausreichender Kantholzanzahlen erbracht.

#### 4.1.3 Zu untersuchende Eigenschaften

Die abhängigen Variablen (Zielvariablen) können generell nach Rund- und Schnittholzparametern unterschieden werden. Um Beziehungen zwischen den Eigenschaften des Rundholzes und der Schnittholzqualität aufdecken zu können, erfolgt die Erfassung der relevanten Zielvariablen gemäß dem Schema in Abbildung 1.

Zur Beschreibung der Baummorphologie des stehenden Baumes werden die BAUMPARAMETER erhoben. Die Erfassung der STAMMPARAMETER dient der Beschreibung des Stammes bis zu einer Sortimentslänge von 21 m. Unter BLOCKPARAMETERN sind alle Eigenschaften erfaßt, welche die Ermittlung der Dimension und Rundholzqualität der einheitlich 4 m langen Versuchsabschnitte erfordert. Auf den Ergebnissen dieser Messungen basiert deren Gütesortierung nach HKS (Handelsklassensortierung) und dem Vornorm-Entwurf des CEN (Comité Européen de Normalisation). Am Schnittholz in Form von Kanthölzern der einheitlichen Dimension 8 x 16 x 288 cm (B x H x L) aus drei unterschiedlichen Stammhöhen werden alle KANTHOLZPARAMETER untersucht, die für die visuelle Sortierung nach DIN 4074 Teil I benötigt werden. An den Kanthölzern wird der Anteil juvenilen Holzes bestimmt. Der dynamische Elastizitätsmodul wird nach dem Eigenfrequenzprinzip zerstörungsfrei bestimmt. Letzter Untersuchungsschritt ist die zerstörende Biegespannungsprüfung parallel zur Faser nach DIN 52186, womit als wichtigste Zielvariable die Biegefestigkeit festgestellt wird. Bei der Biegespannungsprüfung wird auch der statische Biegeelastizitätsmodul ermittelt.

Zur weiteren Charakterisierung sowohl der Einzelbäume als auch der Bestände dienen Stammscheiben aus den entsprechenden Stammhöhen, an denen grundlegende holz-anatomische und -physikalische Eigenschaften ermittelt werden können.

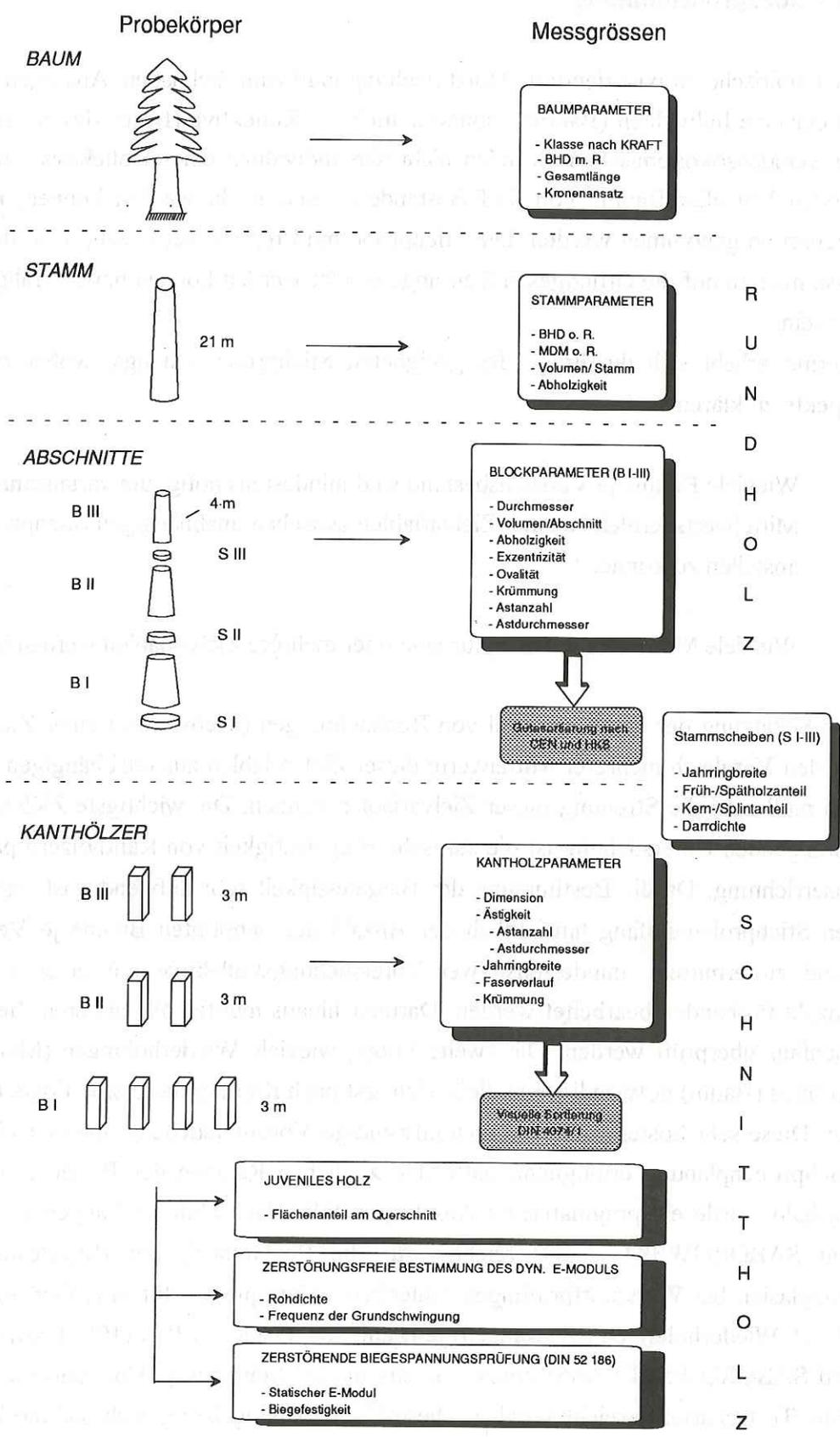


Abb. 1: Schematische Darstellung der untersuchten Eigenschaften

#### 4.1.4 Stichprobenumfang

Die empirische, praxisorientierte Holzforschung muß zum Ziel haben, Aussagen nicht nur für einzelne Individuen (Bäume), sondern auch für Kollektive (Bestände) zu treffen. Da aus versuchsökonomischen Gründen nicht alle Individuen eines Kollektivs - im vorliegenden Fall aller Bäume von fünf Beständen - untersucht werden können, muß eine Stichprobe genommen werden. Die Stichprobe muß repräsentativ sein, d. h. die Ergebnisse müssen auf die Grundgesamtheit angewendet werden können bzw. verallgemeinerbar sein.

Hiermit erhebt sich die Frage des geeigneten Stichprobenumfangs, wobei zwei Teilaspekte zu klären sind:

1. Wieviele Bäume je Versuchsbestand sind mindestens nötig, um varianzanalytische Mittelwertsvergleiche einer Zielvariablen zwischen unabhängigen Stichproben anstellen zu können?
2. Wieviele Meßwerte je Baum für eine oder mehrere Zielvariablen werden benötigt?

Zur Schätzung der Mindestanzahl von Beobachtungen (Meßwerten) einer Zielvariablen für den Vergleich mehrerer Mittelwerte dieser Zielvariablen aus unabhängigen Stichproben muß man die Streuung dieser Zielvariablen kennen. Die wichtigste Zielvariable der vorliegenden Untersuchung ist die statische Biegefestigkeit von Kanthölzern parallel zur Faserrichtung. Da die Bestimmung der Biegefestigkeit sehr aufwendig ist, müßten, um den Stichprobenumfang hinsichtlich der Anzahl der benötigten Bäume je Versuchsbestand zu ermitteln, mindestens zwei Untersuchungskollektive mit einer geschätzten Anzahl Probanden bearbeitet werden. Darüber hinaus müßten alle anderen Zielvariablen ebenfalls überprüft werden. Die zweite Frage, wieviele Wiederholungen (Meßwerte) je Proband (Baum) notwendig sind, ließe sich erst nach Klärung der ersten Frage beantworten. Diese sehr kosten- und v. a. zeitaufwendige Voruntersuchung, die erst eine exakte Stichprobenplanung ermöglicht, hätte den zeitlichen Rahmen des Projektes gesprengt. Deshalb wurde ein pragmatischer Ansatz gewählt. Nach Untersuchungen von HAPLA und SABOROWSKI (1984) reichten für die Bestimmung der Biegefestigkeit von Douglasien bei Werkstoffprüfungen fehlerfreier Normproben für eine Genauigkeit von 5% 15 Wiederholungen (Messungen) je Baum aus. Nach HAPLA (1986) sowie HAPLA und SABOROWSKI (1985) können bereits mit 20 Stämmen je Untersuchungskollektiv hohe Testschärfen erreicht werden. Diese Untersuchung bezog sich auf die in vielerlei Holzeigenschaften der Douglasie ähnliche Kiefer. Die zusammenfassende Arbeit von HAPLA (1993) zeigt, daß für Holzeigenschaftsuntersuchungen bei einem Signifikanzni-

veau von 5 % und einer nicht zu unterschreitenden Teststärke von 0,8 15 Probanden je Kollektiv ausreichen.

Gestützt auf diese Erkenntnisse wurde der Stichprobenumfang gutachtlich auf einheitlich 18 Bäume je Bestand festgelegt. Aus jedem Stamm wurden aus Rundholzabschnitten aus drei unterschiedlichen Stammhöhen Kanthölzer in der technisch möglichen maximalen Anzahl ausgeformt und untersucht. Eine retrospektive Betrachtung und Wertung dieser Stichprobennahme hinsichtlich Signifikanz, Genauigkeit und Teststärke wird in Kapitel 5.4 vorgenommen.

## **4.2 Untersuchungsmaterial**

### **4.2.1 Versuchsbestände**

Bei der Auswahl der Versuchsbestände waren die Forstdirektionen der rheinland-pfälzischen Bezirksregierungen sowie die Forstämter behilflich. Aus der Vielfalt potentiell geeigneter Versuchsbestände wurde gemäß den Kriterien der Versuchsplanung fünf Untersuchungsbestände in vier Forstämtern ausgewählt.

Die regionale Verteilung erstreckt sich über die Wuchsgebiete Pfälzerwald, Hunsrück und Osteifel (vgl. Abb. 2). Damit sollte insbesondere die Palette der typischen Douglasienstandorte in Rheinland-Pfalz - wenn auch nicht vollständig - abgedeckt werden.

Aus welchen Herkunftsn die Versuchsbestände begründet wurden, konnte nicht exakt bestimmt werden. Eine eingehende genetische Analyse auf biochemischer Basis hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Nach v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a) sowie PETRI (1986) darf begründet davon ausgegangen werden, daß es sich um gut geeignete Herkunftsn der "grünen" Küstendouglasie aus dem pazifischen Nordwesten Amerikas handelt. Die Standorts- und Bestandesdaten sind aus Tabelle 2 ersichtlich.

Alle drei Wuchsgebiete weisen ein ausgeprägt subatlantisches Klima auf und sind somit für den Douglasienanbau generell gut geeignet. Das Relief ist überwiegend flach geneigt, wobei der Bestand im FA Kirchberg als Ausnahme in einer kerbartigen Mulde stockt. Die Höhenlage ist weitgehend vergleichbar. Die geologischen Ausgangssubstrate sind Gesteinsformationen des Buntsandsteins sowie des Unterdevons und somit relativ nährstoffarm. Die Bodenarten reichen vom tonigen Lehm bis zum anlehmigen Sand. Bei den

Bodentypen handelt es sich um flach- bis mittelgründige Braunerden, die bei dem Versuchsbestand im FA Kirchberg auch leicht pseudovergleyt ist. Die Wasserversorgung schwankt zwischen "mäßig trocken" und "ziemlich frisch". Die Jahresmitteltemperaturen wie auch die durchschnittlichen Jahresniederschläge sind sehr ähnlich, wobei nur der Versuchsbestand im FA Boppard mit 650 mm negativ abweicht. Damit sind alle Versuchsbestände gemäß der rheinland-pfälzischen Standortkartierungsanweisung einheitlich als "kollin, mesotroph" mit allerdings geringfügig unterschiedlicher Wasserversorgung einzustufen.

Neben den Standorts- sind auch die Bestandesdaten der untersuchten Bestände der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tab. 2: **Standorts- und Bestandesbeschreibung der Versuchsbestände**  
(Quelle: Forsteinrichtungsdaten, tlw. ergänzt durch Angaben der Forstämter)

Forstamt/ Versuchsbezeichnung	H'weldenthal-West AEG	Cochem AES	Kirchberg AWS	H'weldenthal-West JEG	Boppard JWG
Waldort	II. 12 b <sup>2</sup>	10 c <sup>1</sup>	13 e	IV. 1 c <sup>1</sup>	19 c <sup>1</sup>
Waldbesitzer	Staat	Staat	Gde. Gemüinden	Staat	Stadt Boppard
<b>I. Standort</b>					
Wuchsgebiet	Pfälzerwald	Ostefel	Hunsrück	Pfälzerwald	Hunsrück
Wuchsbezirk	Mittl. Pfälzerwald	Moseleifel	Simmerner Mulde	Mittl. Pfälzerwald	Rhein-Hunsrück
Exp./Relief	NW, eben bis flach geneigt	S-SW, eben bis flach geneigt	NO - SW, kerbartige Mulde	N-W/NW, flach geneigt	O-SO/eben bis flach geneigt
Höhe über NN (m)	395 - 420	360 - 380	320 - 350	300 - 370	370 - 400
Grundgestein	Mittl. Buntsandstein (Rehberg-Schichten)	Unterdevon (Tonschiefer)	Unterdevon (Quarzit)	Mittl. Buntsandstein (Rehberg-Schichten)	Unterdevon (Tonschiefer und Grauwacke)
Bodenart	anlehmiger Sand	sandiger Lehm	sandiger Lehm, skelettreich	anlehmiger Sand	toniger Lehm mit Skelett-/Grisanteilen
Bodentyp/Gründigkeit	Braunerde, mittelgründig	Braunerde, flachgründig	Braunerde, mittelgründig z. T. pseudovergleyt	Braunerde, mittelgründig	Braunerde, flach- bis mittelgründig
Wasserversorgung	mäßig frisch	mäßig trocken	ziemlich frisch	mäßig frisch	mäßig trocken
Ø Jahrestemp. (°C)	8	8	7,5	8	8,5
Ø Jahresniederschlag (mm)	850	675 - 700	675 - 700	850	650
Standortseinheit	km 3	km 4	km (2)	km 3	km 4
<b>II. Bestand</b>					
Aufbau	lockeres Baumholz	lockeres Baumholz	lockeres Baumholz	geschlossenes Baumholz	lockeres Baumholz
Mischung	Reinbestand	Reinbestand	einzel-gruppenweise, Dgl 40, Kie 30, Fi 10, REi 10, Pa 10	Reinbestand	Reinbestand
Alter 1991 (J.)	77	80	83	58	60
Ertragsklasse	II.5	II.5	III.0	II.0	II.5
Bestockungsgrad	0,8	0,8	0,8	1,0	0,8
N/ha	230	336	236	649	228
Pflanzverband (m x m)	vermutlich 1,5 x 1,5	vermutlich 1,5 x 1,5	vermutlich einzel-truppweise in Ei-Stockausschlag gepflanzt	vermutlich 1,5 x 1,5	4 x 4
geästet (Jahr, Höhe)	unbekannt, ca. 6 m	unbekannt, ca. 6 m	ungeästet	unbekannt, ca. 6 m	unbekannt, ca. 6 m
Vorbestand	vermutlich Laubholz	vermutlich Niederwald	vermutlich Niederwald	vermutlich Laubholz	Eichenstockausschlag

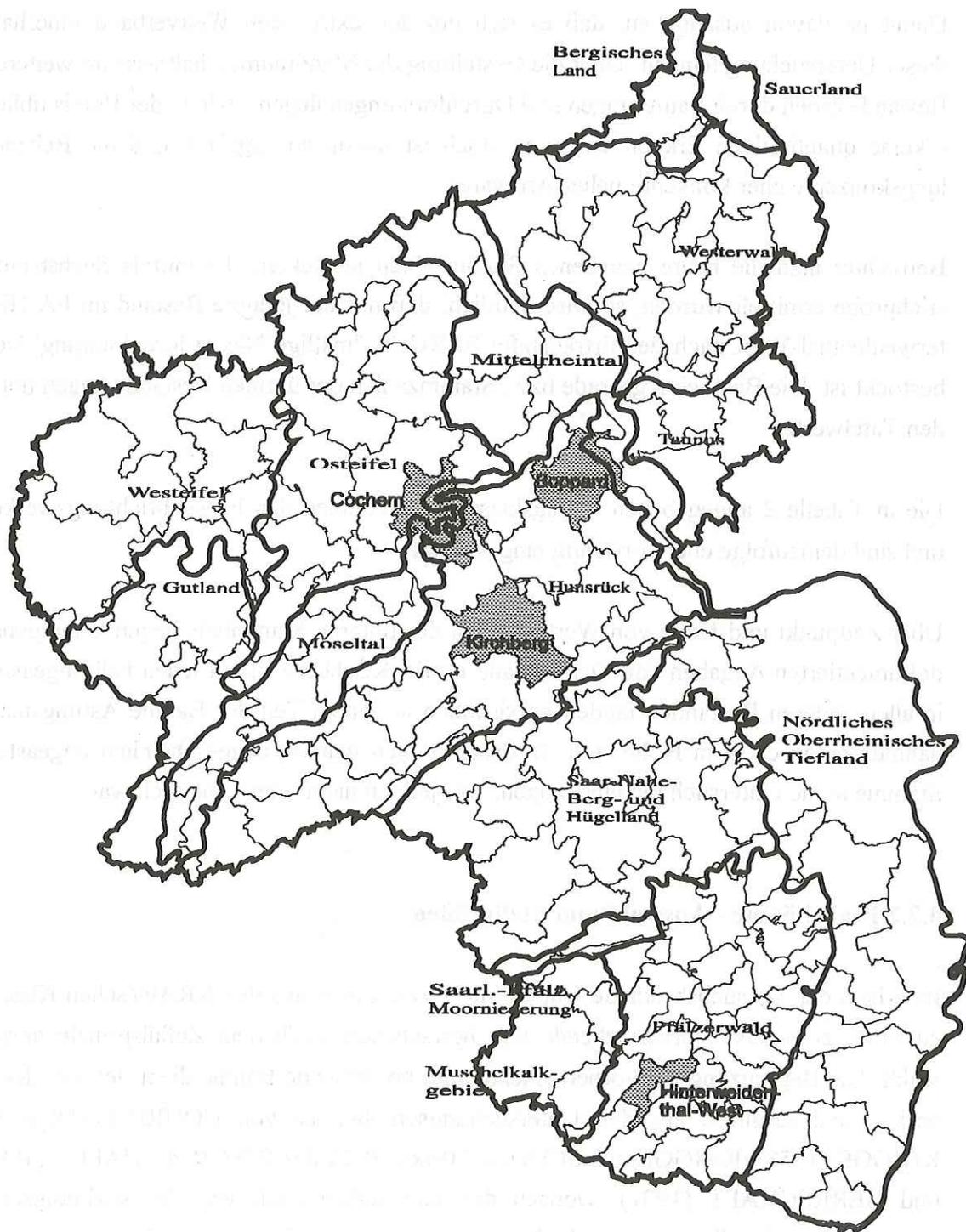


Abb. 2: Lage der Forstämter mit Versuchsbeständen

Für den Standraum des Einzelbaumes wurden der Zielsetzung entsprechend bewußt möglichst unterschiedlich, d.h. eng bzw. weit begründete Bestände ausgewählt. Zu den eng begründeten zählen die beiden Bestände aus den FÄ Hinterweidenthal-West sowie Cochem, die vermutlich im 1,5 x 1,5 m Quadratverband gepflanzt wurden. Der Bopparder Bestand wurde im 4 x 4 m Verband begründet. Der Bestand im FA Kirchberg wurde höchstwahrscheinlich einzeln bis truppweise in einem ehemaligen Niederwald gepflanzt.

Damit ist davon auszugehen, daß es sich um den extremsten Weitverband innerhalb dieser Untersuchung handelt. Über die Gestaltung der Standraumverhältnisse im weiteren Bestandesleben durch Lässerungen und Durchforstungen liegen - wie in der Praxis üblich - keine quantitativen Erkenntnisse vor, doch ist davon auszugehen, daß die Behandlungskonzepte eher konventioneller Art waren.

Betrachtet man die heute gegebenen Stammzahlen je Hektar, die mittels Sechsbaumstichprobe ermittelt wurden, so wird deutlich, daß nur der jüngere Bestand im FA Hinterweidenthal-West nach der Ertragsstapel BERGEL "mäßige Niederdurchforstung" voll bestockt ist. Die Bestockungsgrade bzw. Stammzahlen der übrigen Bestände liegen unter den Tafelwerten.

Die in Tabelle 2 angegebenen Ertragsklassen entstammen den Forsteinrichtungswerken und sind demzufolge eher vorsichtig eingeschätzt.

Über Zeitpunkt und Höhe von Wertästungen des unteren Stammteils liegen keine genau dokumentierten Angaben vor. Der Bestand im FA Kirchberg ist auf jeden Fall ungeästet, in allen anderen Beständen fanden praxisüblich an einem Teil der Bäume Ästungsmaßnahmen bis in ca. 6 m Höhe statt. In diesen Fällen wurden augenscheinlich ungeästete Stämme in die Untersuchung einbezogen, was jedoch nicht immer möglich war.

#### **4.2.2 Prohebäume - Auswahl und Meßgrößen**

Innerhalb der Versuchsbestände wurden die Prohebäume aus den KRAFTschen Klassen eins und zwei, also vorherrschende und herrschende, nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Die Begrenzung auf vorherrschende und herrschende Bäume dient der Vergleichbarkeit und resultiert aus den Untersuchungsergebnissen von GÖHRE (1958 a, b), KNIGGE (1958), KNIGGE und SCHULZ (1966), BOSSHARD (1974), HAPLA (1980) und HERRSCHAFT (1991), wonach der Jahrringbau auch von der soziologischen Stellung der Einzelbäume beeinflusst wird. Bäume aus Sturmwurf gingen wegen zu befürchtender Faserstauchungen nicht in die Untersuchung ein. Z. B. durch den Rückebetrieb geschädigte Bäume waren ausgeschlossen. Es wurden nur Bestandesglieder ausgewählt, die auch im Zuge einer normalen Durchforstung vorrangig zu entnehmen wären. Die Betriebssicherheit der Bestände durfte keinesfalls gefährdet werden.

Am stehenden Baum wurde der Brusthöhendurchmesser mit Rinde gemessen sowie die Zuordnung zur entsprechenden KRAFTschen Stammklasse vorgenommen. Die Nord-

richtung wurde dauerhaft markiert, um später etwaige Zusammenhänge zwischen der Himmelsrichtung und z.B. der Stammform auswerten zu können. Jeder Probebaum erhielt eine dauerhafte Nummer. Ob und wie hoch ein Probebaum geästet war, wurde okular eingeschätzt.

Nach der Fällung erfolgte die Messung der Gesamtlänge, des Kronenansatzes (nach EST) sowie nach Kappen bei der Sortimentslänge von 21 m die Messung des Mitten-durchmessers ohne Rinde. Nach Entastung und Entrindung wurden die Probestämme als Langholz zum Rundholzplatz des Sägewerkes transportiert.

#### 4.2.3 Einteilprogramm und Einschnittmuster

Die vertikale Einteilung der Probestämme ist orientiert an der Qualitätsdifferenzierung innerhalb eines Stammes. Insbesondere die Ästigkeit, die mit der Stammhöhe zunimmt, ist für die Rundholzbewertung ausschlaggebend. Deshalb wurde jedem Probestamm, der auf eine Sortimentslänge von 21 m abgelängt war, drei Abschnitte aus unterschiedlichen Höhen entnommen (vgl. Abb. 3). Block I repräsentiert das wertvolle, i.d.R. astarme bzw. nach Ästung äußerlich auch astfreie Erdstammstück. Block II entstammt der mittleren Schaftregion mit meist abgestorbenen Ästen. Block III kommt aus der Übergangszone vom Totastbereich zur grünen Krone mit noch lebenden Ästen. Wie dies im Mittel für jeden Bestand konkret aussieht, ist der Abbildung 9 in Kapitel 5.1.1 zu entnehmen. Die Wahl der Abschnittslänge von einheitlich 4 m wird bestimmt durch die Prüfgeometrie bei der Biegespannungsprüfung der Kanthölzer, auf die noch einzugehen ist. Gleichzeitig wurde mit dem gewählten vertikalen Einteilprogramm erreicht, daß die nicht für die Untersuchung benötigten Zwischenblöcke vermarktungsfähig blieben.

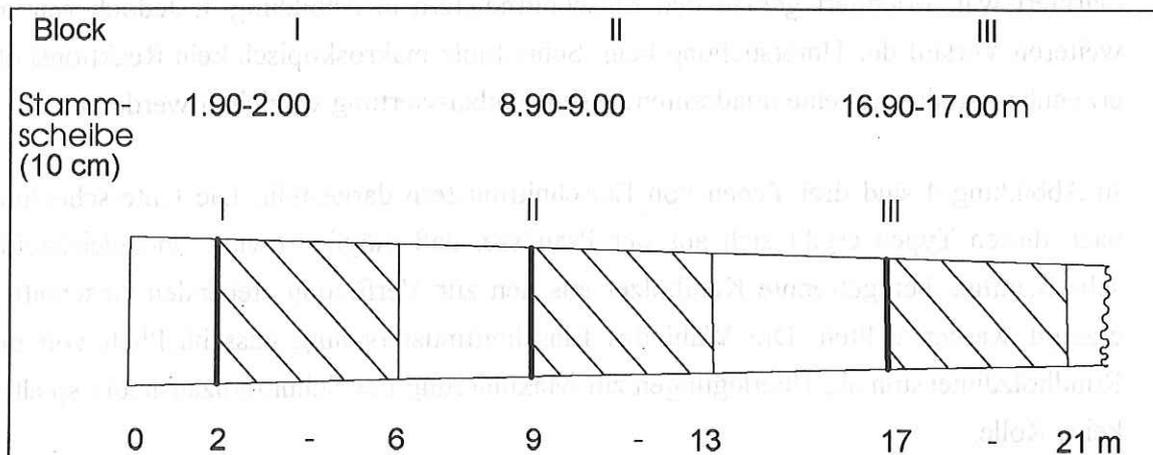


Abb.3: Einteilprogramm der Probestämme

Zu Beginn eines jeden Abschnitts, also bei 1,90, 8,90 und 16,90 m wurden 10 cm starke Stammscheiben gewonnen, an denen die holzanatomischen Basiseigenschaften (Jahrringstruktur, Früh-/Spätholzbreite, Kern-/Splintanteile) sowie als holzphysikalische Größe die Darrdichte ermittelt wurden.

Mit fünf Beständen, ausgestattet mit jeweils 18 Probebäumen, aus denen drei Blöcke entnommen wurden, resultiert somit ein Gesamtumfang der Untersuchung von 270 Abschnitten und Stammscheiben.

Bei der Wahl der Schnittholzdimension wurden zunächst zwei Kantholzquerschnitte in Betracht gezogen: zum einen die Dimension 8 x 16 cm, die "klassische" Dachsparrendimension, und zum anderen die Dimension 6 x 12 cm, ein "moderner" im Holzrahmenbau verwendeter, schlanker Querschnitt (GLOS und SPENGLER, 1985). Beide Konstruktionsholzquerschnitte werden bei ihrem Einsatz hauptsächlich biegebeansprucht. Bei einem orientierenden Vergleich von jeweils 54 Kanthölzern beider Querschnitte zeigten sich hinsichtlich der querschnittsflächenbezogenen Biegefestigkeit keine signifikanten Unterschiede. Auch das zur Verfügung stehende Finanzvolumen hätte ein konsequentes Durchhalten des Vergleichs beider Dimensionen über alle Bestände und Stammhöhen hinweg nicht zugelassen. Zudem wäre der Vergleich zwischen den Dimensionen zu Lasten des Stichprobenumfangs je Dimension erfolgt. Diese angeführten Restriktionen führten für die weitere Untersuchung zu einer Beschränkung auf den Querschnitt 8 x 16 cm.

Der Einschnitt im Sägewerk erfolgte mit der in Mitteleuropa verbreitetsten Hauptmaschine, einem Vertikalgatter. Um Einflüsse von möglicherweise vorhandenem Reaktionsholz deuten zu können, erfolgte der Einschnitt der Blöcke, an denen die Nordrichtung markiert war, orientiert gemäß den Einschnittsmustern in Abbildung 4. Jedoch war im weiteren Verlauf der Untersuchung beim Schnittholz makroskopisch kein Reaktionsholz erkennbar, so daß auf eine quadrantenweise Detailauswertung verzichtet werden konnte.

In Abbildung 4 sind drei Typen von Einschnittsmustern dargestellt. Die Unterscheidung nach diesen Typen ergibt sich aus der Prämisse, daß möglichst viele und gleichzeitig scharfkantige, herzgetrennte Kanthölzer aus den zur Verfügung stehenden Abschnitten erzeugt werden sollten. Die Wahl des Einschnittsmusters hing ausschließlich von der Rundholzdimension ab, Überlegungen zur Maximierung der Schnittholzausbeute spielten keine Rolle.

Beim Typ A handelt es sich um ein vierstieliges Kreuzholz, wobei im Idealfall jedes Kantholz einem der vier Rundholz-Quadranten zugeordnet werden konnte. Dieser Typ war die Regel bei den Erdstammblöcken (Stammhöhe I) und konnte in wenigen Fällen auch bei den Mittelblöcken realisiert werden. Beim zweistieligen Einschnitt - Typ B - wurden aus den Halbhölzern je ein Kantholz erzeugt, das aus zwei Quadranten stammte (I und IV bzw. II und III). Dies war der Regelfall bei den Mittelblöcken (Stammhöhe II) und kam auch bei stärkeren Zopfblöcken (Stammhöhe III) vor. Der einstielige Einschnitt nach Typ C führte zu einem Kantholz, das Anteile aus allen vier Quadranten hat und das Herz enthält. Dieses Einschnittmuster mußte dann gewählt werden, wenn die Rundholzdimension die Erzeugung von scharfkantigen Kanthölzern gemäß Typ B nicht mehr zuließ, also bei sehr schwachen Zopfblöcken (Stammhöhe III). Um einen exakten Vergleich zwischen äußerer und innerer Ästigkeit führen zu können, war ursprünglich davon ausgegangen worden, daß alle Kanthölzer nur einem Rundholzquadranten zugeordnet werden können. Daher wurde die Rundholzästigkeit quadrantenweise erhoben. Dieses Vorhaben konnte jedoch aus vorstehenden Gründen nicht verwirklicht werden.

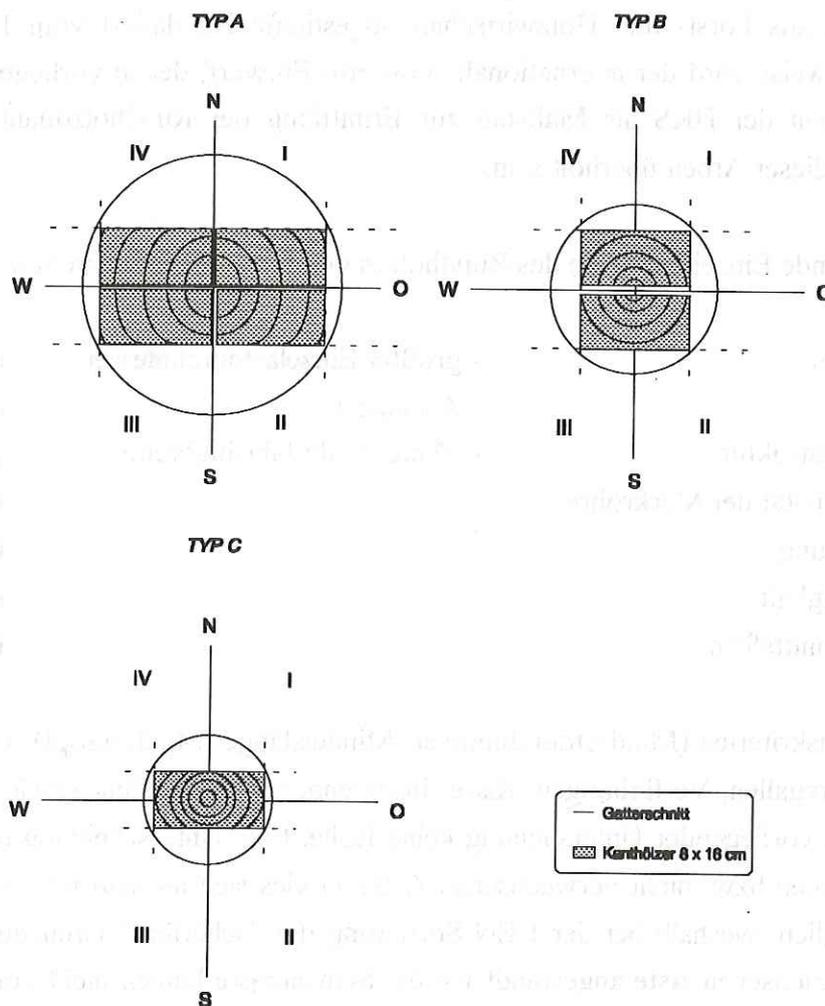


Abb.4: Einschnittmuster

## 4.3 Untersuchte Parameter und methodisches Vorgehen

### 4.3.1 Rundholz

Die Probestämme wurden nach der Einteilung in die Sortimentslänge von 21 m entrindet und anschließend zum Rundholzplatz des Sägewerkes befördert. Dort erfolgte die Einteilung in die 4 m-Abschnitte und die Gewinnung der Stammscheiben. Als Maßstab der Rundholzbewertung wurden die Handelsklassensortierung (HKS) sowie der CEN-Vornorm-Entwurf verwendet. Die HKS basiert auf der Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz (HKIVO) von 1973. Im Zuge der Harmonisierungsbestrebungen innerhalb der Europäischen Union (EU) obliegt dem CEN die europaweite Normungsarbeit. Wenngleich grundsätzliche Zweifel angebracht werden können, einen so inhomogenen Rohstoff wie Rundholz in eine Norm zu kleiden, sind internationale wie nationale Gremien damit befaßt, eine solche europäische Norm inhaltlich auszufüllen. Auf nationaler Ebene existiert eine etwas abweichende Version des Vornorm-Entwurfes, der von Vertretern aus Forst- und Holzwirtschaft abgestimmt ist, datiert vom 11. Juni 1993. Möglicherweise wird der internationale Vornorm-Entwurf, der in vorliegender Untersuchung neben der HKS als Maßstab zur Ermittlung der Rundholzqualität diente, bei Abschluß dieser Arbeit überholt sein.

Nachfolgende Einzelmerkmale des Rundholzes wurden aufgenommen bzw. bewertet:

1. Ästigkeit	- größter Einzelastdurchmesser	(CEN + HKS)
	- Astanzahl	(HKS)
2. Jahrringstruktur	- Ø maximale Jahrringbreite	(CEN)
3. Exzentrizität der Markröhre		(CEN)
4. Krümmung		(CEN + HKS)
5. Abholzigkeit		(CEN + HKS)
6. Querschnittsform		(HKS)

Dimensionskriterien (Minstdurchmesser, Mindestlänge, Mindestzopf), Gesundheitszustand (Harzgallen, Verfärbungen, Risse, Insektenbefall, Faulstellen) sowie Reaktionsholz spielten in vorliegender Untersuchung keine Rolle. Eine Unterscheidung nach gesunden, verwachsenen bzw. nicht verwachsenen Ästen erwies sich am entrindeten Rundholz als nicht möglich, weshalb bei der CEN-Sortierung der "schärfere" Grenzdurchmesser der nicht verwachsenen Äste angewandt wurde. Schwarzäste kamen nicht vor. Das Sortiermerkmal Drehwuchs kann okular nicht exakt bzw. nur mittels aufwendiger Spaltmethode

bewertet werden und muß somit unberücksichtigt bleiben (DOEBEL, 1993). Der bei beiden Sortiervarianten großzügig bemessene zulässige Drehwuchs bei Güteklasse B wurde nach okularer Einschätzung ohnehin bei keinem Block überschritten, so daß davon auszugehen ist, daß die Sortierqualität insgesamt durch dieses Merkmal nicht bzw. nur unwesentlich beeinflusst wird.

In Rheinland-Pfalz gibt es keine die sehr allgemein gehaltenen Güteklassen der HKS präzisierenden Sortiermerkblätter, wie sie in vielen anderen Bundesländern existieren. Deshalb wurden zur Rundholzbewertung nach HKS die aktuellen Rundholzsor-tiermerkblätter der benachbarten Bundesländer Baden-Württemberg, hier für Fichte/Tanne, und Nordrhein-Westfalen, die sich explizit auch auf Douglasie beziehen, herangezogen. Ziel der Sortiermerkblätter ist, die zu weit gefaßten Definitionen der HKS merkmalsweise zu präzisieren und damit die Rundholzbewertung zu objektivieren (KLEBES und MAHLER, 1989; EISELE, 1989).

Die Rundholzqualität als Ergebnis der äußerlich erkennbaren Holzmerkmale wird im Verlauf der Untersuchung in Beziehung gesetzt zur Qualität des Schnittholzes, also innerer Holzmerkmale. Gelingt dieser Versuch, hinreichend eindeutige Beziehungen zwischen Rund- und Schnittholzqualität herzustellen, könnte die Rundholzbewertung weiter objektiviert werden, was sich ggf. für die Forstwirtschaft auch monetär positiv auswirken könnte.

#### **4.3.2 Untersuchungen an den Stammscheiben**

An Stammscheiben wurden die holzanatomischen Kenngrößen Jahrringbreite, Spätholzanteil, Kern-/Splint-Anteil sowie als wichtige physikalische Basiseigenschaft die Darrdichte bestimmt. Diese Kenngrößen lassen sich aufgrund der Mittelwertbildung über den gesamten Querschnitt hinweg nicht unmittelbar auf die Kanthölzer, die immer nur ein Segment eines Querschnittes sind, beziehen. Vielmehr dienen sie dazu, das Wachstum der Einzelbäume und der Bestände zu beschreiben und insbesondere Unterschiede dieser Basiseigenschaften in der Stammlängsachse sowie zwischen den Beständen zu charakterisieren.

##### **4.3.2.1 Jahrringbreite und Spätholzanteil**

Die Ermittlung der Jahrringbreiten erfolgte mit dem Jahrringmeßgerät Digitalpositionimeter Typ III nach JOHANN der Fa. KUTSCHENREITER. Bei der Messung wird der

Projektwagen, auf dem der Probekörper befestigt ist, durch händisches Drehen einer Transportwelle unter einem stationären, nur schwach vergrößernden Mikroskop mit Fadenkreuzokular linear vorbeibewegt und anschließend durch Differenzbildung der Einzelwerte automatisch durch den Rechner mittels des Programms CATRAS ("computer aided tree-ring analysis system") erfaßt und ausgewertet.

Für die Jahrringanalyse wurden insgesamt 270 etwa 10 cm dicke Stammscheiben aus den 90 Versuchsbäumen (je Bestand 18 Bäume) aus den drei Höhen 2 m, 9 m und 17 m entnommen. Die Jahrringbreiten jeder Stammscheibe wurden entlang vier verschiedener Radien, welche mit den vier Himmelsrichtungen der stehenden Bäume übereinstimmen und auf den Stammscheiben exakt gekennzeichnet sind, gemessen. Die Messung von vier Radien mit anschließender arithmetischer Mittelung dient dazu, die Jahrringbreitenvariation durch z. B. Windeinfluß, was sich in exzentrischen und ungleichmäßigen Jahrringbreiten ausdrücken kann, zu eliminieren (GÖHRE, 1958 b). Auch SIOSTRZONEK (1958) empfiehlt für genaue Zuwachsermittlungen die Berücksichtigung von vier Radien

Zur leichteren Messung wurden jeder Stammscheibe vier den Himmelsrichtungen entsprechende Riegel von 2 cm Breite und 3 cm Höhe entnommen. Um die Grenzen sowohl der Jahrringe als auch zwischen Früh- und Spätholz sicherer erkennen zu können, wurden alle Proben auf der Querschnittsseite auf einer Bandschleifmaschine (100er Körnung) geschliffen. Wenn die Jahrringgrenzen bzw. Früh-/Spätholzgrenzen besonders im marknahen Bereich schwer erkennbar waren, war es darüberhinaus erforderlich, die geschliffenen Oberflächen entlang der markierten Radien mit einem Skalpell zu glätten.

Die Grenze zwischen Früh- und Spätholz ist bei vielen Nadelhölzern nur schwer zu erkennen. Um die Grenzbestimmung zu vereinheitlichen, besteht nach einer Konvention die Möglichkeit, diejenige Zone des Jahrrings Spätholz zu nennen, in welcher bei radialer Messung die gemeinsamen Wände zwischen zwei Lumina, mit dem Faktor 2 multipliziert, gleich oder größer sind als eines der zugehörigen Lumina. Durch Glätten und Anfärben mittels einer alkoholischen Lösung von Methylen-blau und Malachit-grün läßt sich die obengenannte Grenzbestimmung erleichtern (KNIGGE und SCHULZ, 1966).

Bei großem Stichprobenumfang wie in der vorliegenden Untersuchung ist diese Methode jedoch zu aufwendig. Außerdem ist der Übergang von Früh- zu Spätholz bei der Douglasie relativ schroff. Deshalb wurden die Spätholzbreitenmessungen parallel mit der Jahrringbreitenmessung am Digitalpositiometer nach JOHANN vorgenommen. Die Grenzziehung anhand der unterschiedlichen Farbe von Früh- und Spätholz ist dabei nicht immer zweifelsfrei, insbesondere im marknahen Bereich, wo der Helligkeitskontrast oft

verschwindet. Durch entsprechend viele Messungen wird jedoch ein brauchbarer Mittelwert des Spätholzanteils erzielt (GÖHRE, 1958 b). Der relative Spätholzanteil ergibt sich aus dem Verhältnis von Spätholzbreite/Jahrringbreite. Wie bei den Jahrringbreiten wurde auch der Spätholzanteil aus vier radialen Messungen je Stammscheibe arithmetisch gemittelt.

#### 4.3.2.2 Kern- und Splintholzanteile

Die Grenze zwischen Kern- und Splintholz ist bei der Douglasie in frischem Zustand okular gut zu bestimmen. Die Flächen wurden nach der Papiergewichtsmethode ermittelt, wofür hochwertiges Transparentpapier mit einem mittleren Gewicht von 62,5 g/m<sup>2</sup> verwendet wurde. Das Transparentpapier wurde auf den Stammscheiben fixiert, damit ein eventuelles Verrutschen des Papiers keine Fehler bei den Flächenermittlungen zur Folge hatte. Die Kern- wie auch die Splintflächen wurden mit Bleistift sorgfältig auf das Papier übertragen und im Anschluß daran präzise ausgeschnitten.

HERRSCHAFT (1991) beschreibt in seiner Diplomarbeit dieses Verfahren als zu ungenau und empfiehlt, das Papier seitlich an den Stammscheiben zu befestigen und die Flächen sofort mit einem Skalpell auszuschneiden. ROMMERSKIRCHEN (1986) verglich die in vorliegender Arbeit angewandte Papiergewichtsmethode in seiner Diplomarbeit mit einer anderen Methode, bei der zur Ermittlung der Kern-/Splintanteile ein photoelektrisches Planimeter bzw. Millimeterpapier eingesetzt wurde. Bei 30 Stichproben stellte er lediglich Schwankungen der mittleren Differenz beider Methoden von + 0,11 % und - 0,49 % fest. Damit kann das in dieser Arbeit angewandte Verfahren als hinreichend genau akzeptiert werden.

Die ausgeschnittenen Papierpolygone wurden mit einer Feinwaage auf 1/1000 g genau gewogen. Die getrennt nach Kern und Splint ermittelten Gewichtsdaten können somit auf die absoluten und prozentualen Kern- bzw. Splintholzanteile umgerechnet werden.

Die Formel für die absoluten Flächen lautet:

$$F_{K/S} = \frac{X * 10000}{62,5 \text{ g}} \left[ \text{cm}^2 \right]$$

mit

F = Fläche

K = Kern

S = Splint

Aus diesen absoluten Flächen können die prozentualen Anteile mit den Formeln

$$\text{FK \%} = \left( \frac{\text{FK}_{\text{abs}}}{\text{FK}_{\text{abs}} + \text{FS}_{\text{abs}}} \right) * 100 [\%]$$

bzw.

$$\text{FS \%} = 100 - \text{FK \%} [\%]$$

mit FK % = Kernfläche in %

FS % = Splintfläche in %

FK<sub>abs</sub> = absolute Kernfläche in cm<sup>2</sup>

FS<sub>abs</sub> = absolute Splintfläche in cm<sup>2</sup>

ermittelt werden.

#### 4.3.2.3 Darrdichte

Die Darrdichte ist das Verhältnis von Darrgewicht zu Darrvolumen des absolut getrockneten Holzes. Sie wurde nach Zuwachszonen ermittelt, die jeweils 10 Jahrringe umfassen. Dadurch können jahresweise Schwankungen gut ausgeglichen werden (KEYLWERTH, 1954; KNIGGE, 1958). Die Stammscheiben wurden dazu zu Riegeln eingeschnitten, die eine Breite von 2 cm und eine Höhe von 3 cm hatten. Diese führten von der Nord- zur Südseite und rechtwinklig dazu von der West- zur Ostseite des Stammes.

Die Jahrringe wurden von der Peripherie zum Mark hin ausgezählt und nummeriert. Die Darrdichtebestimmung erfolgte hydrostatisch nach dem Prinzip des Archimedes (Wasserverdrängungsverfahren). Schon im 18. Jahrhundert wurde dieses Verfahren von DU HAMEL DU MONCEAU in der Holzforschung angewandt. Aus dem Gewicht des verdrängten Wassers wird dabei das Volumen des eingetauchten Prüfkörpers bestimmt, da 1 g Wasser bei einer Temperatur von 4 ° C (Maximaldichte des Wassers) einem Volumen von 1 cm<sup>3</sup> entspricht.

Die Probekörper wurden mindestens zwei Tage bei 103 ° C im Trockenschrank getrocknet, um eine Holzfeuchtigkeit von u = 0 % zu erreichen.

Anschließend wurden sie auf einer Präzisionswaage auf 1/100 g genau gewogen. Das Volumen wurde durch das Eintauchen der Probekörper in Wasser ermittelt, wobei darauf

geachtet wurde, daß das Wasser entspannt und die Waage ordnungsgemäß austariert war.

Mögliche Fehlerquellen bei diesem Vorgehen sind die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit der darrtrockenen Proben beim Transport vom Trockenschrank zur Waage und beim Wiegevorgang sowie die nicht zu unterschätzende Wasseraufnahme des darrtrockenen Prüfkörpers beim Eintauchen zur Volumenermittlung. Hinzu kommen die Bildung von Gasblasen im Wasser und am Glasrand haftende Wassertropfen, die erst langsam zurückfließen.

Wenn die Wägung sorgfältig erfolgt, ist der Gewichtsfehler kleiner als der Fehler des Volumens. Die Genauigkeit der Dichtebestimmung hängt also im wesentlichen von der genauen Bestimmung des Rauminhaltes ab. Durch die Aufnahme von Tauchflüssigkeit vergrößert sich das Gewicht der Probeklötzchen. Damit haben sie einen geringeren Auftrieb, und man stellt zu hohe Darrdichten fest (v. WEDEL, 1962).

V. WEDEL (1962) stellte fest, daß das Bestreichen der Proben mit einer hydrophoben Celloidinlösung für Praxiszwecke ausreichenden Schutz gewährt. In vorliegender Untersuchung wurde auf solchen Schutz allerdings verzichtet. Die beschriebenen Fehlerquellen wurden durch das Benutzen eines Exsikkators bei Transport der Probekörper sowie durch äußerst zügiges Arbeiten bei der Gewichts- und Volumenermittlung weitgehend vermieden.

HOLZ und PLICKAT (1961) berichteten, daß die durch Wasserverdrängung ermittelten Volumina im Verhältnis zu anderen gängigen Verfahren wie stereometrische Ausmessung oder Auftriebsverfahren als am wenigsten zuverlässig gelten können, für Praxiszwecke aber ausreichend sind.

Die Darrdichteberechnung erfolgte aus den gewonnenen Gewichts- und Volumendaten. Aus den sich entsprechenden Zuwachszonen der vier Himmelsrichtungen wurde zuwachszonenweise das arithmetische Mittel der Darrdichte berechnet.

GÖHRE (1955 a) ging der Frage nach, ob Unterschiede zwischen der Entnahme von zu einander senkrecht stehenden Proberiegeln und der Entnahme über die ganze Stammscheibe auftreten, und kam zu dem Ergebnis, daß es keine verfahrensbedingten signifikanten Mittelwertsunterschiede der Darrdichte gibt. Damit kann das hier angewandte Verfahren auch aus diesem Blickwinkel als hinreichend genau angesehen werden.

### 4.3.3 Schnittholz

Zentrales Objekt der Untersuchung ist das Schnittholz. Die Kanthölzer wurden zunächst visuell nach DIN 4074/I beurteilt, danach schlossen sich die weiteren Untersuchungen der elastomechanischen Eigenschaften an, wobei das visuell bewertete Kantholz in toto als Prüfkörper fungierte.

#### 4.3.3.1 Visuelle Bewertung und Sortierung der Kanthölzer

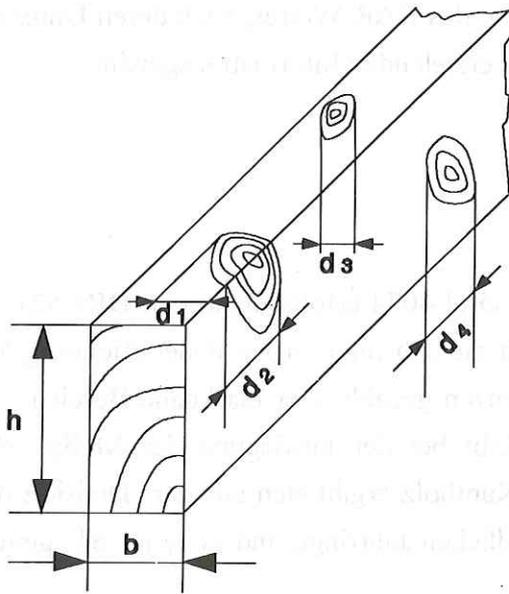
Um Schnittholz bewerten zu können, bedarf es zum Zwecke der Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen über die Schnittholzqualität der Douglasie oder auch anderen Nadelhölzern einheitlicher Sortiermaßstäbe. Für das Bauschnittholz existiert in Deutschland die DIN 4074/I in der Fassung vom September 1989, in der detailliert die einzelnen Holzmerkmale beschrieben sind, die zur Klassifizierung des Schnittholzes führen. Die DIN 4074/I "Sortierung von Nadelschnittholz nach der Tragfähigkeit" orientiert sich - wie dem Titel zu entnehmen - an der Tragfähigkeit des Schnittholzes, die gerade im Bauholzbereich entscheidend ist. Andere Sortierregeln, wie etwa die "Tegernseer Gebräuche", sind vorwiegend nach optischen Gesichtspunkten ausgerichtet und werden deshalb in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Da die DIN 4074/I auf der Basis von Schnittholzprüfungen an Fichte und Tanne entwickelt wurde, ist ein wesentlicher Beweggrund für diese Untersuchung, die Anwendbarkeit dieser Norm auf Douglasien-Schnittholz zu überprüfen, wie dies SAUTER (1992) für sein Versuchsmaterial an Kanthölzern der Dimensionen 8 x 16 cm und 6 x 12 cm in ähnlicher Weise vornahm.

Im Sinne einer internationalen Vergleichbarkeit wäre ein Vergleich mit Sortierregeln anderer Länder zwar wünschenswert, aber doch sehr aufwendig. Dies war deshalb nicht Ziel dieser Untersuchung.

Ähnlich der Rundholzbewertung wurden auch bei der Schnittholzsortierung nach DIN 4074/I nur diejenigen Merkmale bewertet, die für die Untersuchung von Bedeutung sind. Risse, Verfärbungen, Druckholz, Insektenfraß und Mistelbefall kamen nicht vor. Baumkante kam in wenigen Fällen in nur geringem Ausmaß vor, führte jedoch nicht zu einer Absortierung in eine niedrigere Sortierklasse. Folglich konzentrierte sich die intensive Untersuchung auf die Ästigkeit, Jahrringbreite, Faserneigung und Krümmung. Eine schonende Kammertrocknung auf ca. 12 % Holzfeuchtigkeit und allseitiges Hobeln auf den Prüfquerschnitt von 8 x 16 cm war Voraussetzung für die exakte Einhaltung der Dimensionen und ein zweifelsfreies Erkennen der einzelnen Sortiermerkmale.

#### 4.3.3.1.1 Ästigkeit

Nach DIN 4074 wird bei der Ästigkeit unterschieden nach Ästen in Kanthölzern einerseits bzw. in Brettern, Bohlen und Latten andererseits. Da in vorliegender Untersuchung nur der Kantholzquerschnitt 8 x 16 cm untersucht wurde, gilt ausschließlich das Kriterium Einzelast. Danach wird immer der kleinste sichtbare Durchmesser des größten Einzelastes auf allen vier Schnittflächen des Kantholzes jeweils in Beziehung zur entsprechenden Querschnittseite gesetzt. Der höchste, auf allen vier Schnittflächen gefundene Quotient bestimmt die Einsortierung (vgl. Abb. 5).



$$A = \frac{d_1}{b} \text{ oder}$$

$$A = \frac{d_2}{h} \text{ oder}$$

$$A = \frac{d_3}{b} \text{ oder}$$

$$A = \frac{d_4}{h} \text{ oder}$$

Abb. 5: Messung und Berechnung der Ästigkeit in Kanthölzern

Der Gesundheitszustand der durchweg fest verwachsenen Äste wird nach DIN nicht bewertet, da dieser nach Untersuchungen von GLOS (1978) keinen Einfluß auf die Tragfähigkeit des Schnittholzes ausübt.

Das für Bretter, Bohlen und Latten zusätzlich geltende Ästigkeitskriterium "Astansammlung" galt in der vorhergehenden Version der DIN 4074 auch noch für Kanthölzer. GLOS et al. (1988) stellten nach Untersuchungen an Fichte fest, daß sich dieses Kriterium auf das Sortierergebnis nicht auswirkt. Die Arbeiten von GROSS (1988) an Tanne und SAUTER (1992) an Douglasie bestätigen im wesentlichen das GLOSSche Ergebnis, weshalb dieses Kriterium in vorliegender Untersuchung unberücksichtigt bleibt, zumal es die neueste Fassung der DIN nicht mehr ausweist.

Um Beziehungen zwischen visueller Sortierung und den später untersuchten elastome-

chanischen Eigenschaften herstellen zu können, wurden über die DIN-Vorschrift hinaus an jedem Kantholz alle Äste jeder Kantholzseite nach Anzahl und Durchmesser (ab 5 mm Minstdurchmesser) erfaßt. Hierbei wurden der Lage nach noch einmal unterteilt nach Ästen in der Bruchzone (mittleres Kantholzdrittel) und Ästen außerhalb der Bruchzone. Auch die Lage des größten Einzelastes wurde für Schmal- und Breitseite sowie innerhalb oder außerhalb der Bruchzone befindlich getrennt erfaßt.

Gleichermaßen nach Abwägung der Ergebnisse von GLOS et al. (1988) und SAUTER (1992) wurde darauf verzichtet, an denselben Kanthölzern zusätzlich eine vergleichende Sortierung nach ECE-Norm vorzunehmen, steht doch der ungleich höhere Meßaufwand nach ECE-Norm, insbesondere für die Ermittlung des KAR-Wertes, nach deren Untersuchungen in keinem Verhältnis zum zusätzlich zu erzielenden Informationsgewinn.

#### 4.3.3.1.2 Jahrringbreite

Die Messung der mittleren Jahrringbreite nach DIN 4074 erfolgt analog zu DIN 52181. An beiden Stirnflächen der Kanthölzer wurden die Jahrringe in vertikaler Richtung auf einer Meßstrecke senkrecht zu den Jahrringgrenzen gezählt. Der marknahe Bereich von jeweils 25 mm beiderseits der Markröhre bleibt bei der Festlegung der Meßstrecke ausgeschlossen. Die mittlere Jahrringbreite je Kantholz ergibt sich aus der Division der Meßstrecke durch die Anzahl der darauf befindlichen Jahrringe und zwar jeweils gemittelt aus beiden Stirnflächen.

#### 4.3.3.1.3 Faserneigung

Die Faserneigung am Schnittholz steht in Zusammenhang mit verschiedenen Rundholzeigenschaften und dem Einschnitt. Nach DIN 52181 wird sie gemessen als eine Abweichung der Fasern von der Schnittholzkante in mm bezogen auf 1000 mm Schnittholzlänge. Anhand von Trockenrissen konnte die Faserneigung so im allgemeinen problemlos gemessen werden.

Faserneigungen können außer als Folgeerscheinungen des Drehwuchses auch durch den vertikalen Verlauf der Jahrringgrenzen bei stammachsenparallelem Einschnitt entstehen. Je abholziger das Rundholz ist, um so eher wird Faserneigung auftreten. Auch Krümmungen des Rundholzes haben Faserabweichungen des Schnittholzes zur Folge. Faser-

neigungen können außerdem als Folge eines nicht stammachsenparallelen Einschnitts auftreten.

Jegliche Abweichung von einem idealen parallelen Verlauf der Holzfasern des Schnittholzes beeinträchtigt dessen elastomechanische Eigenschaften, insbesondere bei Biegebeanspruchung parallel zum Faserverlauf, was in der Holzforschung schon früh belegt wurde (KOLLMANN, 1951; KNIGGE und SCHULZ, 1966).

#### 4.3.3.2 Anteil juvenilen Holzes

Der Begriff juveniles Holz als Bezeichnung für das "Innenholz" wurde 1959 von RENDLE in die Holzwissenschaft eingeführt. Das "Außenholz" bezeichnete er als adultes Holz. Diese Zonierung nach inneren, marknahen und äußeren, kambiumnahen Bereichen ist nach BOSSHARD (1974) gerechtfertigt, da neben zellmorphologischen Unterschieden insbesondere die Dichte und alle damit in Verbindung stehenden Eigenschaften voneinander abweichen. Diese Erscheinung kommt bei allen Baumarten in unterschiedlicher Ausprägung vor.

An nordamerikanischen Douglasien wurden folgende kennzeichnende Merkmale des juvenilen Holzes festgestellt (BENDTSEN, 1978; BARRETT und KELLOGG, 1984; vgl. SAUTER, 1992):

- breiteste Jahrringe
- dünnste Zellwände und große Zellumina
- größte Mikrofibrillenwinkel in den Zellwänden
- höchste Längsschwindmaße
- niedrigster Zelluloseanteil
- geringe Dichte
- niedrige Elastizität und Festigkeit.

Problematisch im Sinne der angewandten, praxisnahen Holzforschung ist die Festlegung der Grenzen zwischen juvenilen und adultem Holz. DI LUCCA (1989) stellte fest, daß jede der zuvor angeführten Eigenschaften zur Abgrenzung herangezogen werden kann. Allerdings treten diese Erscheinungen nicht unbedingt gleichzeitig in einem Jahrring auf, so daß der Übergang fließend ist. In Übereinstimmung mit anderen Autoren (JOZSA et al., 1989; BARRETT und KELLOGG, 1989; SAUTER, 1992) wurde in dieser Arbeit als Übergang vom juvenilen auf das adulte Holz einheitlich und pragmatisch der 20. Jahrring vom Mark aus festgelegt.

Die Markierung der ersten 20 Jahrringe erfolgte dazu auf den Schnittflächen der Abschnitte. An den Kantholzstirnseiten wurde nach dem Einschnitt die entsprechende Holzzone sowie der die Grenze markierende Jahrring auf Folie übertragen. Mittels des Graphikprogramms AUTOCAD wurden die jeweiligen Flächenanteile am Querschnitt ermittelt und als Prozentanteile berechnet. Bei konstanter Kantholzlänge entspricht dieser Flächenanteil dem Volumenanteil.

#### 4.3.3.3 Rohdichte der Kanthölzer

Eine der wichtigsten physikalischen Holzeigenschaften, von der nahezu alle anderen Holzeigenschaften, insbesondere auch die mechanisch-technologischen, abhängen, ist die Rohdichte. Die meisten Möglichkeiten der Holzverwendung werden wesentlich von ihr beeinflusst (TRENDELENBURG und MAYER-WEGELIN, 1955; KNIGGE und SCHULZ, 1966). Die Ermittlung der Rohdichte ist außerdem erforderlich zur Berechnung des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls. Nach DIN 52182 handelt es sich bei der Rohdichte um den Quotienten aus Masse und Volumen des Holzes einschließlich des Porenraumes. Im Gegensatz zu den Untersuchungen an den Stammscheiben (vgl. Kap. 4.3.2.3) handelt es sich hier um die Normalrohndichte ( $r_{12}$ ), d. h. die Rohdichte bei einem Feuchtigkeitsgehalt von  $u = 12\%$ .

Die Messung der Rohdichte erfolgte im Versuch für den gesamten Prüfkörper, also das Kantholz, womit ein Bezug zu sämtlichen anderen Kantholzvariablen gewährleistet ist. Vor Durchführung der elastomechanischen Prüfungen wurden die Kanthölzer dazu nach Kammertrocknung im Normalklima 20/65-1 in Anlehnung an DIN 50014 und DIN 52180 klimatisiert, obwohl für die Biegeprüfung in Gebrauchsabmessungen nach DIN 52186 eine Klimatisierung nicht vorgeschrieben ist. Die nach DIN 52186 für Kleinproben geforderte Gewichtskonstanz ist für Großproben nur mittels sehr langdauernder und damit finanziell extrem aufwendiger Klimatisierung zu erreichen. Um die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen herzustellen, wurde eine Holzfeuchte von  $u = 12\%$  angestrebt. Absolute homogene Feuchtigkeitsverhältnisse innerhalb eines so inhomogenen, großen Prüfkörpers, wie es ein Kantholz darstellt, sind dabei nicht zu verwirklichen. Auch zwischen den Kanthölzern schwankte die Holzfeuchte zwischen 11 und 15%.

#### 4.3.3.4 Dynamischer Biege-Elastizitätsmodul

Im Gegensatz zum statischen Biege-Elastizitätsmodul, der hier bei der zerstörenden Biegespannungsprüfung ermittelt wird (vgl. Kap. 4.3.3.5), kann der dynamische Biege-

Elastizitätsmodul zerstörungsfrei bestimmt werden. Der Biege-Elastizitätsmodul allgemein ist ein bedeutsames Maß für Steifigkeit eines festen Körpers gegenüber Deformation im elastischen Bereich. Der dynamische Biege-Elastizitätsmodul weist befriedigend hohe Korrelationen zur Biegefestigkeit auf, weshalb von ihm aus mit einiger Sicherheit auf die Biegefestigkeit, auf die es vor allem im konstruktiven Bereich häufig ankommt, geschlossen werden kann (GLOS et al., 1988; SAUTER, 1992; OLIVER-VILLANUEVA, 1993). Die in Deutschland in der Praxis noch wenig verbreitete maschinelle Schnittholzsortierung mittels Biegeprüfmaschinen beruht auf dem Prinzip der Durchbiegung nach Belastung (MSR, "machine stress rating"). BECKER (1993) gibt einen Überblick über neuere optische, mechanische und elektronische Verfahren in Nordamerika, die das MSR ersetzen bzw. dessen Nachteile, auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll, abmildern können.

GÖRLACHER (1984) beschrieb als erster in der deutschsprachigen Holzforschung die zerstörungsfreie Messung des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls nach dem Eigenfrequenzprinzip. Dieses Verfahren wurde seither von mehreren Autoren mit gutem Erfolg bei Werkstoff- und Gebrauchsprüfungen an verschiedenen Holzarten erprobt und eingesetzt (BECKER und NIEPAGEN, 1992). Auch bei vorliegender Arbeit wurde das von der Fa. J. W. LEMMENS-ELEKTRONIKA entwickelte Meßgerät GRINDO-SONIC MK 4-1 eingesetzt. Das Eigenfrequenzprinzip erfordert einen mechanischen Impuls, der den Prüfkörper in Schwingungen versetzt. Der Prüfkörper muß frei schwingen können, damit sich nach kurzer Zeit "Eigenschwingungen" einstellen können. Zur Messung der Schwingung erster Ordnung muß der Prüfkörper in den Knoten der Biegeschwingungslinie so aufgelagert werden, daß sich diese z. B. durch Styropor abgedämpften Auflager in einem Abstand von 0,224 der Prüfkörperlänge von den Prüfkörperenden entfernt befinden (GÖRLACHER, 1984). Durch einen zur Prüfkörperachse rechtwinkligen Impuls, z. B. mittels Gummihammer, stellt sich bei dem Prüfkörper die Biegeschwingung erster Ordnung ein (vgl. Abb. 6).

Mittels einer piezo-elektrischen Abtastnadel, die an der Stirnseite des Kantholzes einfach anzubringen ist, werden die Schwingungen aufgenommen und per Kabel an das Meßgerät übertragen. Nach ihrem Abklingen wird die Dauer der letzten beiden vollständigen Eigenschwingungen auf dem Display des Meßgerätes digital angezeigt (Einheit:  $\mu\text{s}$ ). Zur Berechnung des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls werden neben dem abgelesenen, sog. R-Wert die Abmessungen des Prüfkörpers sowie dessen Rohdichte  $\rho_{12}$  benötigt. GÖRLACHER (1984) vereinfachte die schon von KOLLMANN und KRECH (1960) sowie HEARMON (1966) entwickelte Näherungsgleichung für Biegeproben nach DIN 52186, indem er den Einfluß des Schubmoduls nicht berücksichtigte. Vorbedingung zur Anwendung dieser Gleichung ist, daß das Verhältnis von Stützweite zur Prüfkörperlänge

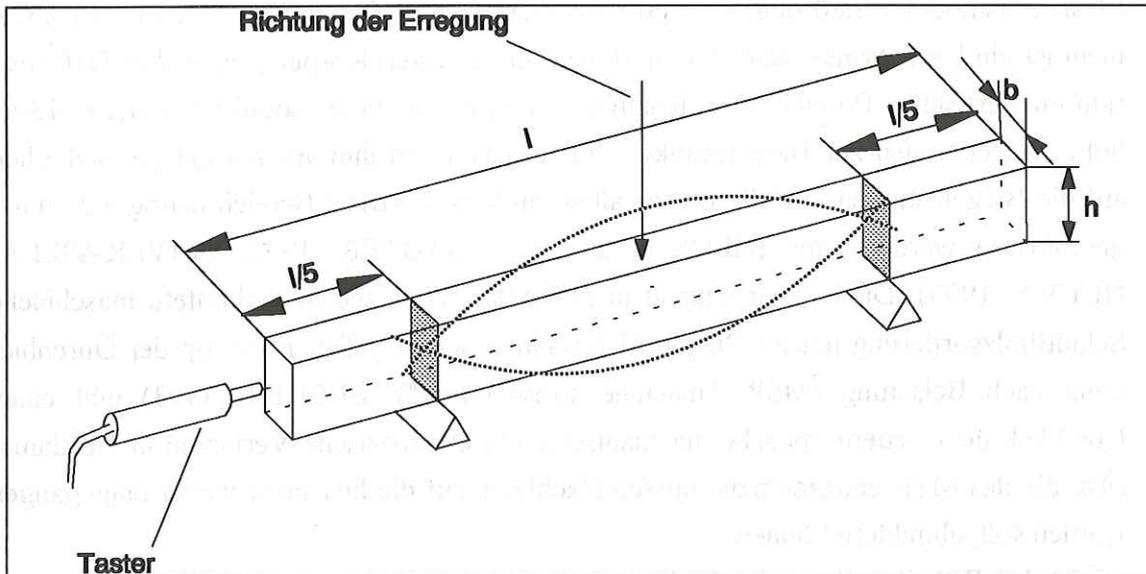


Abb. 6: Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls (nach GÖRLACHER 1984)

$l/H > 15$  nicht unterschritten wird. Der dynamische Biege-Elastizitätsmodul ist demnach folgendermaßen zu berechnen:

$$E_{b, \text{dyn}} = \frac{4\pi^2 * l^4 * f_0^2 * r_{12}}{m_n^4 * i^2} * (1 + K * \frac{i^2}{l^2}) \quad [\text{N} / \text{mm}^2]$$

$l$  = Länge des Prüfkörpers

$f_0$  = Frequenz der Grundschwingung

$r_{12}$  = Rohdichte

$m_n^4$  = Konstante, für Schwingung 1. Ordnung = 500,6

$i$  = Trägheitsradius in Richtung der Biegeschwingung

$K$  = Konstante, für Schwingung 1. Ordnung = 49,48

Die mittels GRINDO-SONIC ermittelten dynamischen Biege-Elastizitätsmoduln lagen bei GÖRLACHER (1984) für Douglasien-Brettlamellen um durchschnittlich 9 % höher als die an denselben Prüfkörpern statisch ermittelten Biege-Elastizitätsmoduln nach DIN 52186. Im Ergebnisteil dieser Arbeit wird diesem Aspekt ebenfalls nachzugehen sein.

#### 4.3.3.5 Biegefestigkeit und statischer Biege-Elastizitätsmodul

Die Biegefestigkeit ist nach DIN 52186 die bis zum Bruch auftretende größte rechnerische Biegespannung. Die Biegespannung setzt sich zusammen aus der Druckspannung

auf der Lastangriffsseite und der Zugspannung auf der gegenüberliegenden Unterseite des Prüfkörpers. Mit zunehmender Belastung verändert sich die Spannungsverteilung über den Querschnitt ungleichförmig. Druckseitig erhöht sich die Spannung bis maximal zur Druckfestigkeit des Prüfkörpers, während sie zugseitig weiter steigt und sich der Zugfestigkeit nähert. Mit steigender Belastung verlagert sich die Spannungs-Nulllinie zur Zugzone hin. Bei der Biegeprüfung von Holz in Gebrauchsabmessungen, also hier von Kanthölzern mit all ihren Abweichungen von einem idealen, homogenen Prüfkörper, tritt oftmals ein vorzeitiger Bruch in der Zugzone ein, wenn die Biegespannung größer ist als die Zugfestigkeit.

Von allen statischen Eigenschaften kommt der Biegefestigkeit die höchste Bedeutung zu, da Holz insbesondere im Konstruktionsbereich meist biegebeansprucht wird.

Allgemein wird die Biegespannung als Quotient aus dem Biegemoment  $M$  und dem Widerstandsmoment  $W$  berechnet:

$$\sigma_B = \frac{M}{W}$$

Bei rechteckigem Prüfkörperquerschnitt und auf zwei zur Feldmitte symmetrische Stellen verteiltem Kraftangriff gilt folgende Formel:

$$\sigma_B = \frac{3 * F * (l - l')}{2 * b * h^2} [\text{N} / \text{mm}^2]$$

F = Kraft in N (Newton)

l = Stützweite in mm

l' = Abstand der Kraftangriffspunkte in mm

b = Probenbreite in mm

h = Probenhöhe in mm

Der statische Biege-Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit wurden in einem Arbeitsgang unter Beachtung der Vorschriften der DIN 52186 ermittelt. Die Gesamtlänge der Prüfkörper betrug  $18 \times h$  (= 2880 mm), die Stützweite  $15 \times h$  (= 2400 mm) und der Abstand der Kraftangriffspunkte  $5 \times h$  (= 800 mm; vgl. Abb. 7).

Die Biegeversuche wurden am Materialprüfamt der Universität Kaiserslautern mit einer entsprechend umgerüsteten Scheiteldruckprüfmaschine Typ 60/2500 der Fa. SEIDNER,

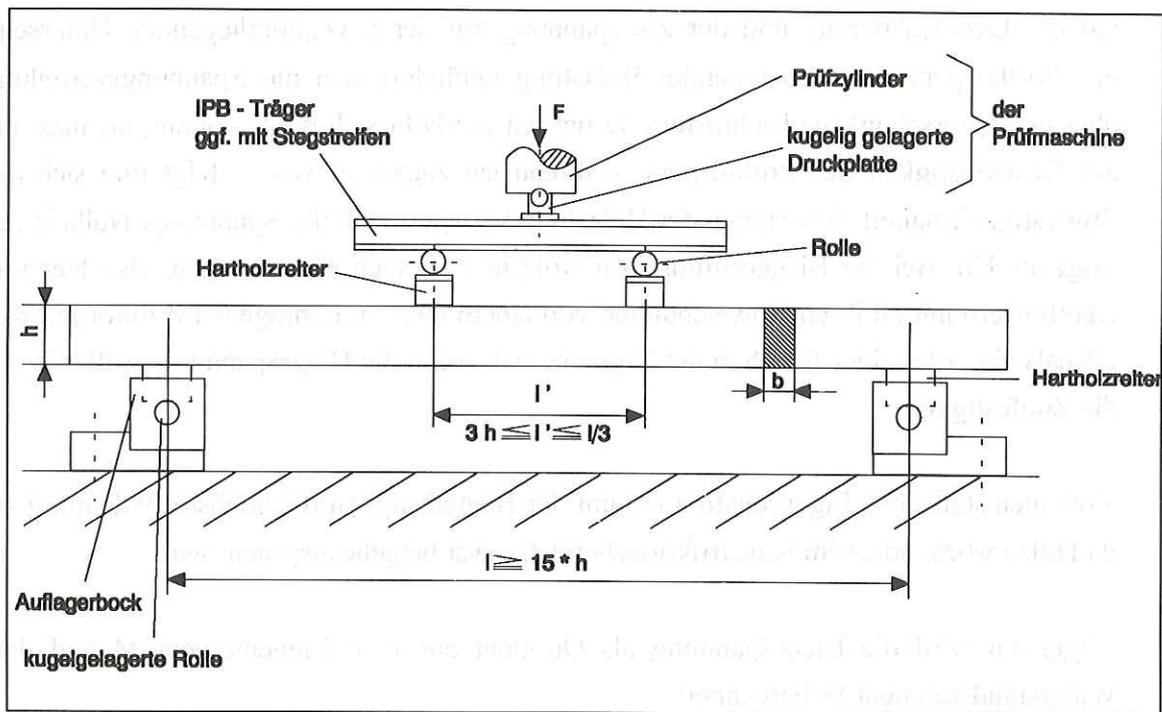


Abb. 7: Prüfeinrichtung zur Bestimmung des statischen Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit nach DIN 52186

Riedlingen, durchgeführt. In den Kraftfluß war ein Kraftaufnehmer mit 100 kN statischer Höchstkraft gelegt. Bei der internen Kalibrierung in einer Druckprüfmaschine DIN 51233 Klasse 1 wurde für den Kraftaufnehmer der Meßfehler zu  $\leq 1\%$  bestimmt. Zum Registrieren von Kraft und Weg für die Ermittlung des Biege-Elastizitätsmoduls diente ein digitaler XYt-Recorder Typ PM 8278 der Fa. PHILIPS. Die Kraft wurde gleichmäßig so aufgebracht, daß die Höchstkraft in einer Zeit von im Mittel 90 Sekunden erreicht wurde.

Die zu prüfenden Kanthölzer wurden in die Prüfmaschine dergestalt eingebaut, daß die visuell schlechter eingeschätzte Seite - im Regelfall die größten Äste in der Bruchzone - auf der Zugseite lag.

Diese Vorgehensweise steht in Übereinstimmung zu den Arbeiten von GLOS et al. (1988) sowie SAUTER (1992). Damit wird die minimale Belastbarkeit der Kanthölzer definiert. Ungeachtet dessen wird der Praktiker bei der Konstruktion beispielsweise eines Dachstuhles umgekehrt vorgehen und die bessere Seite des Kantholzes auf die Zugseite legen, wodurch ein nicht unerheblicher Festigkeitsspielraum gewonnen wird.

Nach DIN 52186 ist der statische Biege-Elastizitätsmodul eine Kenngröße für die

Verformungssteifigkeit im elastischen Bereich. Er ist der Reziprokwert der Dehnungszahl  $\alpha$ , welche die Änderung der Längeneinheit eines Stabes je Einheit der Spannung bezeichnet (KOLLMANN, 1951). Er wurde bestimmt, indem der Prüfkörper gleichmäßig bis zur Proportionalitätsgrenze, die in der Regel mit der Elastizitätsgrenze zusammenfällt, belastet wurde. Bis dahin ist die Formänderung elastisch, also reversibel. Wird sie überschritten, treten zunächst semiplastische, dann plastische Veränderungen auf. Äußerlich kommt dieses Phänomen in Kriechvorgängen bzw. letztendlich Zerreißungen im Zell- und Faserverband zum Ausdruck (KNIGGE und SCHULZ, 1966).

Für die Bestimmung des Biege-Elastizitätsmoduls wurden die Last-Durchbiegung-Kennlinien bis etwa 18 kN mitgeschrieben. Aus dem linearen Bereich dieser Kennlinien wurden zu den Lasten  $F_e$  die Durchbiegungen  $f_e$  ermittelt. Für die Berechnung gilt nachfolgende Formel:

$$E_{B, \text{ stat}} = \frac{(2 * l^3 - 3 * l * l'^2 + l'^3)}{8 * b * h^3} * \frac{F_e}{f_e} \text{ [N / mm}^2\text{]}$$

- l = Stützweite in mm
- l' = Abstand der Kraftangriffspunkte in mm
- b = Probenbreite in mm
- h = Probenhöhe in mm
- $F_e$  = elastische Grenzlast [N]
- $f_e$  = Durchbiegung bei elastischer Grenzlast [mm]

Da die Biegefestigkeit von der Holzfeuchte beeinflusst wird, wurde diese unmittelbar nach den Biegeversuchen gemäß DIN 52183 an etwa 10 cm langen Kantholzabschnitten bestimmt. Diese Proben lagen stets mindestens 10 cm von den Stirnseiten des Prüfkörpers entfernt. Wie bereits erwähnt, schwankten die Prüf-Holzfeuchten zwischen 11 und 15 %. Auf eine Korrektur nach KOLLMANN (1951), der je Prozent Holzfeuchtezunahme eine Abnahme der Biegefestigkeit um 4 % berechnete, wurde verzichtet, da diese Angaben sich auf Fichte, Kiefer, Buche und Birke beziehen und sich andere Holzarten unterschiedlich verhalten können. Desweiteren ist davon auszugehen, daß die Holzfeuchte innerhalb eines so großen, anisotropen Prüfkörpers erheblich schwankt. Nach KOLLMANN (1951) sind die äußeren Schichten bei ungleichmäßig getrocknetem Holz, wovon in vorliegender Untersuchung ausgegangen werden muß, stärker entwässert. Da hier die Hauptbeanspruchung stattfindet, ist sogar mit höheren Festigkeiten zu rechnen. HEIMESHOFF und GLOS (1980) stellten an Fichten-Brettlamellen fest, daß der Biege-Elastizitätsmodul dieser Brettlamellen innerhalb einer Variationsbreite der Holzfeuchte von  $u = 8 - 14 \%$  im Mittel nur unwesentlich beeinflusst wird.

Die Rohdichte der Kanthölzer wurde nach DIN 52182 für die Gesamtprüfkörper unmittelbar vor der Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls und der direkt anschließenden Biegeprüfung ermittelt (vgl. Kap. 4.3.3.3).

#### **4.4 Statistische Auswertung**

Einen Überblick über die verwendeten statistischen Methoden und die eingesetzte Software gibt Abbildung 8.

##### **4.4.1 Datenerfassung und Datenverwaltung**

Die Datenerfassung erfolgte mit dem Datenbankprogramm dBase IV. Die Formeln zur Berechnung aus den Rohdaten abgeleiteter Parameter wurden ebenfalls teilweise in dBase IV programmiert. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mittels des Statistikpakets SAS "Statistical Analysis System" (Release 6.04). Hierzu wurden die dBase-Dateien in das SAS-Format konvertiert und zu je einer Datei für die Rundholz- und die Schnittholzparameter zusammengefaßt. Außerdem wurden die für die Stammscheiben ermittelten Daten (Darrdichte, Kern-/Splintholzanteile, Früh-/Spätholzanteile und Jahrringbreiten) in SAS importiert und dort zu einer eigenen Datei zusammengeführt.

Zur Graphikerstellung wurden die Programme SAS, Harvard Graphics (V 2.0), Statgraphics (V 5.5 D), Excel (V 4.0), Autocad (V 12), Corel Draw (V 3.0) und Designer (V 3.1) verwendet.

##### **4.4.2 Explorative Datenanalyse und deskriptive Statistik**

Für die relevanten Variablen aus der Stammscheiben-, Rundholz- und Schnittholzdatei wurden jeweils stratifiziert nach Standort und Blockhöhe berechnet:

- Stichprobenumfang (N)
- arithmetischer Mittelwert ( $\bar{x}$ ) als Lagemaß
- Standardabweichung (s) als absoluter Kennwert der Dispersion und Maß für die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert
- minimale und maximale Extremwerte ( $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$ ).

## STATISTISCHE METHODEN

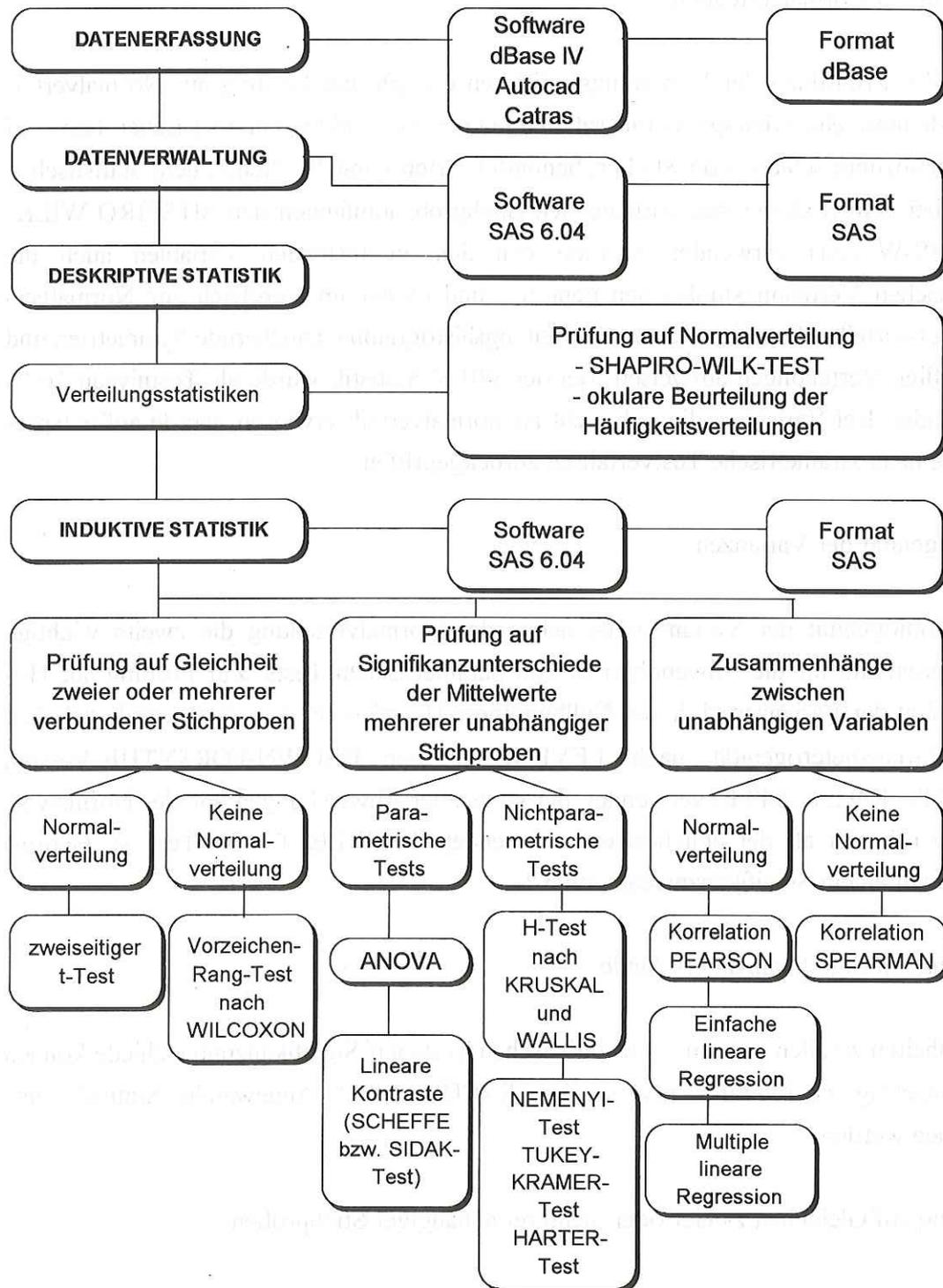


Abb. 8: Schema der statistischen Datenanalyse

#### 4.4.3 Induktive Statistik

##### Prüfung auf Normalverteilung

Nach der Ermittlung der Verteilungsstatistiken erfolgte die Prüfung auf Normalverteilung, da diese eine wichtige Voraussetzung bei der Anwendung parametrischer Tests auf Signifikanzunterschiede von Stichprobenmittelwerten darstellt. Neben dem statistischen Test, bei dem SAS bei den vorliegenden Stichprobenumfängen den SHAPIRO-WILK-Test (S-W-Test) verwendet, wurden von den zu testenden Variablen auch die empirischen Verteilungsfunktionen geplottet und okular im Vergleich zur Normalverteilung beurteilt. Hierbei sollten die Verteilungshistogramme annähernde Symmetrien und eingipflige Verteilungen aufweisen. Bei der WILK-Statistik wurde als Testniveau 10 % verwendet. Bei Variablen, die sich nicht als normalverteilt erwiesen, wurde auf entsprechende nichtparametrische Testverfahren zurückgegriffen.

##### Homogenität der Varianzen

Die Homogenität der Varianzen ist neben der Normalverteilung die zweite wichtige Voraussetzung für die Anwendbarkeit von parametrischen Tests. Zur Prüfung auf Homogenität der Varianzen, d. h. der Nullhypothese  $H_0: \sigma^2_1 = \sigma^2_2 = \dots = \sigma^2_k$  wurde der Test auf Varianzheterogenität nach LEVENE in der BROWN-FORSYTHE-Version (SACHS, 1992, S. 349 f.) verwendet, der gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung robuster als der üblicherweise verwendete BARTLETT-BOX-Test ist. Geprüft wurde auf einem Signifikanzniveau von 5 %.

##### Prüfung auf Signifikanzunterschiede

Einzelheiten zu allen verwendeten statistischen Tests auf Signifikanzunterschiede können der einschlägigen Literatur, insbesondere SACHS (1992), Angewandte Statistik, entnommen werden.

##### Prüfung auf Gleichheit zweier oder mehrerer abhängiger Stichproben

Die Beobachtungen an einem einzelnen Probanden (Stamm) in verschiedenen Höhen sind voneinander abhängig. Deshalb wurden zum Test auf Unterschiede zwischen den Stammhöhen jeweils Paardifferenzen gebildet und mit dem S-W-Test auf Normalverteilung bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % geprüft. Bei Normalverteilung wurde als parametrischer Test der t-Test paarweise verwendet, bei nicht normalverteilten

Paaren der nichtparametrische Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, um mögliche signifikante Unterschiede zwischen den abhängigen Stichprobenkollektiven statistisch abzusichern. Da es sich hierbei um multiple paarweise Vergleiche handelt, wurde der jeweilige Test nicht zum Niveau  $\alpha$ , sondern nur zum Niveau  $\alpha/m$  verwendet (BONFERRONI-Korrektur), wobei  $m = k(k-1)/2$  die Anzahl der durchgeführten Tests ist. Diese Vorgehensweise ist konservativ, d. h. das vorgegebene nominelle multiple Niveau  $\alpha$  von 5 % wird hierbei nicht voll ausgeschöpft.

Prüfung der Mittelwerte mehrerer unabhängiger Stichproben auf Signifikanzunterschiede

Zur Prüfung, ob global Unterschiede zwischen Mittelwerten mehrerer Kollektive vorliegen, kann bei Normalverteilung und Homoskedastizität der Stichproben die einfaktorielle VARIANZANALYSE (ANOVA) verwendet werden. Zeigten sich bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % Unterschiede zwischen den Mittelwerten, wurde mit Hilfe des SIDAK- bzw. SCHEFFE-Tests untersucht, zwischen welchen Kollektiven die Unterschiede auftraten. Da es nicht von den zu untersuchenden Daten, sondern nur vom Niveau  $\alpha$ , der Gruppenzahl  $k$ , dem Gesamtstichprobenumfang  $N$  und der Anzahl  $m$  der Paarvergleiche abhängt, welcher von beiden Tests im Einzelfall trennschärfer ist, ist es hierbei erlaubt, den jeweils trennschärferen Test auszuwählen und anzuwenden (DUFNER et al., 1992, S. 228). Bei nichtnormalverteilten Stichproben mit annähernd homogenen Varianzen wurde als nichtparametrischer, globaler Test auf Unterschiede der H-Test nach KRUSKAL und WALLIS (K-W-Test) verwendet. Wenn sich hierbei Unterschiede auf dem 5 %-Niveau zeigten, wurden als nichtparametrische multiple Tests angewandt:

- bei ungleichen Stichprobenumfängen und weniger als 25 % Bindungen (ties) der NEMENYI-Test für ungleiche Stichprobenumfänge ( $\alpha = 5 \%$ ).
- bei ungleichen Stichprobenumfängen und mehr als 25 % Bindungen der etwas weniger konservative Vergleich nach TUKEY und KRAMER (SACHS, 1992, S. 397) ( $\alpha = 5 \%$  bzw.  $\alpha = 10 \%$ ).
- bei gleichen Stichprobenumfängen (Rundholz) der Test nach HARTER (SACHS, 1992, S. 396) ( $\alpha = 5 \%$  bzw.  $\alpha = 10 \%$ ).

Zusammenhänge zwischen zwei oder mehreren Variablen

Zum Aufzeigen einer linearen Beziehung zwischen zwei normalverteilten Stichproben wurde der einfache Korrelationskoeffizient nach PEARSON ( $r$ ), bei nicht normalverteilten Stichproben der SPEARMANsche Rangkorrelationskoeffizient ( $r_s$ ) ermittelt. Zur Prüfung multipler Einflüsse mehrerer Einflußvariablen (Regressoren) auf eine Zielva-

riable (Regressand) wurden multiple lineare einfache Regressionsanalysen durchgeführt. Bei den jeweiligen Regressionsmodellen wurden die Regressionskoeffizienten der Eingangsvariablen, die gesamten Bestimmtheitsmaße, die partiellen und multiplen Korrelationskoeffizienten, der F-Wert und die Streuung der Residuen (Prüfung auf Normalverteilung) errechnet.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

Bei der Darstellung und Diskussion der Ergebnisse werden die im Kapitel 2 dargestellten Arbeitshypothesen überprüft: Wie wirken sich Unterschiede in Alter, Bestandesgründung und Standortsgüte auf die Rundholz- und Schnittholzparameter sowie anatomischen und elastomechanischen Eigenschaften des Holzes von in Rheinland-Pfalz erwachsenen Douglasien aus?

### 5.1 Rundholz

#### 5.1.1 Baumdaten nach Beständen

Für die jeweils 18 Prohebäume der fünf Versuchsbestände sind die wichtigen wachstumskundlichen Kenngrößen Brusthöhendurchmesser, Gesamtlänge und Kronenprozent mittels deskriptiver Statistik in Tabelle 3 dargestellt. Für die ausgeformte Stammholz-Sortimentslänge von 21 m sind der durchschnittliche Mittendurchmesser (Stärkeklassen 2 b bis 3 b) und die Abholzigkeit berechnet. Das Stammvolumen ist nach der HUBERSchen Mittenflächenformel berechnet.

Die Stammdimension spielt bei Nadelholz für die Bewertung der Holzqualität nur eine nachgeordnete Rolle. Diese Daten sollen deshalb hier nicht ausführlich diskutiert werden. Erwartungsgemäß haben von den drei älteren Beständen die beiden engständig begründeten die geringeren Kronenprozente. Bei den jungen Beständen dagegen fällt auf, daß auch der Engbestand ein hohes Kronenprozent aufweist. Betrachtet man die H/D-Verhältnisse, so weist der Bestand AWS den niedrigsten Wert von 51,8 % auf. Die Mittelwerte der übrigen Bestände liegen durchweg um 70 % und die Bäume können damit als stabil im Sinne der in den Waldbaurichtlinien angestrebten Werte gelten. Bei der Abholzigkeit des Stammholzes fällt erwartungsgemäß der Bestand AWS mit 1,4 cm/lfm aus dem Rahmen. Dieser Bestand AWS weist neben dem stärksten BHD auch den größten Mittendurchmesser und damit das größte Stammvolumen auf. Einen optischen Eindruck vermittelt Abbildung 9, in der die Bäume über die Bestandesmittelwerte in ihrer äußeren Form in Höhe und Durchmesser in vergleichbarem Maßstab dargestellt sind.

Tab. 3: Mittelwerte der Baum- bzw. Stammdaten nach Beständen

Bestand	Messgrößen	$\bar{x}$	s	min	max
<b>Hinterweidenthal I</b> (alt/eng/gut) 77 Jahre <b>AEG</b> N = 18	BHD m.R. cm (stehend)	51,1	8,97	37	70
	BHD o.R. ( $\cong d_1$ ) cm	46,9	7,98	35	65
	Gesamtlänge m	35,4	2,5	31	40
	Kronenprozent	36,4	11,9	18	56
	H/D - Verhältnis %	70,9	10,4	55,7	91,9
	MDM o.R. cm (21 m)	35,9	6,12	28	48
	Abholzigkeit cm/lfm Efm o.R. (21 m)	0,85 2,182	0,17 0,754	0,62 1,29	1,33 3,80
<b>Cochem</b> (alt/eng/schlecht) 80 Jahre <b>AES</b> N = 18	BHD m.R. cm (stehend)	42,5	6,3	35	56
	BHD o.R. ( $\cong d_1$ ) cm	38,7	5,02	32	50
	Gesamtlänge m	30,1	2,5	25	34
	Kronenprozent	37,8	16,9	28	87
	H/D - Verhältnis %	71,0	7,9	50,0	81,1
	MDM o.R. cm (21 m)	29,1	4,06	23	38
	Abholzigkeit cm/lfm Efm o.R. (21 m)	0,95 1,423	0,23 0,402	0,29 0,87	1,38 2,38
<b>Kirchberg</b> (alt/weit/schlecht) 83 Jahre <b>AWS</b> N = 18	BHD m.R. cm (stehend)	53,7	3,69	47	60
	BHD o.R. ( $\cong d_1$ ) cm	50,9	3,11	45	56
	Gesamtlänge m	27,7	2,1	25	32
	Kronenprozent	59,4	7,1	43	69
	H/D - Verhältnis %	51,8	3,7	45,8	59,2
	MDM o.R. cm (21 m)	37,1	4,44	28	45
	Abholzigkeit cm/lfm Efm o.R. (21 m)	1,4 2,252	0,23 0,571	0,86 1,26	1,76 3,34
<b>Hinterweidenthal II</b> (jung/eng/gut) 58 Jahre <b>JEG</b> N = 18	BHD m.R. cm (stehend)	45,2	5,11	37	56
	BHD o.R. ( $\cong d_1$ ) cm	41,7	4,4	35,5	52
	Gesamtlänge m	31,2	2,2	27	35
	Kronenprozent	52,0	7,3	41	68
	H/D - Verhältnis %	69,6	6,7	57,1	82,1
	MDM o.R. cm (21 m)	31,3	3,82	25	40
	Abholzigkeit cm/lfm Efm o.R. (21 m)	0,98 1,636	0,15 0,41	0,76 1,03	1,30 2,64
<b>Boppard</b> (jung/weit/gut) 60 Jahre <b>JWG</b> N = 18	BHD m.R. cm (stehend)	39,4	2,57	33	44
	BHD o.R. ( $\cong d_1$ ) cm	37,8	2,35	32	41,5
	Gesamtlänge m	28,7	1,8	23	32
	Kronenprozent	46,8	5,6	34	59
	H/D - Verhältnis %	72,9	6,2	59,0	84,8
	MDM o.R. cm (21 m)	27,6	2,85	22	33
	Abholzigkeit cm/lfm Efm o.R. (21 m)	0,95 1,24	0,16 0,278	0,68 0,65	1,20 1,80

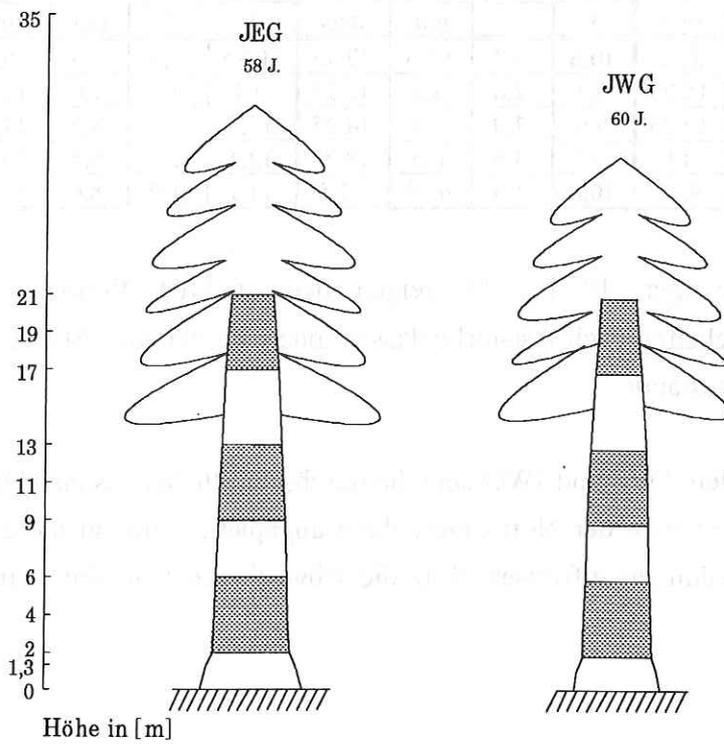
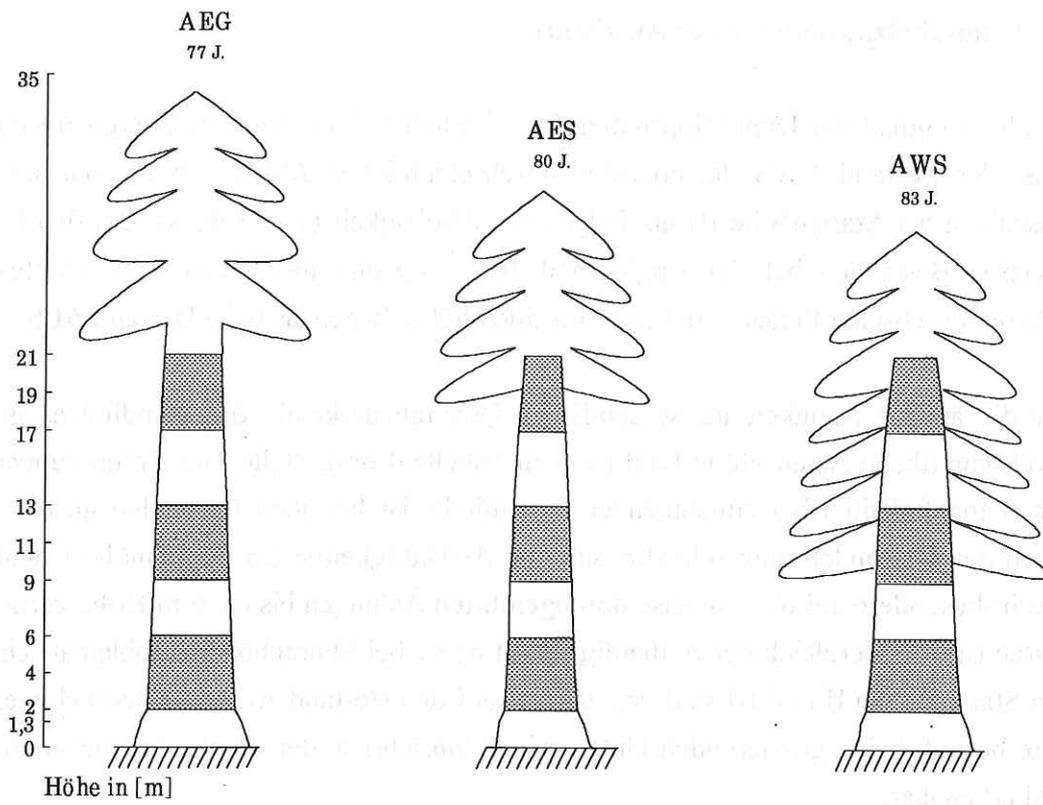


Abb. 9: Baummorphologische Mittelwerte nach Beständen

### 5.1.2 Rundholzparameter der Abschnitte

Tabelle 5 enthält die Dimensionsdaten der Abschnitte. Von den drei älteren Beständen weist der Bestand AWS die höchsten durchschnittlichen Abschnittsvolumina auf, mit Ausnahme der Stammhöhe III als Folge der Abholzigkeit (vgl. Tab. 3). Bei den beiden jüngeren Beständen hat der Engbestand JEG aufgrund des besseren Standortes die höheren durchschnittlichen Volumina, die auch höher liegen als beim Bestand AES.

Für die äußere Ästigkeit als wesentliches Qualitätsmerkmal des Rundholzes ist die durchschnittliche Astanzahl je Laufmeter in Tabelle 4 dargestellt. Der Trend zunehmender Asthäufigkeiten bei zunehmender Stammhöhe ist bei allen Beständen gleich. Zwischen den Beständen unterscheiden sich die Asthäufigkeiten bei Stammhöhe I deutlich, was insbesondere auf die teilweise durchgeführten Ästungen bis ca. 6 m Höhe zurückzuführen ist. Ein Vergleich der Asthäufigkeit ist daher bei Stammhöhe I problematisch. Bei den Stammhöhen II und III sind dagegen bis auf den Bestand AES, der deutlich weniger Äste besitzt, keine gravierenden Unterschiede hinsichtlich der durchschnittlichen Astanzahl erkennbar.

Tab. 4: **Mittlere Asthäufigkeiten je lfm der Abschnitte (4m) nach Beständen und Stammhöhen (je Stammhöhe n = 18 Abschnitte, bei AES Stammhöhe III n = 17)**

Bestand	Stammhöhe I 2 - 6 m				Stammhöhe II 9 - 13 m				Stammhöhe III 17 - 21 m			
	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	12,3	5,5	0,5	21,5	10,6	3,2	6,25	17,75	10,25	2,9	6,5	16,25
AES	6,8	4,9	0	15,75	8,7	2,6	4,5	13,75	9,4	1,7	7,0	11,00
AWS	8,2	2,7	2,25	12,75	9,9	2,0	6,5	14,25	11,5	2,0	8,5	14,75
JEG	3,7	3,9	0	14	10,7	3,5	6,5	18,75	12,1	2,4	9,5	20,00
JWG	3,1	3,0	0	9,25	10,6	1,9	6,75	14,5	11,1	1,9	8,0	15,25

Die nachfolgenden Abbildungen 10 bis 12 zeigen den direkten Vergleich der durchschnittlichen Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen innerhalb der drei Altbestände sowie der beiden jüngeren Bestände.

Bei den beiden Weitverbänden AWS und JWG sind die durchschnittlichen Astanzahlen in den Aststärkeklassen einigermaßen der Normalverteilung angepaßt, während die engen Verbände linksschiefe Verteilungen aufweisen, d. h. die schwächeren Äste sind häufiger vertreten.

Tab. 5: Mittelwerte der Durchmesser und Volumina der Abschnitte nach Beständen und Stammhöhen (Abschnittslänge 4 m, je Stammhöhe n = 18 Abschnitte)

Bestand	Meßgrößen	Stammhöhe I 2 - 6 m			Stammhöhe II 9 - 13 m			Stammhöhe III 17 - 21 m		
		$\bar{x}$	s	min max	$\bar{x}$	s	min max	$\bar{x}$	s	min max
AEG	Ø F* cm	44,5	7,8	34 60	37,8	6,5	28 50	31,9	5,7	24 42
	Ø M** cm	42,1	6,9	32 57	36,5	6,4	28 49	30,3	5,2	23 39
	Ø Z*** cm	40,4	6,7	32 54	35,2	6,1	27 47	28,9	5,0	22 37
	Efm o. R.	0,57	0,19	0,32 1,02	0,43	0,15	0,25 0,75	0,30	0,10	0,17 0,48
AES	Ø F cm	36,6	4,9	30 48	31,1	4,5	24 42	23,9	4,3	19 35
	Ø M cm	34,4	4,6	28 45	29,4	4,2	24 39	21,4	4,3	17 33
	Ø Z cm	33,1	4,7	27 45	27,6	4,1	22 38	18,5	4,5	14 31
	Efm o. R.	0,38	0,10	0,25 0,64	0,28	0,08	0,18 0,48	0,15	0,07	0,09 0,34
AWS	Ø F cm	48,0	4,2	41 55	39,4	4,1	32 46	29,8	4,6	21 39
	Ø M cm	44,6	4,2	37 52	37,4	4,6	30 45	26,3	5,3	17 38
	Ø Z cm	42,1	4,3	34 49	35,2	4,2	29 43	21,5	6,2	11 35
	Efm o. R.	0,63	0,12	0,43 0,85	0,45	0,11	0,28 0,64	0,23	0,09	0,09 0,45
JEG	Ø F cm	38,9	4,4	33,2 49,7	33,6	4,3	28 44,6	26,3	3,6	20 34,2
	Ø M cm	37,3	4,3	30,8 47,1	32,1	3,8	27,2 41,6	23,9	3,9	16,8 33
	Ø Z cm	35,5	4,3	29,8 45,3	30,5	3,3	25,5 39,2	21	4,0	13,4 29
	Efm o. R.	0,44	0,1	0,30 0,70	0,33	0,08	0,23 0,54	0,18	0,06	0,09 0,34
JWG	Ø F cm	35,3	2,4	30,1 39,3	30,8	2,6	26,8 37,1	23,3	2,6	19,3 29,7
	Ø M cm	33,6	2,7	29 38,5	29,1	2,4	25 33,8	20,9	2,8	17 26,8
	Ø Z cm	32,2	2,7	28,4 38,2	27,5	2,9	21,7 33	17,9	3,1	13,4 23
	Efm o. R.	0,36	0,06	0,26 0,47	0,27	0,04	0,20 0,36	0,14	0,04	0,09 0,23

\* mittl. Durchmesser am stärkeren Ende ("Fuß")

\*\* mittl. Mitteldurchmesser

\*\*\* mittl. Durchmesser am schwächeren Ende ("Zopf")

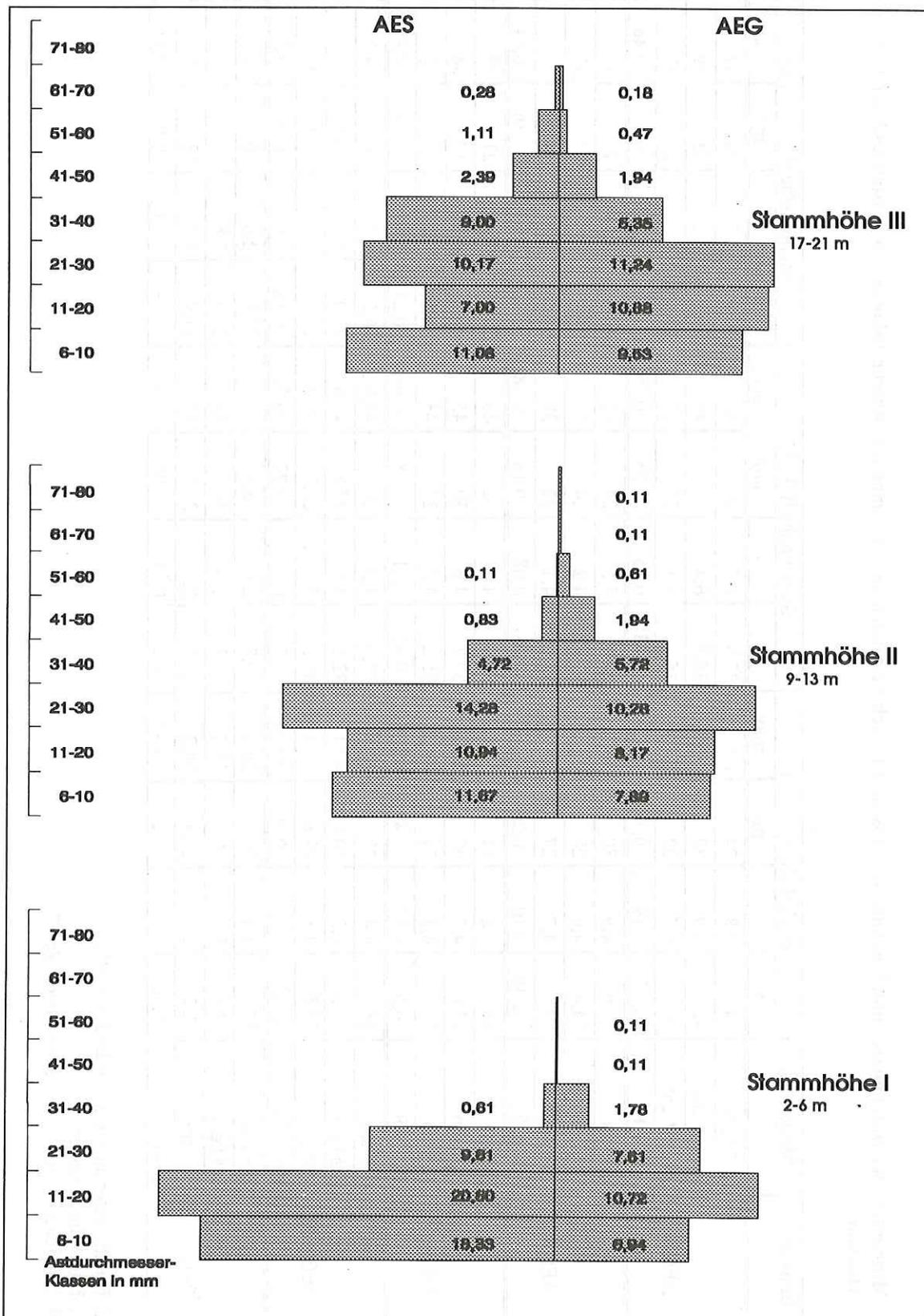


Abb.10: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Rundholz

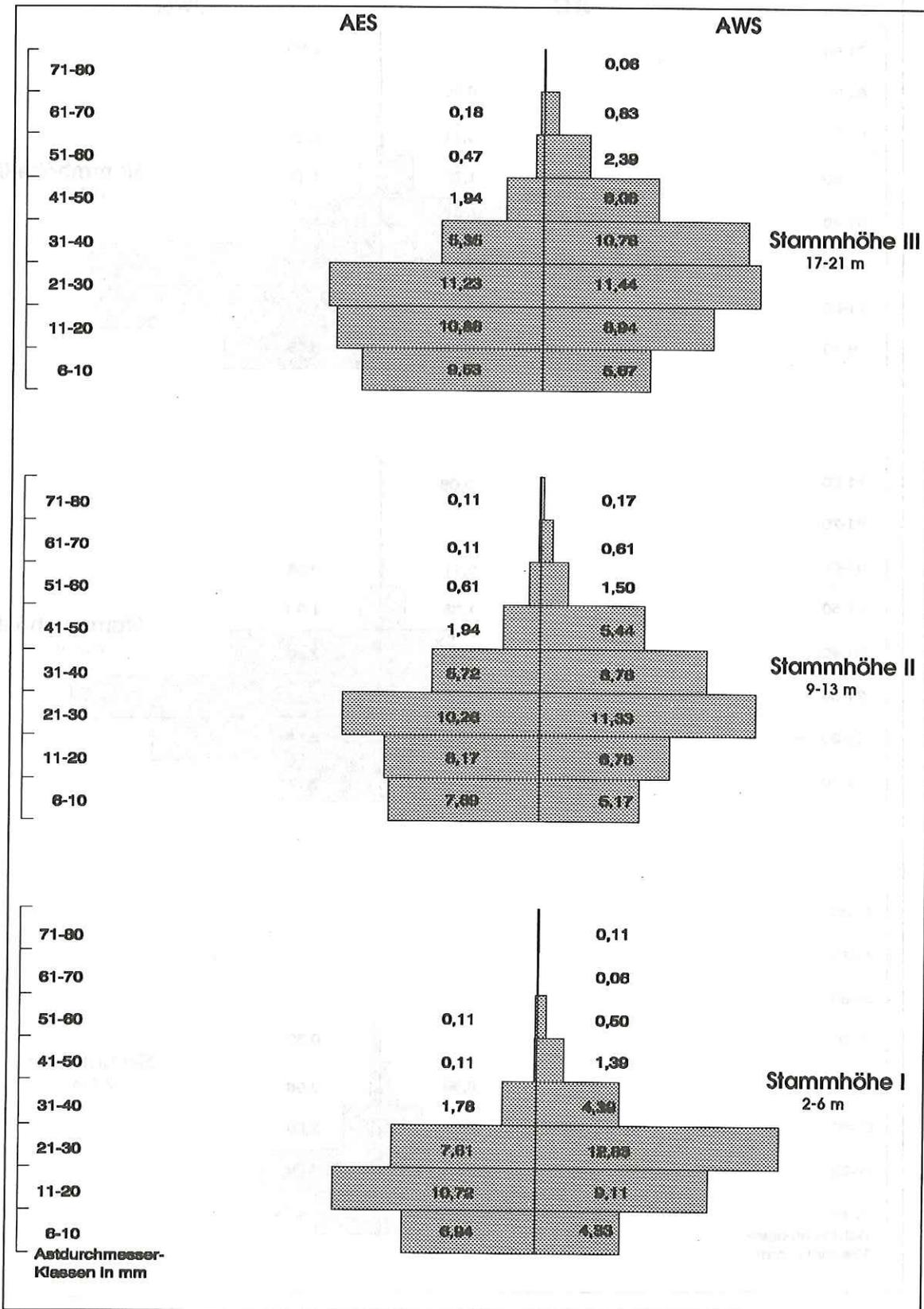


Abb.11: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Rundholz



Der Vergleich der kumulierten Astdurchmessersummen zwischen den Beständen (Produkt aus Aststärkeklassen multipliziert mit der Asthäufigkeit) ergibt bei Stammhöhe II für den Bestand AWS signifikant ( 5 %-Niveau) höhere Werte (Tab. 6) als bei AEG und AES.

Tab. 6: Kumulierte Astdurchmessersummen ( $\Sigma$  Aststärkeklasse x Astanzahl in mm)

Bestand	Stammhöhe II					Stammhöhe III				
	n	$\bar{x}$	s	min	max	n	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	18	1001,1	319,1	560	1500	18	1121,1	241,7	680	1530
AES	18	930	227,8	560	1410	17	1001,8	203,8	670	1450
AWS	18	1296,7	359,8	480	1960	18	1518,9	182,2	1210	1860
JEG	18	1024,4	199,4	690	1470	18	1168,9	148,4	870	1360
JWG	18	1153,3	266,1	720	1690	18	1090,6	136,1	840	1330

Die beiden jüngeren Bestände zeigen keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Stammhöhe III verhalten sich die Unterschiede innerhalb der älteren und innerhalb der jüngeren Bestände analog. Der Vergleich zwischen älteren und jüngeren Beständen fällt bei beiden Stammhöhen uneinheitlich aus.

Dieses Ergebnis entspricht nur bei den älteren Beständen der Erwartung, daß nämlich weit begründete Bestände mehr und dickere Äste aufweisen.

Daß bei den jüngeren Beständen keine signifikanten Unterschiede auftreten, liegt möglicherweise an der besseren Bonität des Bestandes JEG.

Der Idealfall für eine bestandesbezogene, holztechnologische Untersuchung wäre die Zugriffsmöglichkeit auf ertragskundliche Weiserflächen. Die hier übliche Dokumentation der Standraumverhältnisse und der Nachbarbeziehungen ermöglichte eine exakte Analyse durch die Einengung der Einflußfaktoren. Da jedoch Weiserflächen im allgemeinen kaum und bei der Douglasie mit den geforderten Spezifikationen im besonderen gar nicht für holztechnologische Untersuchungen zur Verfügung stehen, wird dies ein Wunschtraum der holztechnologischen Forschung bleiben.

### 5.1.3 Gütesortierung der Abschnitte

Da in Rheinland-Pfalz keine detaillierten Sortiervorschriften vorliegen, welche die nicht trennscharfe Gütesortierung nach HKS präzisieren, erfolgte die Gütesortierung nach dem

Entwurf einer europäischen Vornorm für die Holzartengruppe Lärche/Douglasie im Rahmen der CEN-Normung (Stand 11.06.1993) sowie zum Vergleich nach den einschlägigen die HKS präzisierenden Sortiervorschriften der benachbarten Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen.

Auf eine Sortierung nach DIN 4074, Blatt 2, "Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz)" wurde verzichtet, da diese Sortierung ausschließlich für die Verwendung des Holzes in runder Form gilt, was bei dieser Untersuchung explizit nicht vorgesehen ist. Desweiteren hat diese Norm für die Praxis nur eine sehr untergeordnete Bedeutung (SAUTER, 1992).

Die äußeren Merkmale zur Erfassung der Rundholzqualität mit dem Ziel der Gütesortierung der Abschnitte umfaßt neben der Ästigkeit weitere Merkmale, die in nachfolgender Tabelle 7 beschrieben sind.

Die in Tabelle 7 aufgeführten Meßergebnisse dienen zunächst der allgemeinen Beschreibung der Rundholzqualität. Nicht jedes der aufgeführten Kriterien ist Bestandteil aller drei Sortiernormen, vielmehr werden die einzelnen Kriterien fallweise zur Sortierung je nach Maßgabe der Normen herangezogen.

#### 5.1.3.1 Sortierung nach CEN-Vornorm-Entwurf

Das Untersuchungsmaterial wurde anhand aller Sortierkriterien dieser Vornorm geprüft. Dabei zeigte sich jedoch, daß Harzgallen, Überschreitung der maximal zulässigen Jahrringbreiten und Krümmungen sowie Drehwuchs in sortierwirksamem Ausmaß nicht vorkamen. Desgleichen spielten Risse aller Art, Insektenbefall, Faulstellen und Verfärbungen keine Rolle. Bei den Ästen wurde bei der Aufnahme nicht unterschieden nach "gesund, verwachsen", "nicht verwachsen" und "faul". Fauläste kamen nicht vor, von den beiden anderen Kategorien wurde der niedrigere Grenzdurchmesser der nicht verwachsenen Äste zur Klassifizierung herangezogen, obwohl diese Regelung für Douglasien-Rundholz nur schwer nachvollziehbar erscheint, da verwachsene Äste nur am Schnittholz mit hinreichender Sicherheit zu erkennen sind.

Als sortierwirksame Kriterien bleiben also übrig:

- größter Astdurchmesser
- Exzentrizität der Markröhre
- Abholzigkeit.

Das Sortierergebnis nach CEN-Vornormentwurf ist in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tab. 7: Güteermkmale der Abschnitte - Durchschnittswerte für Abholzigkeit, Exzentrizität, Ovalität und Krümmung nach Beständen und Stammhöhen

Bestand	Meßgrößen	Stammhöhe I = 2 - 6 m					Stammhöhe II = 9 - 13 m					Stammhöhe III = 17 - 21 m				
		$\bar{x}$	s	min	max		$\bar{x}$	s	min	max		$\bar{x}$	s	min	max	
AEG	Abholzigkeit cm/lfm	1,0	0,4	0,3	1,5		0,7	0,2	0,3	1,0		0,8	0,3	0,3	1,5	
	Exzentrizität $r_{max} - r_{min}$ cm	4,5	2,2	1	8		3,9	2,2	1	9		2,7	1,3	0	5	
	Ovalität $\frac{\phi_{max}}{\phi_{min}}$	1,06	0,03	1,0	1,13		1,05	0,04	1,0	1,12		1,05	0,04	1,0	1,12	
AES (Stammhöhe III n = 17)	Krümmung mm/lfm	6,3	2,1	5,0	10,0		5,7	1,7	5,0	10,0		5,3	1,2	5,0	10,0	
	Abholzigkeit cm/lfm	0,9	0,3	0,3	1,5		0,9	0,3	0,3	1,3		1,4	0,4	0,8	2,3	
	Exzentrizität $r_{max} - r_{min}$ cm	4	1,6	2	7		2,7	1,4	1	5		1,5	1,0	0	4	
AWS	Ovalität $\frac{\phi_{max}}{\phi_{min}}$	1,03	0,04	0,93	1,12		1,04	0,04	1,0	1,12		1,03	0,04	1,0	1,13	
	Krümmung mm/lfm	6,4	2,0	5,0	10,0		5,4	1,0	5,0	7,5		6,2	1,6	5,0	10,0	
	Abholzigkeit cm/lfm	1,5	0,6	0,5	2,3		1,1	0,3	0,5	1,5		2,1	0,7	1,0	3,8	
AWS	Exzentrizität $r_{max} - r_{min}$ cm	5,6	3,0	2	14		5	2,5	2	12		2,2	1,5	0	6	
	Ovalität $\frac{\phi_{max}}{\phi_{min}}$	1,07	0,04	1,02	1,19		1,08	0,05	1,03	1,17		1,07	0,03	1,04	1,18	
	Krümmung mm/lfm	5,7	2,1	5,0	10,0		6,0	1,5	5,0	10,0		6,3	1,6	5,0	10,0	
JEG	Abholzigkeit cm/lfm	0,9	0,2	0,5	1,1		0,8	0,4	0,3	1,6		1,3	0,4	0,5	1,9	
	Exzentrizität $r_{max} - r_{min}$ cm	3,5	1,5	0	6		2,9	1,5	0	6		2,5	1,1	1,3	6	
	Ovalität $\frac{\phi_{max}}{\phi_{min}}$	1,05	0,03	1,0	1,1		1,04	0,03	1,0	1,12		1,06	0,05	1,0	1,17	
JWG	Krümmung mm/lfm	5,3	0,8	5,0	7,5		5,1	0,6	5,0	7,5		5,3	0,8	5,0	7,5	
	Abholzigkeit cm/lfm	0,8	0,3	0,3	1,5		0,8	0,3	0,3	1,3		1,4	0,4	0,7	2,0	
	Exzentrizität $r_{max} - r_{min}$ cm	3,2	1,9	0,5	6,7		2,4	1,2	0,2	4,7		1,9	1,4	0,5	6,4	
JWG	Ovalität $\frac{\phi_{max}}{\phi_{min}}$	1,04	0,03	1,0	1,13		1,05	0,05	1,0	1,24		1,06	0,07	1,0	1,31	
	Krümmung mm/lfm	5,1	0,6	5,0	7,5		5,3	1,2	5,0	10,0		5,0	-	5,0	5,0	

Tab. 8: Gesamtübersicht der Verteilung der Abschnitte (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) auf die Rundholz-Güteklassen nach CEN-Vornorm-Entwurf in %

<u>Güteklasse CEN</u>				
	A	B	C	D
sortiert nach ...	%			
Astdurchmesser	6 0	53 ≤ 4 cm	38 ≤ 7 cm	3 unbeschränkt
Exzentrizität der Markröhre	50 ≤ 10 %	43 ≤ 20 %	7 unbeschränkt	-- unbeschränkt
Abholzigkeit *	-- unbeschränkt	94 ≤ 2 cm/lfm	-- unbeschränkt	-- unbeschränkt
Gesamtbewertung	3	50	44	3

\* Da bei der Abholzigkeit nur für Güteklasse B, nicht aber für Güteklasse A, C und D ein Grenzwert (≤ 2 cm) vorgesehen ist, kann nicht angegeben werden, in welche Güteklasse die 16 Abschnitte, deren Abholzigkeit > 2 cm/lfm beträgt, hinsichtlich ihrer Abholzigkeit einsortiert werden.

Der Großteil (50 %) der Abschnitte fällt in Güteklasse B, gefolgt von Güteklasse C mit 44 %. Auf die Güteklassen A und D teilen sich die restlichen Abschnitte auf und sind damit nur von nachgeordneter Bedeutung. Am sortierwirksamsten, d.h. ausschlaggebend, ist der maximal zulässige Astdurchmesser, der aus der Güteklasse A 253 und der Güteklasse B immerhin 109 Abschnitte ausscheidet. Der Verzicht auf eine Berücksichtigung der Abholzigkeit als Sortierkriterium bei Güteklasse A wird so interpretiert, daß die geforderte absolute äußerliche Astfreiheit bei dieser Güteklasse das Sortierkriterium schlechthin darstellt.

In Tabelle 9 ist die Güteklassenverteilung nach CEN-Normentwurf bestandesweise und nach Lage der Abschnitte im Stamm differenziert dargestellt.

Tab. 9: Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach CEN-Vornorm-Entwurf

Bestand	Stammhöhe I				Stammhöhe II				Stammhöhe III				Σ				ΣΣ
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	
AEG	-	18	-	-	-	13	5	-	-	7	11	-	-	38	16	-	54
AES	3	13	2	-	-	3	14	1	-	3	14	-	3	19	30	1	53
AWS	-	6	11	1	-	3	12	3	-	-	17	1	-	9	40	5	54
JEG	4	14	-	-	-	14	3	1	-	11	7	-	4	39	10	1	54
JWG	6	10	2	-	-	10	8	-	-	9	8	1	6	29	18	1	54
Σ	13	61	15	1	-	43	42	5	-	30	57	2	13	134	114	8	269

Abschnitte der Güteklasse A kommen nur im Erdstammblock vor, wobei sich hier Ästungsmaßnahmen bemerkbar machen. Auffällig ist der Bestand AWS, bei dem bereits im Erdstammblock die Güteklasse C überwiegt.

Beim Mittelblock überwiegen bei den Beständen AES und AWS die C-Anteile, wobei schon D-Abschnitte vorkommen. Diese Tendenz setzt sich beim Zopfblock fort.

Ganz klar und allen Erkenntnissen gemäß ist die sinkende Güte mit zunehmender Stammhöhe. Bei den älteren Beständen erzielt AEG die besten Sortierergebnisse, auch bei den jüngeren Beständen schneidet der eng begründete am besten ab. Von den beiden weitständig begründeten fällt der jüngere weniger, der ältere dagegen deutlich ab.

### 5.1.3.2 Sortierung nach HKS

Wie bereits erwähnt, bestehen in Rheinland-Pfalz keine die allgemeine Gütesortierung nach HKS präzisierenden Sortiermerkblätter. Deshalb wurde auf die Sortiermerkblätter der benachbarten Bundesländer Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen zurückgegriffen. Als sortierwirksame Kriterien ergaben sich nach HKS für Fichte/Tanne Baden-Württemberg, in der die Douglasie explizit nicht enthalten ist, jedoch in der Sortierpraxis subsumiert wird, ausschließlich die Ästigkeit, nach HKS für Fichte/Tanne/Douglasie Nordrhein-Westfalen Ästigkeit und Abholzigkeit. Das Ergebnis beider Sortierungen ist in nachstehender Tabelle 10 dokumentiert.

Tab. 10: Güteklassenanteile der Abschnitte nach HKS-Sortiermerkblättern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte)

		<u>Güteklasse HKS</u>		
		A	B	C
sortiert nach ...		%		
Baden-Württemberg:	Ästigkeit Fi/Ta (Ast-Ø)	5 keine	51 ≤ 40 mm	44 > 40 mm
	Ästigkeit Fi/Ta/Dgl (Ast-Ø)	5 keine	92 ≤ 70 mm	3 ≤ 100 mm
Nordrhein-Westfalen:	Abholzigkeit (cm/lfm)	62 ≤ 1	23 ≤ 1,5	15 > 1,5
	Gesamtbewertung	4	78	18

Zunächst fällt auf, daß nach HKS keine D-Abschnitte anfallen. Die A-Anteile nach CEN-Vornorm-Entwurf und HKS bewegen sich auf etwa gleichem Niveau. Die Verteilung auf die Güteklassen B und C sind bei CEN (50:44) und HKS Baden-Württemberg (51:44)

fast identisch. SAUTER (1992) sortierte 141 Douglasien-Abschnitte nach Fichte/Tanne-Sortierung Baden-Württemberg. Danach entfielen 15 % auf Güteklasse A, 40 % auf Güteklasse B und 45 % auf Güteklasse C. Die C-Anteile der eigenen Untersuchung liegen damit etwa gleich, die höheren A-Anteile bei SAUTER auf Kosten der Güteklasse B resultieren auf einem höheren Anteil geästeter Erdstammstücke. Nach nordrhein-westfälischer Sortierung beträgt dieses Verhältnis 78:18, was im wesentlichen auf den maximal zulässigen Astdurchmesser von 70 mm bei der Güteklasse B in dieser Vorschrift zurückzuführen ist. Hier kommt der Charakter von Fichte/Tanne als Massenware, der auch die Douglasie zugerechnet wird, zum Ausdruck. Eine differenziertere Betrachtungsweise für die Douglasie wäre danach zu erwägen.

In nachfolgenden Tabellen 11 und 12 sind analog der Tabelle 9 die Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen nach HKS-Sortiermerkblättern Baden-Württemberg bzw. Nordrhein-Westfalen dargestellt.

Tab. 11: Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach HKS-Sortiermerkblättern Baden-Württemberg (Fichte/Tanne)

Bestand	Stammhöhe I			Stammhöhe II			Stammhöhe III			Σ			ΣΣ
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
AEG	-	18	-	-	13	5	-	7	11	-	38	16	54
AES	3	13	2	-	3	15	-	3	14	3	19	31	53
AWS	-	8	10	-	3	15	-	-	18	-	11	43	54
JEG	4	14	-	-	14	4	-	11	7	4	39	11	54
JWG	6	10	2	-	10	8	-	10	8	6	30	18	54
Σ	13	63	14	-	43	47	-	31	58	13	137	119	269

Tab. 12: Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach HKS-Sortiermerkblättern Nordrhein-Westfalen (Fichte/Tanne/Douglasie)

Bestand	Stammhöhe I			Stammhöhe II			Stammhöhe III			Σ			ΣΣ
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
AEG	-	18	-	-	18	-	-	18	-	-	54	-	54
AES	3	15	-	-	17	1	-	13	4	3	45	5	53
AWS	-	10	8	-	15	3	-	3	15	-	28	26	54
JEG	4	14	-	-	16	2	-	13	5	4	43	7	54
JWG	5	13	-	-	18	-	-	9	9	5	40	9	54
Σ	12	70	8	-	84	6	-	56	33	12	210	47	269

Es zeigt sich, daß die HKS-Sortierung Baden-Württemberg bei Betrachtung nach Beständen und Stammhöhen nahezu das gleiche Ergebnis bringt wie die CEN-Sortierung. Insofern gelten die Aussagen aus Kapitel 5.1.3.1 gleichermaßen mit der Einschränkung, daß in Baden-Württemberg keine Aststärkenbegrenzung bei Güteklasse C besteht und somit kein Abschnitt in die Güteklasse D eingestuft werden muß.

Bei der nordrhein-westfälischen Sortierweise wiederholt sich das, was beim summarischen Vergleich bereits erkennbar war, auch bei der Verteilung der Güteklassen nach Beständen und Stammhöhen. Besonders bei den Stammhöhen II und III kommt der wenig differenzierende maximal zulässige Astdurchmesser in Güteklasse B von 70 mm deutlich zum Ausdruck.

A-Abschnitte fallen nur in Stammhöhe I an, Stammhöhe II wird dominiert von der Güteklasse B, in Stammhöhe III sind gut ein Drittel der Abschnitte Güteklasse C. Die Güteklasse D ist nicht vertreten.

Neben der rein stückzahlmäßigen Verteilung der Abschnitte auf die Güteklassen ist die Verteilung der Volumina für die betriebswirtschaftliche Kalkulation von Interesse. Nachfolgende Tabelle 13 zeigt den summarischen volumenbezogenen Vergleich der drei vorgestellten Sortiernormen.

Tab. 13: **Volumenanteile (%) der Güteklassen bei unterschiedlicher Sortiernorm**

	A	B	C	D
CEN-Vornorm-Entwurf	5,4	51,8	39,0	3,8
HKS-Sortierung Fi/Ta Baden-Württemberg	5,4	53,2	41,4	-
HKS-Sortierung Fi/Ta/Dgl Nordrhein-Westfalen	5,0	80,7	14,3	-

Erwartungsgemäß steigen die volumenbezogenen Anteile der besseren Güteklassen zu Lasten der schlechteren Güteklassen leicht an, resultierend aus der gleichzeitig mit der Güte abnehmenden Stärke mit zunehmender Stammhöhe. Im übrigen spiegeln sich die Relationen aus dem reinen Stückzahlvergleich wider.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß die Qualität des Rundholzes eindeutig von der Stammhöhe abhängt. Der Vergleich der Sortierungsvarianten ergibt eine deutlichere Gütedifferenzierung bei dem CEN-Vornorm-Entwurf und nach baden-württembergischem HKS-Sortiermerkblatt gegenüber der "massensortiment"-orientierten, nivellierenden nordrhein-westfälischen HKS-Auslegung. Am deutlichsten unterscheidet sich die nordrhein-westfälische HKS-Variante von der baden-württembergischen und der CEN-Norm in der Stammhöhe II, wo über 90% der Abschnitte noch in die Güteklasse B (Baden-Württemberg und CEN rd. 50%) fallen. Bei der Stammhöhe III verkehrt sich das Verhältnis B:C von rd. zwei Drittel zu einem Drittel in Nordrhein-Westfalen nach CEN-Vornorm und baden-württembergischen Sortiermerkblättern ins Gegenteil. Bemerkenswert ist die weitgehende Übereinstimmung der Sortierung nach CEN und baden-württembergischer HKS-Präzisierung.

## 5.2 Holzanatomische Kenngrößen

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurden an 270 Stammscheiben (3 je Baum) die holzanatomischen Kenngrößen Jahrringbreite, Spätholzanteil, Kern-/Splint-Anteil sowie als physikalische Kenngröße die Darrdichte bestimmt. Diese Teilaspekte der Untersuchung sind als Bindeglied zwischen den Rundholzeigenschaften der Abschnitte und den Schnittholzeigenschaften der daraus erzeugten Kanthölzer zu verstehen. Der Jahrringbau und damit einhergehend die Dichte sind die Holzqualität und damit die Verwendung wesentlich bestimmende Faktoren.

Es gilt insbesondere, mögliche Unterschiede zwischen den Beständen und den unterschiedlichen Stammhöhen zu erkennen, zu beschreiben und zu bewerten.

### 5.2.1 Jahrringbreite

Das sekundäre Dickenwachstum des Holzes erfolgt mit dem Xylem ringförmig um den bereits vorhandenen Schaft. Dieser in den gemäßigten Breiten jahreszeitbedingt nur in der Vegetationszeit gebildete neue Wachstumsring wird als Jahrring bezeichnet. Ein Jahrring besteht aus dem Frühholz, dem zu Beginn der Vegetationszeit gebildeten Teil des Jahrringes mit meist weitleumigen und dünnwandigen Zellelementen, und dem Spätholz, welches gegen Ende der Vegetationszeit mit meist englumigen und dickwandigen Zellelementen gebildet wird. Die Jahrringe sind makroskopisch besonders deutlich zu erkennen, wenn sich das zuerst gebildete weitleumige Frühholz von einer möglichst breiten Zone dichteren Spätholzes abhebt. Das ist bei einigen Nadelholzarten wie z. B. der Douglasie der Fall. Hier ist der Jahrring durch das helle, graugelb gefärbte Frühholz und das dunkle, rötlichbraune und aus radial abgeplatteten Zellen zusammengesetzte Spätholz besonders gut zu erkennen (BOSSHARD, 1974; METTE, 1984; MOLISCH und HÖFLER, 1965; WAGENFÜHR und SCHEIBER, 1974).

In nachfolgender Tabelle 14 sind die mittleren Jahrringbreiten der Bestände in drei Höhen - zunächst aus vier Radien jeder Stammscheibe und dann über jeweils 18 Stammscheiben gemittelt - mit der Standardabweichung sowie den minimalen und maximalen Stammscheibenmittelwerten zusammengefaßt dargestellt.

Die witterungsabhängige Jahrringbreiten- und Spätholzbreitenentwicklung nach Kalenderjahren und die große Jahrringvariabilität während des Baumwachstums sind für die fünf Bestände in Abbildungen 13 bis 17 dargestellt.

Tab. 14: Bestandesmittelwerte der mittleren Jahrringbreite (mm) nach Stammhöhen

Bestand	Höhe (m)	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	3,01	0,55	2,30	4,05
	9	3,01	0,57	2,31	4,12
	17	3,08	0,59	2,42	4,18
AES	2	2,72	0,43	2,14	3,68
	9	2,66	0,42	2,08	3,50
	17	2,51	0,45	1,78	3,47
AWS	2	3,26	0,30	2,79	3,83
	9	3,13	0,30	2,74	3,82
	17	2,97	0,40	2,25	3,63
JEG	2	3,83	0,40	3,24	4,65
	9	3,99	0,49	3,44	4,99
	17	4,19	0,52	3,31	5,39
JWG	2	3,49	0,25	2,99	3,93
	9	3,92	0,37	3,22	4,51
	17	4,34	0,47	3,53	5,17

Die Abbildungen 13 bis 17 zeigen im Vergleich bei allen Beständen und Stammhöhen einen analogen charakteristischen Verlauf der Jahrring- und der Spätholzbreitenkurven. Im Bereich des marknahen juvenilen Holzes steigen die mittleren Jahrringbreiten zuerst auffallend stark an, danach fallen die Kurven tendenziell zunächst stärker, später flacher bis zum Fällungsjahr hin ab.

Mit zunehmender Stammhöhe zeigt unter den drei älteren Beständen AEG einen fast ausgeglichenen Verlauf der mittleren Jahrringbreite, AES und AWS weisen eine leicht sinkende Tendenz auf. Absolut sind die mittleren Jahrringbreiten bei AES am niedrigsten, bei AWS in 2 und 9 m Höhe am höchsten. In 17 m Höhe übertrifft AEG den Bestand AWS.

Die beiden jüngeren Bestände zeigen eine gegenläufige Tendenz: in allen Höhen steigen die mittleren Jahrringbreiten mit der Höhe an, wobei Bestand JWG in 17 m die absolut weitesten Jahrringe aufweist.

Bei allen drei Stammhöhen sind die mittleren Jahrringbreiten der beiden jüngeren Bestände höher als in den älteren Beständen. Nachfolgende Tabelle 15 gibt einen Überblick über die Signifikanz der Unterschiede der mittleren Jahrringbreiten.

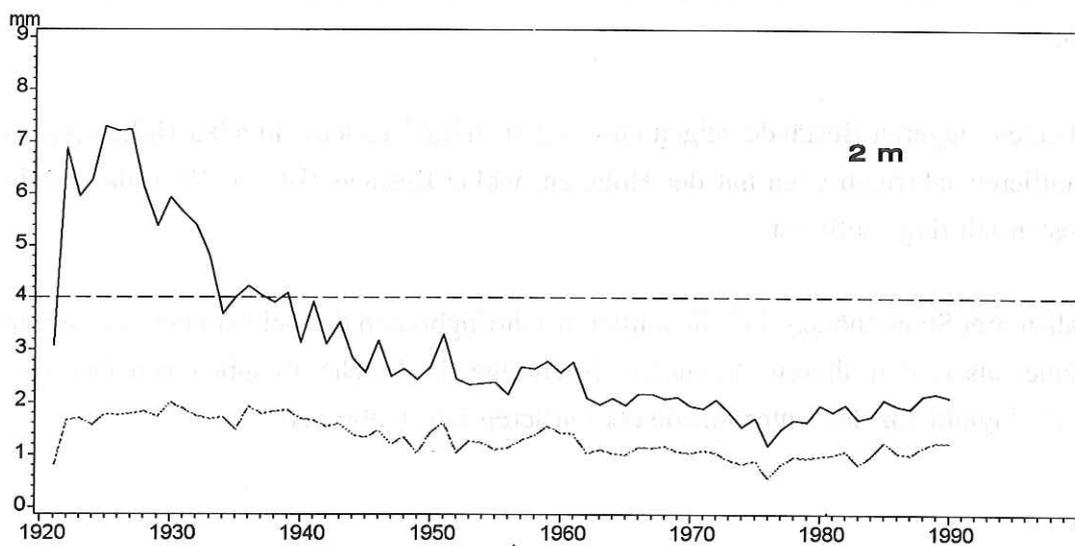
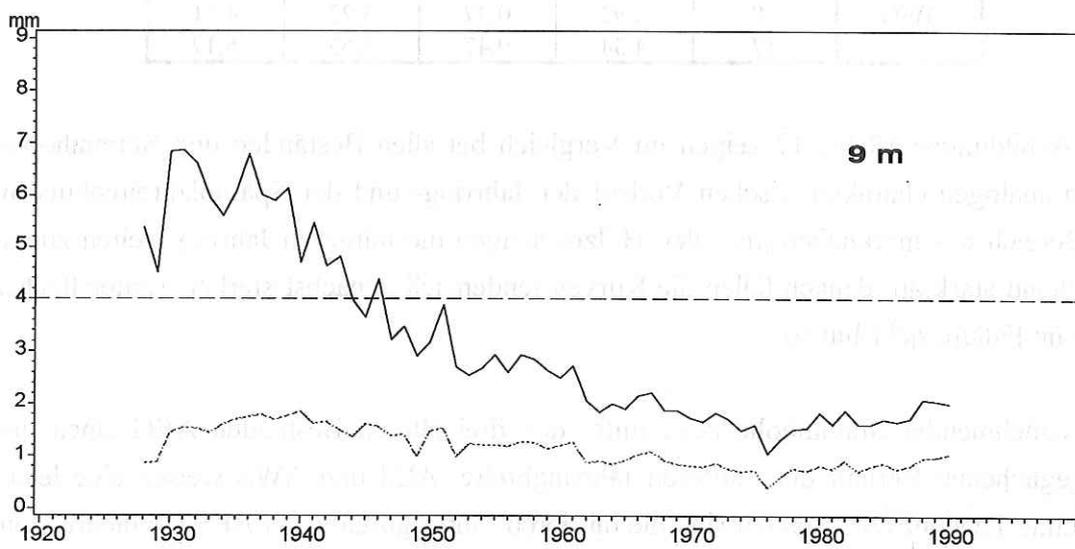
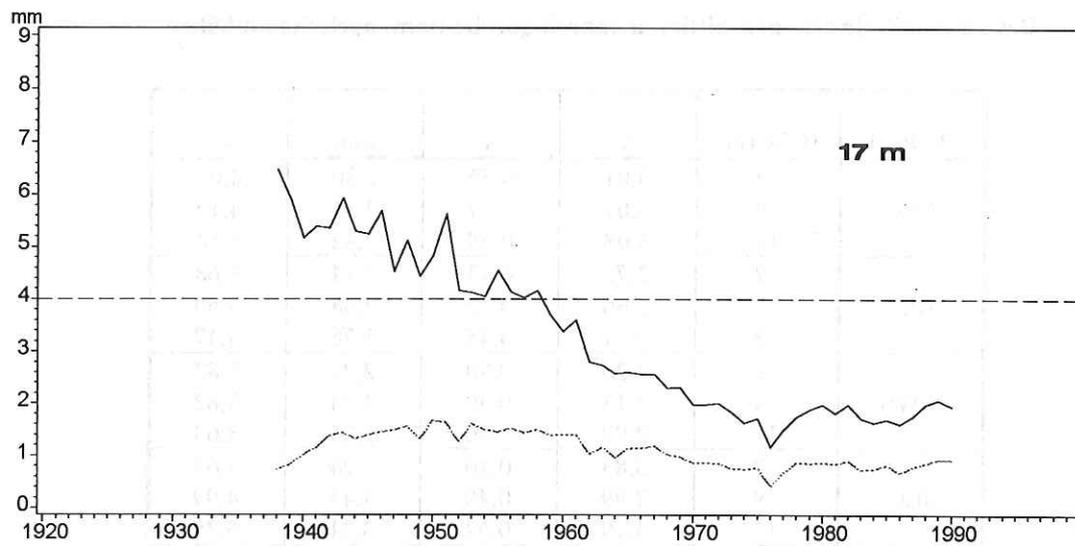


Abb.13: Mittlere Jahrring- (obere Kurve) und Spätholzbreiten (untere Kurve) bei Bestand AEG

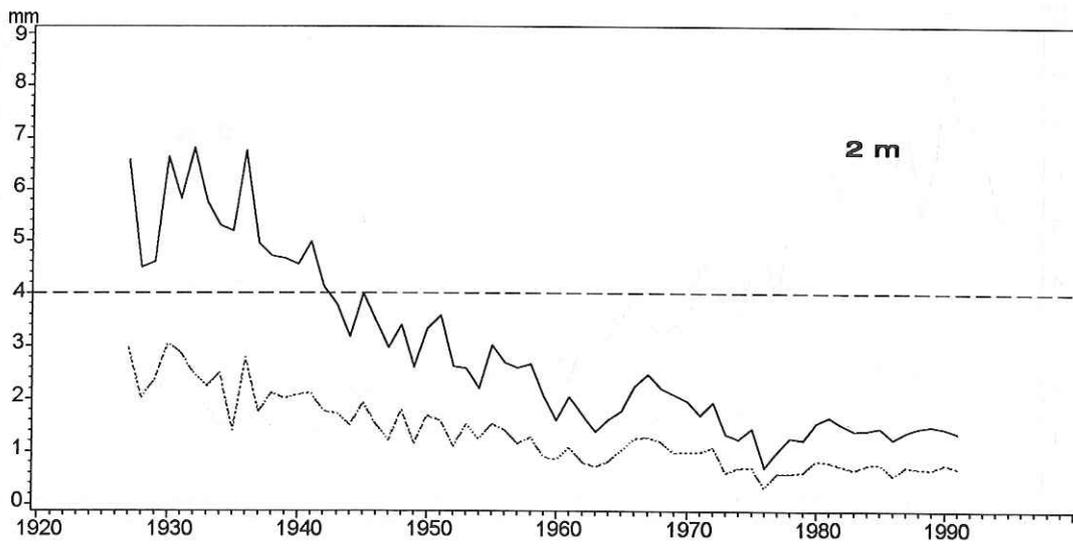
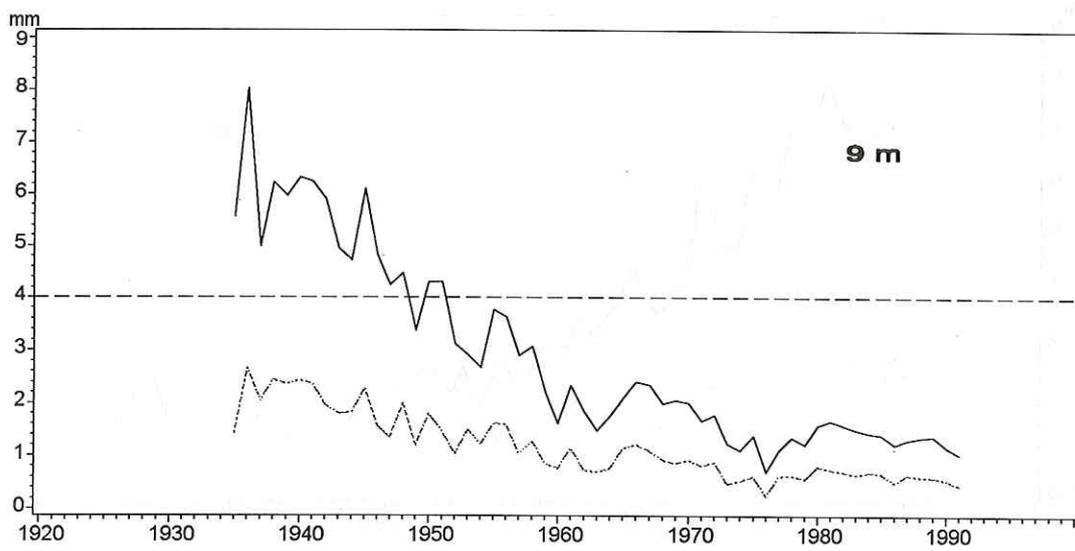
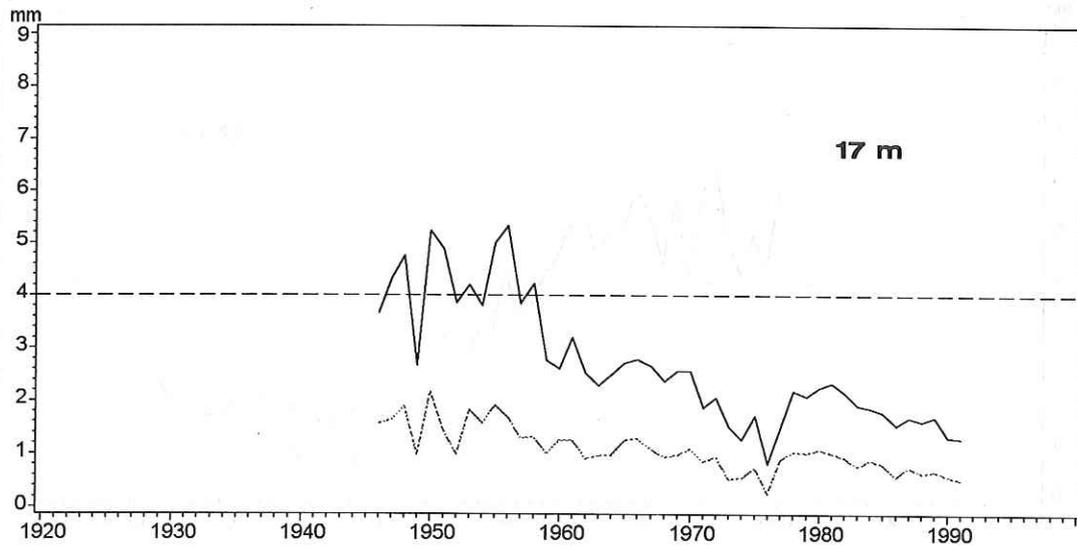


Abb.14: Mittlere Jahring- (obere Kurve) und Spätholzbreiten (untere Kurve) bei Bestand AES

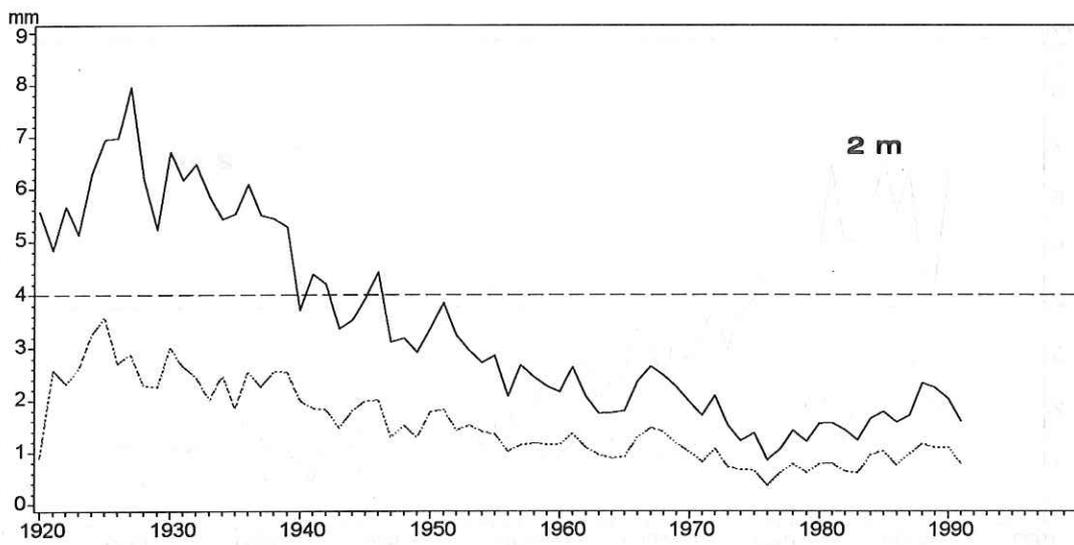
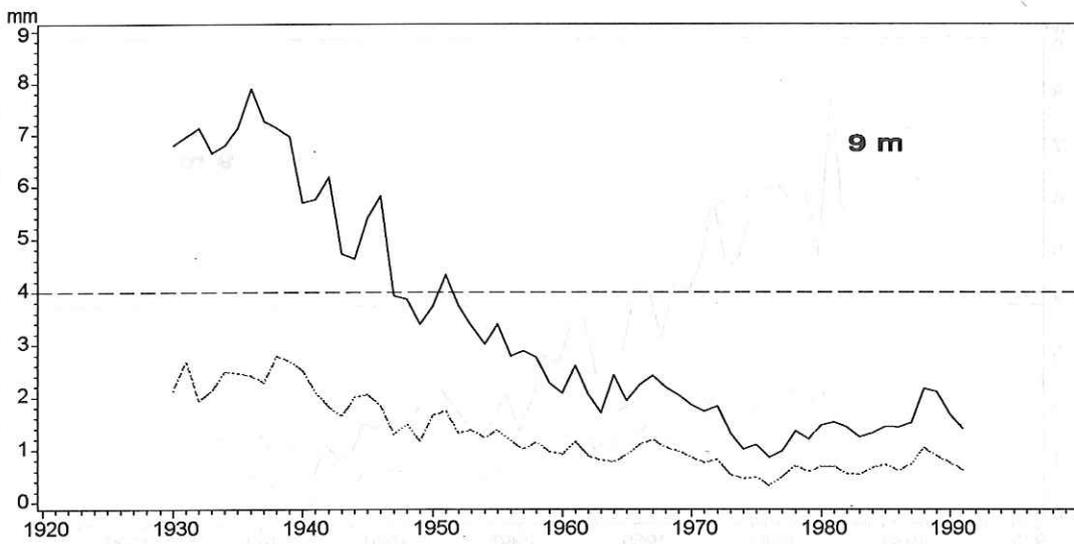
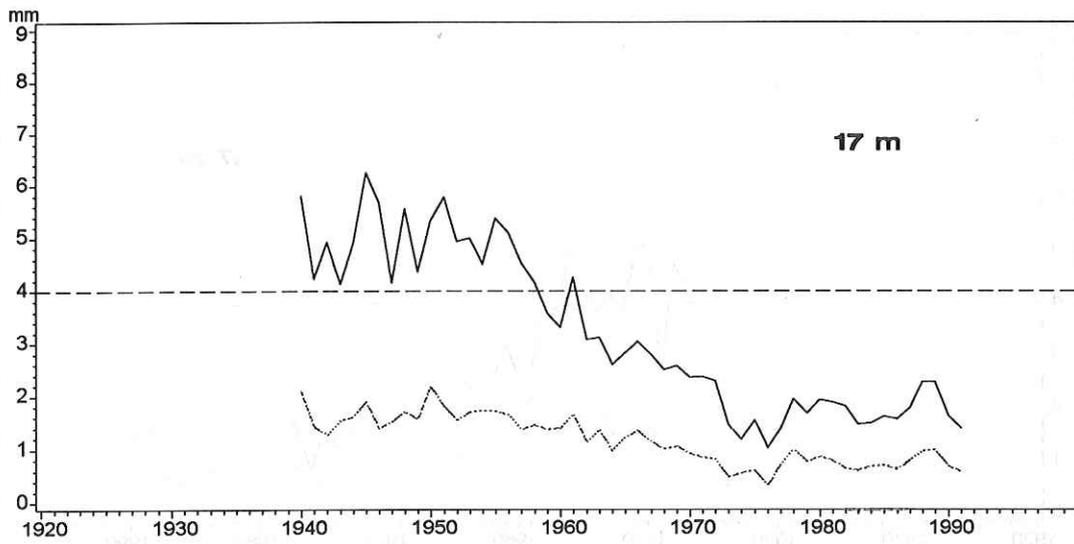


Abb.15: Mittlere Jahring- (obere Kurve) und Spätholzbreiten (untere Kurve) bei Bestand AWS

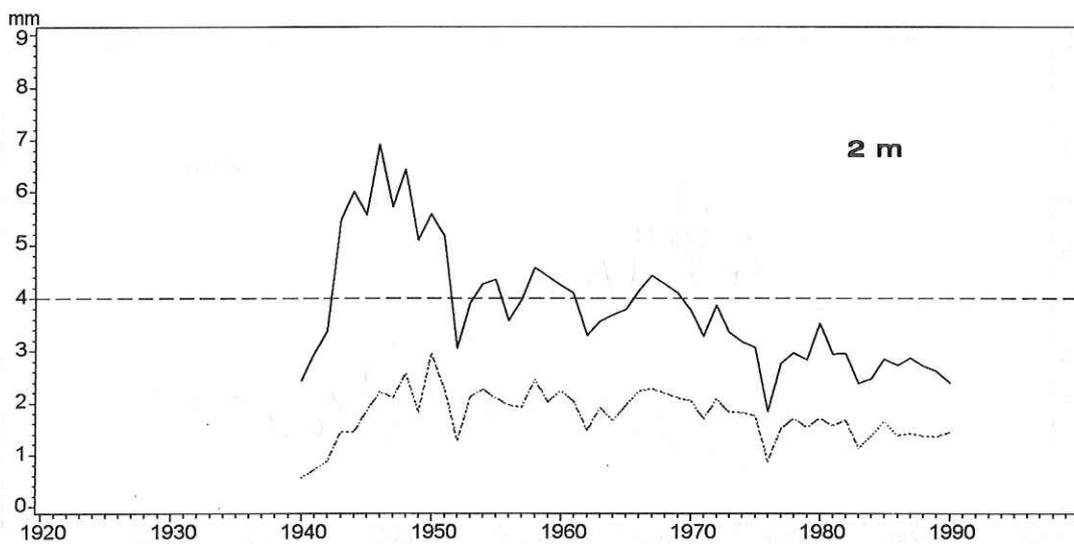
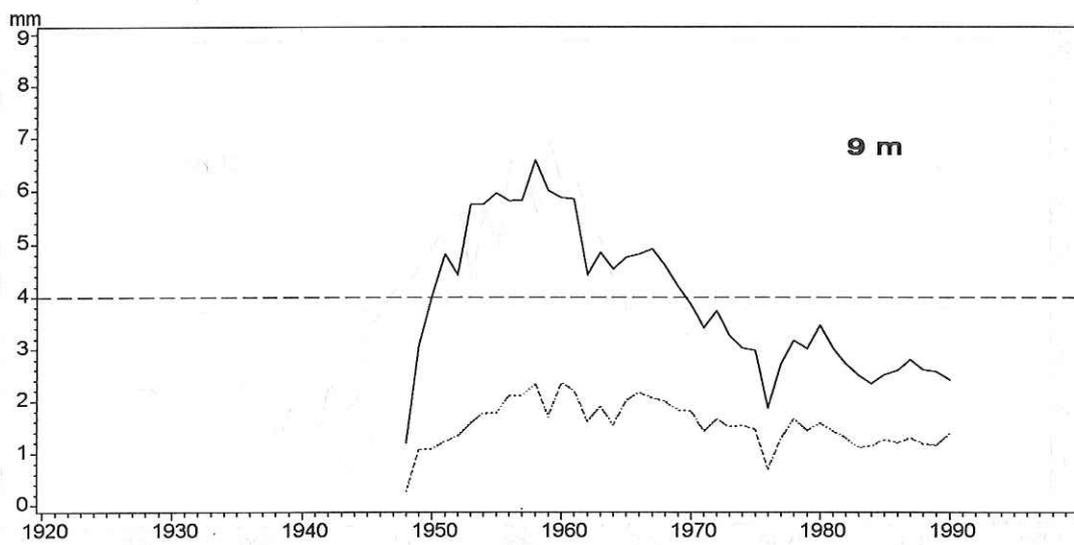
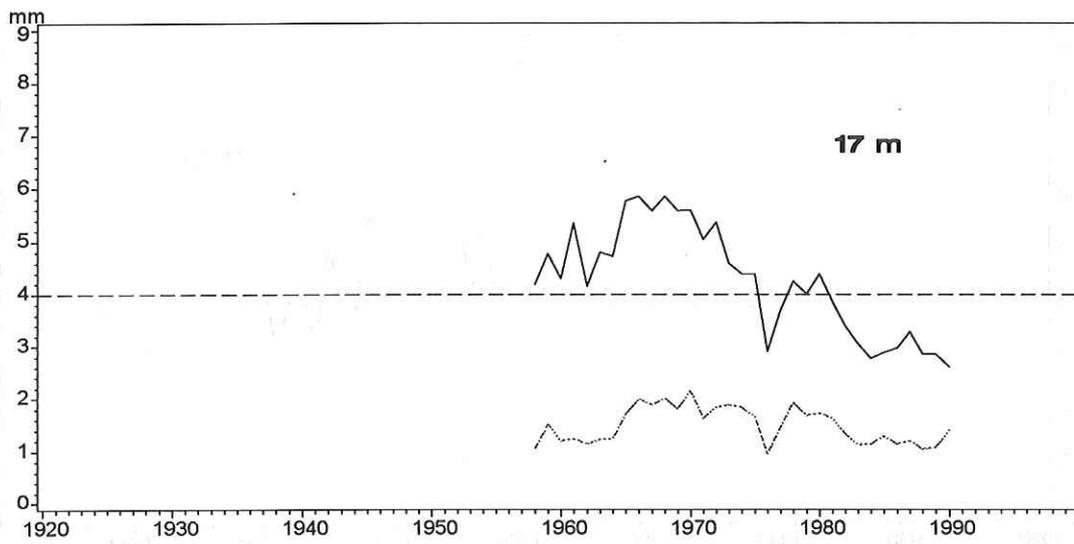


Abb.16: Mittlere Jahring- (obere Kurve) und Spätholzbreiten (untere Kurve) bei Bestand JEG

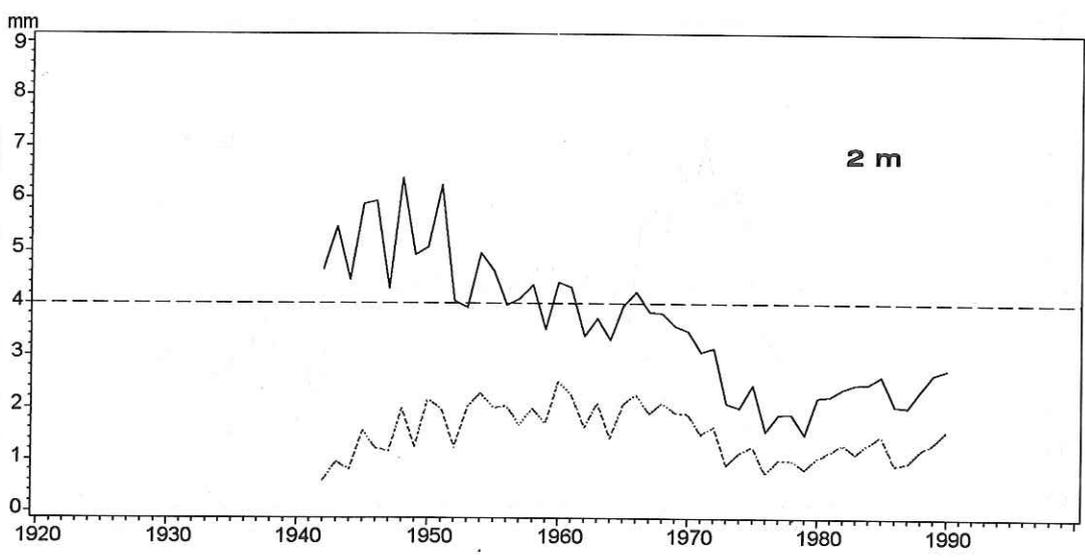
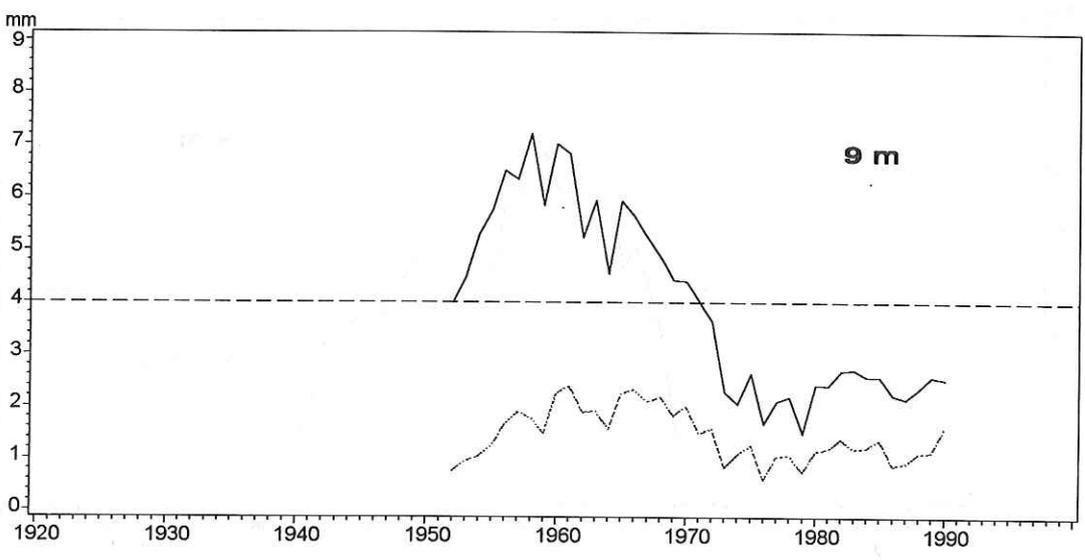
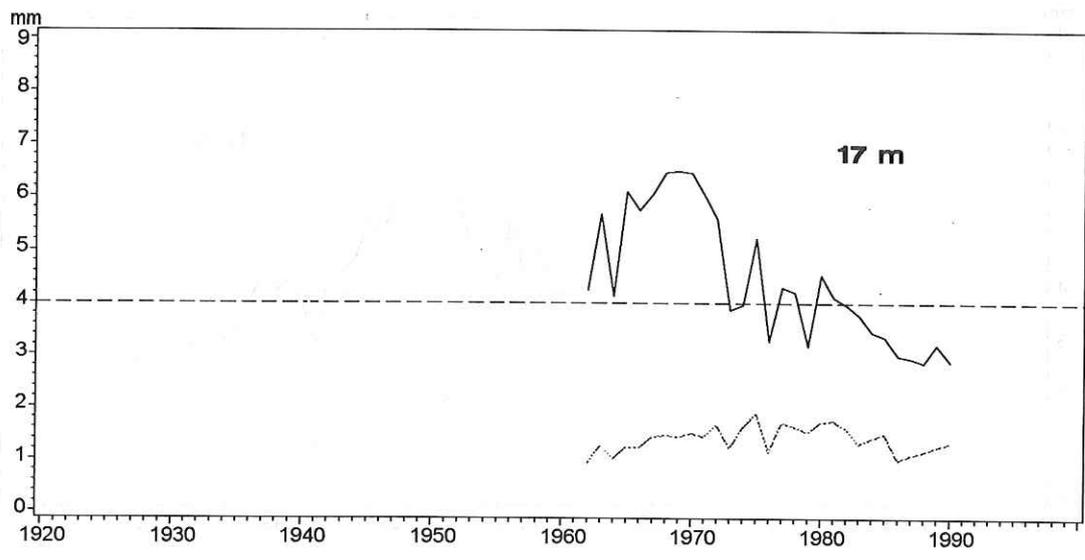


Abb.17: Mittlere Jahring- (obere Kurve) und Spätholzbreiten (untere Kurve) bei Bestand JWG

Tab. 15: **Signifikante Unterschiede (+) der mittleren Jahrringbreiten in korrespondierenden Stammhöhen (SCHEFFE-Test, 5 %-Niveau)**

Vergleichspaar	Stammhöhe		
	2 m	9 m	17 m
AEG-AES	-	-	+
AEG-AWS	-	-	-
AEG-JEG	+	+	+
AEG-JWG	+	+	+
AES-AWS	+	+	-
AES-JEG	+	+	+
AES-JWG	+	+	+
AWS-JEG	+	+	+
AWS-JWG	-	+	+
JEG-JWG	-	-	-

Es fällt auf, daß bei den älteren Beständen in allen Stammhöhen keine signifikanten Unterschiede beim Vergleichspaar AEG - AWS bestehen. Das gleiche gilt für den Vergleich zwischen den beiden jüngeren Beständen und eingeschränkt für AEG - AES.

Die Ergebnisse der Signifikanztests innerhalb der Bestände zwischen den Stammhöhen sind in nachfolgender Tabelle 16 aufgelistet.

Tab. 16: **Signifikante Unterschiede (+) der mittleren Jahrringbreiten zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5 %-Niveau)**

Bestand	Vergleichspaare (Stammhöhen)		
	1 - 2	1 - 3	2 - 3
AEG	-	-	-
AES	-	+	+
AWS	-	+	-
JEG	+	+	+
JWG	+	+	+

Bei den älteren Beständen zeigt AEG überhaupt keine signifikanten Unterschiede, AES und AWS sind uneinheitlich.

Die beiden jüngeren Bestände zeigen dagegen durchgängig signifikante Unterschiede.

Der Jahrringbau der Douglasie wurde bereits in zahlreichen holzkundlichen Arbeiten untersucht. In den meisten dieser Untersuchungen ergaben sich erhebliche Schwankungen (sehr breite Ringe in der Jugend, schmale im Alter) der mittleren Jahrringbreiten (HILF, 1959 a; KNIGGE, 1958; SCHÖBER, 1963 ). GÖHRE (1958 a, b) ermittelte Breiten von 0,5 bis 9,0 mm, der mittlere Wert lag bei 4,26 mm. KNIGGE (1958) untersuchte die nordwestdeutsche Douglasie an neun 47 bis 75 Jahre alten Probestämmen. Hierbei lag die Spanne der mittleren Jahrringbreite zwischen 2,31 und 5,62 mm, das arithmetische Mittel lag bei 3,13 mm. HAPLA (1980) ermittelte für die mittlere Jahrring-

breite in sechs unterschiedlich weit begründeten Beständen im Baumalter von ca. 20 Jahren Werte von 3,2 bis 6,0 mm. Mittels röntgenoptischer Messungen kam HAPLA (1985) auf mittlere extreme Jahrringbreiten von 0,93 bis 4,57 mm.

Die Meßergebnisse der vorliegenden Untersuchung liegen mit ihren arithmetischen Mittelwerten aus je 18 Stammscheiben über alle Bestände und Stammhöhen hinweg im Rahmen der Literaturwerte (vgl. Tab. 14). Den entscheidendsten Einfluß auf die mittlere Jahrringbreite hat das Alter, d. h. mit zunehmendem Alter sinken die Mittelwerte der Jahrringbreiten. Dieser Alterstrend wird durch diese Meßergebnisse einmal mehr bestätigt. Daneben sind Standort, Umweltfaktoren (u. a. Klima, Niederschlag), soziologische Stellung, genetische Veranlagung und waldbauliche Behandlung weitere wesentliche Faktoren, die das Baumwachstum und damit auch die mittlere Jahrringbreite beeinflussen können. Die Herkunft der untersuchten Douglasien konnte nicht zweifelsfrei ermittelt werden. Der Einfluß der soziologischen Stellung kann hier weitgehend ausgeschaltet werden, da alle Probestämme der KRAFTschen Klasse 1 und 2 entstammen. Einflüsse der Witterung (Umwelteinflüsse) werden z.B. deutlich an dem Trockenjahr 1976, das sich in den Jahrringmittelkurven aller Bestände über alle Stammhöhen hinweg, oft sogar als absoluter Minimalwert, niederschlägt.

Der Einfluß des Standorts ist bei den älteren Beständen erkennbar. Die mittleren Jahrringbreiten von AEG liegen deutlich über denen des Bestandes AES.

Der Einfluß des Standraums drückt sich am deutlichsten im direkten Vergleich der Bestände AES und AWS aus. Der weitständig begründete Bestand übertrifft den eng begründeten in der mittleren Jahrringbreite deutlich in allen Stammhöhen.

Bei den beiden Jüngeren fällt der Vergleich Engverband - Weitverband nicht eindeutig aus. Die geringfügige Überlegenheit des Engverbandes dürfte auf die hier günstigere Wasserversorgung zurückzuführen sein.

### 5.2.2 Spätholzanteile

In der allgemein anerkannten Begriffsinterpretation der INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS, verzeichnet im "Multilingual Glossary of Terms Used in Wood Anatomy" (1964), ist unter Frühholz "das weniger dichte, erstgebildete Holz eines Jahrringes mit großlumigen Zellen" zu verstehen; unter Spätholz "das dichtere und letztgebildete Holz eines Jahrringes mit englumigen Zellen" (aus BOSSHARD, 1974). Nach KNIGGE und SCHULZ (1966) zeichnet sich das Frühholz durch weitlumige, vorrangig der Wasserleitung dienende Tracheiden aus, während im Spätholz

englumige und dickwandige Tracheiden die Festigkeit des Holzes erhöhen. Neben der Bedeutung für die Holzstruktur spielt das Spätholz auch eine wichtige Rolle für die Beurteilung der Holzeigenschaften und der Holzverwendung. Aus diesen Gründen wurden im Zuge der Jahrringvermessung die Spätholzgrenzen bestimmt und die Spätholzbreiten ermittelt.

Innerhalb des Jahrrings zeichnen sich Früh- und Spätholz nicht nur durch unterschiedlichen anatomischen Aufbau, sondern auch durch sehr verschiedenes spezifisches Gewicht und unterschiedliche mechanische Eigenschaften aus (KNIGGE, 1958). Für die Holzeigenschaften sind die relativen Spätholzanteile bedeutsamer als die absolute Spätholzbreite. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen der Jahrringanalyse dem relativen Spätholzanteil größere Beachtung zuteil.

Die Kurven der Spätholzbreitenentwicklung in Abhängigkeit vom Baumalter sind mit den Jahrringbreitenkurven in den Abbildungen 13 bis 17 zusammengefaßt dargestellt.

Wie aus den Abbildungen 13 bis 17 ersichtlich ist, verlaufen die Spätholzbreiten in allen fünf Beständen und in allen drei Stammhöhen gleichgerichtet. Die Differenz zwischen den Jahrringbreiten und Spätholzbreitenwerten ist in den ersten zwei Jahrzehnten größer, während in den letzten Jahrzehnten die Differenz der beiden Werte konstant bleibt.

Tabelle 17 zeigt die Mittelwerte für die absolute Spätholzbreite in den drei Stammhöhen der fünf Bestände.

Tab. 17: **Mittelwerte der mittleren Spätholzbreiten (mm) aus jeweils 18 Stammscheiben nach Beständen und Stammhöhen**

Bestand	Stammhöhe (m)	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	1,31	0,29	0,98	1,96
	9	1,14	0,25	0,86	1,74
	17	1,11	0,22	0,86	1,61
AES	2	1,26	0,23	0,89	1,72
	9	1,09	0,22	0,72	1,52
	17	1,01	0,20	0,63	1,39
AWS (n = 15)	2	1,50	0,17	1,21	1,78
	9	1,22	0,12	1,09	1,54
	17	1,12	0,14	0,87	1,33
JEG	2	1,80	0,22	1,39	2,16
	9	1,54	0,24	1,04	1,98
	17	1,52	0,22	1,10	1,93
JWG	2	1,53	0,14	1,23	1,73
	9	1,46	0,20	1,09	1,79
	17	1,43	0,20	1,17	1,94

Die Abnahme der Spätholzbreite mit der Stammhöhe innerhalb der einzelnen Bestände ist eindeutig. Der Vergleich zwischen den Beständen zeigt, daß die älteren Bestände in allen Stammhöhen jeweils niedrigere Mittelwerte der absoluten Spätholzbreite aufweisen als die beiden jüngeren Bestände. Beides ist Folge natürlicher Wachstumsvorgänge und in der Literatur als Alterstrend vielfach belegt und interpretiert. Auf eine weitergehende Diskussion soll deshalb hier verzichtet werden. Eine zusammenfassende Darstellung mit ausführlichen Quellenangaben findet sich bei BOSSHARD (1974).

Der relative Spätholzanteil in % wurde aus den radialen Anteilen von Jahrringen und Spätholzbreite ermittelt.

Auch aus Tabelle 18 ist die tendenzielle Abnahme der mittleren relativen Spätholzanteile mit Zunahme der Stammhöhe ausnahmslos deutlich erkennbar. Im Quervergleich zwischen den Beständen lassen sich signifikante Unterschiede (SIDAK-Test, 5 %-Niveau) für die entsprechenden Stammhöhen nur bei Stammhöhe 17 m ermitteln, und zwar bei den Vergleichspaaren AEG - AES, AES - JEG, AES - JWG und AWS - JWG. Die Unterschiede bei den Vergleichspaaren sind altersbedingt, beim Vergleichspaar AEG - AES kommt der bessere Standort von AEG zum Ausdruck.

Tab. 18: Mittelwerte des mittleren relativen Spätholzanteils (%) aus jeweils 18 Stammscheiben nach Beständen und Stammhöhen

Bestand	Stammhöhe (m)	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	43,53	4,16	35,97	51,16
	9	37,98	4,42	30,58	44,88
	17	36,07	4,36	28,53	43,40
AES	2	46,21	3,98	40,40	53,75
	9	40,97	5,07	33,22	52,73
	17	40,18	3,71	33,82	47,12
AWS (n = 15)	2	46,02	4,11	37,34	52,35
	9	39,18	1,80	36,52	44,53
	17	37,90	4,32	30,57	47,41
JEG	2	47,05	2,86	42,47	51,71
	9	39,02	5,62	20,84	47,71
	17	36,27	4,17	29,18	46,22
JWG	2	43,87	3,49	37,73	50,00
	9	37,27	4,09	28,60	43,13
	17	33,07	2,74	27,27	37,97

Aus Tabelle 19 ist klar zu erkennen, daß sich innerhalb eines Bestandes die Spätholzanteile zwischen den Stammhöhen 1 und 2 sowie 1 und 3 immer signifikant unterscheiden. Unterschiede zwischen den Stammhöhen 2 und 3 lassen sich nur in zwei Fällen absichern.

Tab. 19: **Signifikante Unterschiede (+) der Spätholzanteile zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen- Rang-Test nach WILCOXON, 5 %-Niveau)**

Bestand	Vergleichspaare (Stammhöhen)		
	1 - 2	1 - 3	2 - 3
AEG	+	+	+
AES	+	+	-
AWS	+	+	-
JEG	+	+	-
JWG	+	+	+

Die mittleren Spätholzanteile der Douglasie werden von anderen Autoren mit sehr unterschiedlichen Größen angegeben. GÖHRE (1958 a) stellte in seinen Untersuchungen einen prozentualen Spätholzanteil von 41,75 % fest, wobei die Werte zwischen 27,38 % und 55,14 % lagen. KNIGGE (1958) ermittelte an nordwestdeutschen Douglasien einen mittleren Spätholzanteil von ca. 41 %. HAPLA (1980) ermittelte an sechs Douglasienbeständen mit verschiedenen Pflanzverbandweiten einen Wertebereich der mittleren Spätholzanteile zwischen 40 und 51 %. In den Untersuchungen von HAPLA und KNIGGE (1985 a) liegen die mittleren Spätholzanteile zwischen 31 % und 43 %. Bei den Untersuchungen von v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a) sowie von SAUTER (1985) liegen die Mittelwerte mit Werten zwischen 50 % und 60 % geringfügig höher.

Die eigenen Meßwerte des mittleren Spätholzanteils befinden sich mit 39,2 % beim Bestand AEG, mit 42,5 % beim Bestand AES, 40,7 % beim Bestand AWS, mit 40,8 % beim Bestand JEG sowie 38,1 % beim Bestand JWG somit im mittleren Bereich dieser Ergebnisse aus anderen Untersuchungen.

Nach KNIGGE (1958, S. 20) besteht eine unmittelbare Auswirkung der Jahrringbreite auf den Spätholzanteil: "Der Spätholzanteil erreicht nach steilem Anstieg der seinen Verlauf kennzeichnenden Kurve seinen gut ausgeprägten Kulminationspunkt bei 1,8 mm Jahrringbreite. Danach sinkt er gleichmäßig bis in den Bereich der größten Ringbreiten ab. Der Spätholzanteil steigt mit fallender Jahrringbreite an und gewinnt seine Konstanz im späteren Baumalter allein aus der Konstanz der Jahrringbreite." In der Untersuchung von KNIGGE (1958) beginnt dieses "spätere Baumalter", in dem der Spätholzanteil nahezu konstant verläuft, im Alter von ca. 38 Jahren. Eine statistisch fundierte Klärung der Frage, ob der Spätholzanteil überwiegend vom Baumalter oder von der korrespondierenden Jahrringbreite abhängt, wurde jedoch von KNIGGE nicht vorgenommen.

Eine eindeutige Beziehung zwischen dem mittleren Spätholzanteil und dem Baumalter der Douglasie konnte auch bei den Untersuchungen von HAPLA (1980) sowie von

SAUTER (1985) nicht festgestellt werden. Anhand der eigenen Ergebnisse läßt sich gleichfalls keine einheitliche Tendenz der Beziehung zwischen dem mittleren Spätholzprozent und dem Baumalter feststellen.

Bei allen Beständen deutlich ist die Abnahme des mittleren Spätholzanteils mit zunehmenden Stammhöhen. Diese Ergebnisse entsprechen sowohl den Aussagen von BOSSHARD (1974) über den engen Zusammenhang zwischen dem Kambiumalter und dem Spätholzanteil als auch den Untersuchungsergebnissen von KNIGGE (1958).

Die Einflüsse des Klimas auf die Spätholzbreite, wie z. B. Temperatur, Niederschläge sowie Bodenfeuchtigkeit, wirken sich tendenziell auch auf den Spätholzanteil aus. Die Einflüsse des Klimas sind zwar von anderen Autoren unterschiedlich dargestellt, man kann jedoch von den Kurvenverläufen der Spätholzbreiten in den Abbildungen 13 bis 17 die Einflüsse des Klimas auf die Spätholzbildung klar und eindeutig ersehen, z. B. in den trockenen Jahren 1976, 1983 und 1986 sowie den feuchten Jahren 1974 und 1985.

Ein Zusammenhang zwischen der soziologischen Stellung und dem Spätholzanteil konnte bei v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a), HAPLA (1980) und HERRSCHAFT (1991) nicht gefunden werden. HAPLA konnte in seiner Untersuchung von 1980 eine klare Beziehung zwischen der Pflanzweite und dem relativen Spätholzanteil ebenfalls nicht feststellen.

Nach SAUTER (1985) kommt ein Einfluß der unterschiedlichen Durchforstungsintensität beim Spätholzprozent der Probestämme praktisch nicht zum Ausdruck. Nach v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a) scheint die waldbauliche Behandlung auf die Spätholzbildung nur einen geringen Einfluß auszuüben. Auch aus den eigenen Ergebnissen konnten für die Faktoren soziologische Stellung, Pflanzverbandsweite und Durchforstung keine eindeutigen Auswirkungen auf den Spätholzanteil abgeleitet werden.

Auf den Zusammenhang zwischen Spätholzbreite bzw. Spätholzanteil und wichtigen holzphysikalischen und mechanisch-technologischen Eigenschaften, wie z. B. Dichte, Dichtekontraste, Festigkeit soll an dieser Stelle zunächst nur hingewiesen werden, eine Diskussion erfolgt im Zusammenhang mit der Darstellung der Dichteverhältnisse im Stamm.

### 5.2.3 Kern- und Splintanteile

Die Douglasie gehört zu den Baumarten, die einen obligatorischen Farbkern bilden. Die Kernbildung beginnt meist im Alter von 8 bis 15 Jahren (BAUER, 1959).

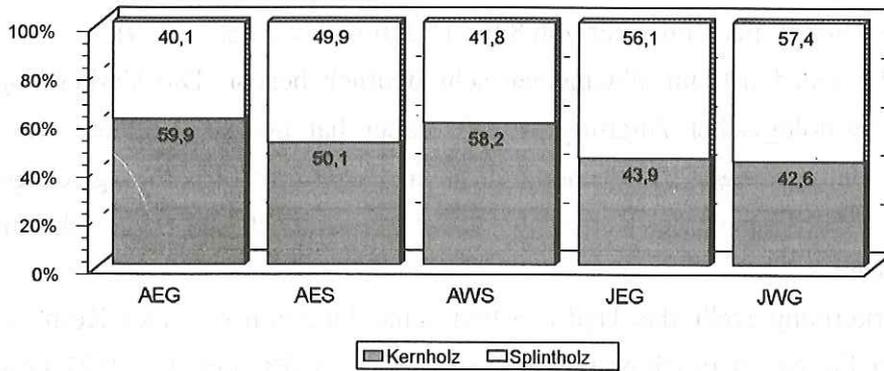
Der Farbunterschied tritt im allgemeinen sehr deutlich hervor. Die Verkernung ist ein natürlicher physiologischer Alterungsprozeß, daher hat der so gebildete Kern in der Regel einen gleichmäßigen, rundlichen Umriß im Gegensatz zu pathologisch gebildeten Kernformen. Allerdings ist der Kern nicht immer konzentrisch und folgt nicht immer den Jahrringgrenzen.

Mit der Verkernung stellt das Hydrosystem seine Funktion ein. Der Kernbereich hat daher regelmäßig eine deutlich geringere Holzfeuchte (HAPLA et al., 1987). Das Wasser wird nur noch im äußeren Splintbereich transportiert. Die Anzahl der wasserleitenden Splintjahrringe kann dabei stark differieren.

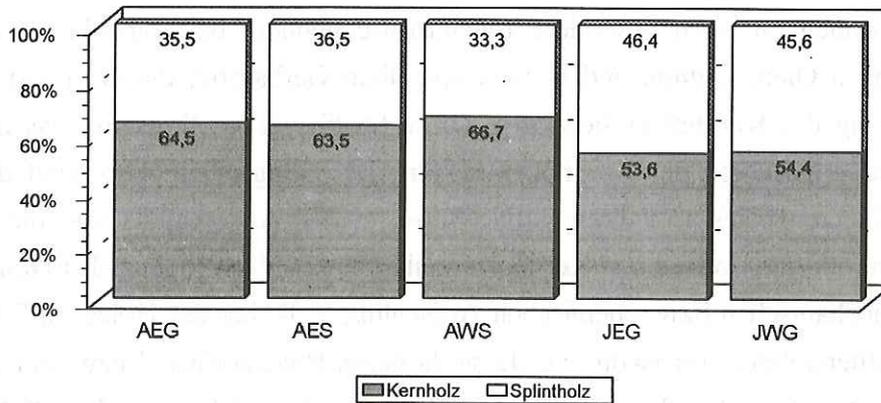
Bei Nadelhölzern können, bedingt wohl durch die allmähliche Luftfüllung der Tracheiden, die Hoftüpfel durch einen einseitigen Porus verschlossen werden (BRAUN, 1982).

Zusätzlich können im Kern besondere Inhaltsstoffe gebildet bzw. abgelagert werden. Dies sind neben Ölen, Gummi und Harzen vor allem Gerbstoffe, die die meist rötlich-braune Färbung des Kernholzes bewirken. Diese Stoffe wirken fungizid, was die hohe natürliche Dauerhaftigkeit des Kernholzes erklärt. Bei Douglasienholz beträgt diese bei Erdkontakt bis zu 10 bis 15 Jahren (DIN 68364, 1979). Andererseits sind die farblich dunkleren und extraktstoffreichen Kernholzanteile bei der Verwendung des Douglasien-Holzes im mechanischen bzw. chemischen Aufschluß, z. B. bei der Holzschliff- und der Sulfitzellstoffherstellung, unerwünscht, da sie höheren Bleichaufwand bzw. einen Abfall in der Produktqualität (Weißgrad) bedeuten (PUTZ und GÖTTSCHING, 1988). Diese ausgeprägten Differenzen im Hinblick auf die Verarbeitung zwischen Kern- und Splintholz sind ein Grund, die jeweiligen Anteile im Rahmen dieser Untersuchung aufzuzeigen. Da die absoluten Anteile von Kern- und Splintholz geringe Aussagekraft besitzen, werden ausschließlich die Ergebnisse über die relativen Flächenanteile des Kernholzes mitgeteilt und diskutiert. Die Splintholzanteile verhalten sich reziprok.

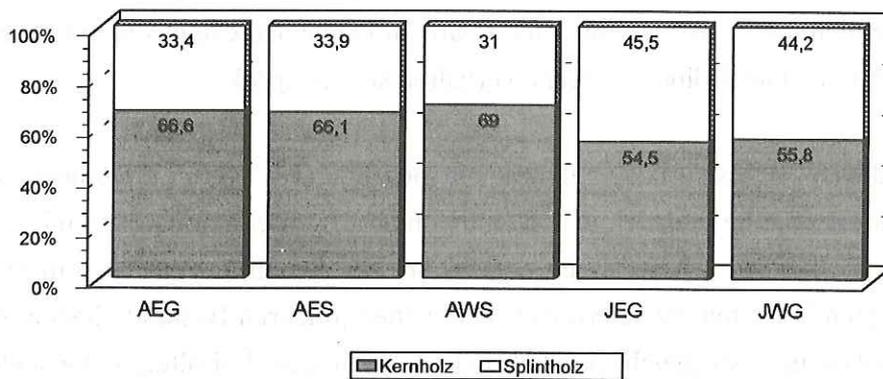
Wie aus Tabelle 20 ersichtlich, nehmen die prozentualen Kernholzflächenanteile mit zunehmender Baumhöhe bei allen fünf Beständen ab. Die drei älteren Bestände weisen in allen Höhen die höchsten Kernanteile auf, wobei der Bestand AWS in 2 m Höhe den absolut höchsten Wert mit 69 % erreicht. Die beiden jüngeren Bestände liegen innerhalb der Stammhöhen in etwa gleich, deutlich jedoch unter den drei älteren Beständen (vgl. Abb. 18).



Stammhöhe III



Stammhöhe II



Stammhöhe I

Abb. 18: Mittlere Kern- /Splintflächenanteile nach Beständen und Stammhöhen [%]

Tab. 20: Mittelwerte der Kernholzflächenanteile nach Beständen und Stammhöhen

Bestand	Höhe (m)	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	66,6	5,6	58	76
	9	64,6	5,7	53	74
	17	59,9	6,2	47	69
AES	2	66,1	7,0	52	83
	9	63,5	6,2	52	73
	17	50,1	7,7	39	62
AWS	2	69,0	8,5	49	86
	9	66,7	8,7	51	83
	17	58,2	9,4	38	75
JEG	2	54,5	10,2	35	67
	9	53,6	9,9	37	75
	17	43,9	9,4	27	60
JWG	2	55,8	9,4	33	67
	9	54,4	7,6	39	67
	17	42,6	6,9	31	55

Das Ergebnis der Signifikanztests wird in nachfolgender Tabelle 21 dargestellt.

Tab. 21: Signifikante Mittelwertsunterschiede (+) des Kernholzflächenanteils zwischen den Beständen und Stammhöhen (SIDAK-Test, 5 %-Niveau)

Vergleichspaar	Stammhöhe		
	2 m	9 m	17 m
AEG - AES	-	-	+
AEG - AWS	-	-	-
AEG - JEG	+	+	+
AEG - JWG	+	+	+
AES - AWS	-	-	+
AES - JEG	-	-	-
AES - JWG	-	-	-
AWS - JEG	+	+	+
AWS - JWG	+	+	+
JEG - JWG	-	-	-

Zwischen den älteren Beständen bestehen in 2 und 9 m-Stammhöhe keine gesicherten Unterschiede. Ebenso verhalten sich die beiden jüngeren Bestände untereinander. Die Bestände AEG und AWS unterscheiden sich signifikant von den beiden jüngeren Beständen, AES dagegen nicht.

Zwischen den Stammhöhen 1 und 3 sowie 2 und 3 sind die Unterschiede innerhalb der Bestände durchweg signifikant. Zwischen Stammhöhe 1 und 2 zeigen die Bestände AWS, JEG und JWG keine gesicherten Unterschiede.

Tab. 22: **Signifikante Mittelwertsunterschiede (+) des Kernholzflächenanteils zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5 %-Niveau)**

Bestand	Vergleichspaar-Stammhöhe		
	1-2	1-3	2-3
AEG	+	+	+
AES	+	+	+
AWS	-	+	+
JEG	-	+	+
JWG	-	+	+

Die in diese Untersuchung eingegangenen Douglasienbestände sind aufgrund ihres Alters relativ stark dimensioniert. Da das Holz solcher Stärkeklassen von der Zellstoff- und Holzschliffindustrie nicht mehr verarbeitet wird, ist ein hoher Kernanteil hier sogar wünschenswert. Je größer der Kernholzanteil am Stamm ist, desto mehr Schnitt- oder Furnierholz von hoher natürlicher Dauerhaftigkeit kann erzeugt werden.

Zur Entstehung und zum maximalen Anteil der Verkernung der Douglasie werden in der Literatur zahlreiche Angaben gemacht. HENGST (1958) erkannte an Douglasien in Freiflächenanbauten eine frühzeitige Verkernung an erst 10jährigen Douglasien. KNIGGE und SCHULZ (1966) stellten fest, daß die Douglasie sehr langlebige Parenchymzellen hat, so daß auch in höherem Alter nur Kernholzanteile von 50 % erreicht werden. Dagegen haben HAPLA und KNIGGE (1985 b) an 30 - 53jährigen Douglasien schon Kernholzanteile von 60 % gemessen.

Auch HAPLA und KNIGGE (1985 a) stellten nach Auswertung von je 100 Douglasien aus Rein- und Mischbeständen einen Anstieg des Kernholzanteils mit zunehmendem Alter fest. Diese Tatsache war in den Reinbeständen statistisch gesichert, konnte in den Mischbeständen dagegen nur tendenziell beobachtet werden. HENGST (1958) kam nach Untersuchungen an Douglasien aus den mittleren Gebirgslagen der DDR zu dem gleichen Ergebnis. Mit wachsendem Alter und Schaftdurchmesser nimmt die Verkernung zu. Die von ihm gemessenen Kernholzanteile liegen bei Schaftvolumina zwischen 0,05 und 3,0 Fm zwischen 39 und 68,5 %. Es besteht demnach auch ein enger Zusammenhang zwischen Alter und Kernholzanteil.

GÖHRE (1958 a) erklärte diese Beziehung dadurch, daß der jährliche Zuwachs des Splintholzes um eine Jahrringbreite gleichzeitig eine Zunahme des Kernholzes von einer Jahrringbreite bedeutet.

Offensichtlich ist aber nicht nur das Alter bestimmend für den Kernanteil, auch die soziologische Stellung der Bäume kann ausschlaggebend sein. Vorherrschende und herrschende Bäume haben in der Regel einen geringeren Kernanteil als beherrschte und dadurch bedingt einen höheren Splintanteil (WELLWOOD, 1955; HENGST, 1958;

KNIGGE und SCHULZ, 1966; HAPLA und KNIGGE, 1985 a). HENGST (1958) erklärte diesen Zusammenhang dadurch, daß stärkere Bäume im allgemeinen auch eine größere Krone zu versorgen haben. WELLWOOD (1955) stellte fest, daß die Breite des Splintholzes gleichmäßig mit der Kronenqualität abnimmt.

HAPLA und KNIGGE (1985 a) fanden eine signifikant höhere Splintbreite an Mischbeständen gegenüber Douglasienreinbeständen. Sie machen die Konkurrenzverhältnisse innerhalb eines Mischbestandes hinsichtlich der Nährstoff- und Wasserversorgung für dieses Ergebnis verantwortlich.

Übereinstimmend stellten GÖHRE (1958 a) und HENGST (1958) fest, daß das Ausmaß der Verkernung von Standort, Wasserhaushalt und Klima, aber auch von Rasse, Alter und Wuchsgang abhängig ist. Gute Standorte fördern den Kernanteil (KNIGGE und SCHULZ, 1966).

CHALK (1951) beobachtete auf feuchten Standorten eine geringere Verkernung als auf trockenen. Zugleich stellte er fest, daß der Zeitpunkt der beginnenden Verkernung abhängig von Klima, Standort, Wasserhaushalt und Umwelteinflüssen ist.

Der prozentuale Anteil der Kernfläche am Gesamtquerschnitt ist am Stammfuß am größten und nimmt mit zunehmender Baumhöhe ab (HENGST, 1958; GÖHRE, 1958 a). Die absolute Splintholzbreite ist am Stammfuß am größten, am niedrigsten in der Stammitte und wiederum höher in der Krone (WELLWOOD, 1955). GÖHRE (1958 a) fand dagegen an einer 63jährigen Douglasie in der mittleren Stammartie die größte Anzahl an Splintjährringen.

Betrachtet man die vorliegenden Ergebnisse im Licht dieser Aussagen, bleibt der Schluß, daß die gefundenen prozentualen Kernanteile den Literaturangaben entsprechend als durchschnittlich anzusehen sind. Eine deutliche Beziehung zum Alter ist herzustellen, die älteren Bestände weisen auch die höchsten Kernanteile auf. Entsprechend sinkt der relative Kernanteil eindeutig mit der Stammhöhe.

Weder Einflüsse des Standorts beim Vergleich AEG-AES noch des Standraums beim Vergleich JEG-JWG bzw. AES-AWS können statistisch eindeutig nachgewiesen werden. Es bleibt festzuhalten, daß die Ergebnisse dieser Untersuchung hinsichtlich der relativen Kernholzanteile geprägt sind von den Altersunterschieden und nicht von Standortqualität oder Pflanzverbandsweite.

### 5.2.4 Darrdichte

Unter der Dichte eines Stoffes versteht man das Verhältnis aus Masse und Volumen. Die Darrdichte ist das Verhältnis von Darrgewicht zu Darrvolumen des absolut trockenen Holzes bei einer Feuchtigkeit (u) von null Prozent.

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad \left[ \text{g/cm}^3 \right] \quad \text{mit} \quad \begin{array}{l} \rho_0 = \text{Darrdichte} \\ m_0 = \text{Darrgewicht} \\ V_0 = \text{Darrvolumen} \\ u = 0\% \end{array}$$

Die Dichte des Rohstoffes Holz beeinflusst in entscheidendem Maße die physikalischen und mechanischen Eigenschaften, wie z. B. Zug-, Druck- und Biegefestigkeit.

Tabelle 23 zeigt die Mittelwerte der Darrdichte nach Beständen und Stammhöhen. Diese Werte sind gemittelt aus vier Radien je Zuwachszone und über alle Zuwachszonen je Stammscheibe. Die so ermittelten 18 Stammscheibenmittelwerte ergeben dann den Mittelwert je Bestand und Stammhöhe.

Tab. 23: Mittelwerte der mittleren Darrdichte nach Beständen und Stammhöhen in g/cm<sup>3</sup>

Bestand	Höhe (m)	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	0,63	0,05	0,53	0,69
	9	0,59	0,05	0,47	0,69
	17	0,57	0,05	0,47	0,66
AES	2	0,57	0,06	0,47	0,69
	9	0,53	0,07	0,41	0,62
	17	0,52	0,05	0,42	0,59
AWS	2	0,55	0,05	0,47	0,63
	9	0,50	0,04	0,44	0,57
	17	0,48	0,04	0,42	0,55
JEG	2	0,59	0,04	0,51	0,68
	9	0,56	0,03	0,49	0,62
	17	0,51	0,03	0,43	0,55
JWG	2	0,55	0,05	0,46	0,66
	9	0,51	0,03	0,45	0,57
	17	0,48	0,03	0,42	0,54

Die bestandesweise gemittelten Dichtewerte aller Zuwachszonen (ohne Stratifizierung nach Höhe und Lage im Querschnitt) ergeben für den Bestand AEG 0,56 g/cm<sup>3</sup>, für Bestand AES 0,53 g/cm<sup>3</sup>, für Bestand AWS 0,51 g/cm<sup>3</sup>, für Bestand JEG 0,53 g/cm<sup>3</sup> und für Bestand JWG 0,50 g/cm<sup>3</sup>. Vergleicht man diese Werte mit den Ergebnissen anderer Autoren, so stellt man fest, daß sie als durchschnittlich gelten können.

GÖHRE (1955 a) fand an mitteldeutschen Douglasien Werte von  $0,52 \text{ g/cm}^3$ , KLAUDITZ und STOLLEY (1957) an niedersächsischen Douglasien von  $0,57 \text{ g/cm}^3$ . Niedrigere Werte fanden unter anderem SCHOBER (1963) und KNIGGE (1958), sie geben die mittlere Rohdichte mit  $0,47 \text{ g/cm}^3$  an.

Eindeutig ist die fallende Tendenz der mittleren Darrdichte mit zunehmender Stammhöhe (vgl. Abb. 19). Der Bestand AEG weist den höchsten beobachteten Dichtewert von  $0,63 \text{ g/cm}^3$  in 2 m Höhe auf. Die Minimalwerte von  $0,48 \text{ g/cm}^3$  liegen in 17 m Höhe bei den Beständen AWS und JWG.

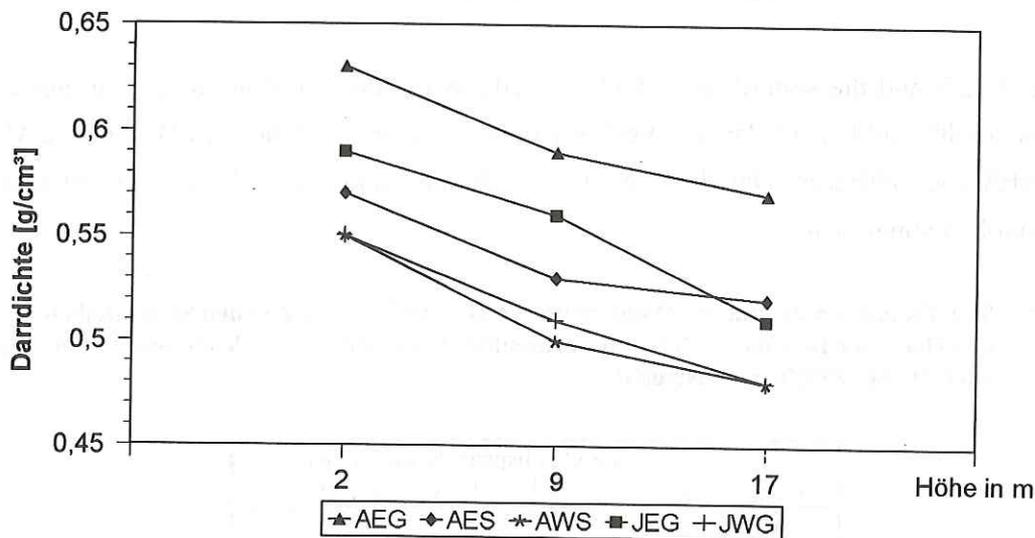


Abb. 19: Mittlere Darrdichte nach Beständen und Stammhöhen

Der Vergleich zwischen den Beständen fällt uneinheitlich aus. Die Signifikanztests in Tabelle 24 geben hierüber weitere Aufschlüsse.

Bei den älteren Beständen weist der Bestand AEG in allen Stammhöhen signifikant höhere Mittelwerte auf als die Bestände AES und AWS, wohingegen zwischen beiden letzteren überhaupt keine signifikanten Unterschiede zu finden sind, was darauf hinweist, daß zwar die Standortsgüte, aber nicht der Standraum einen Einfluß ausüben. Zwischen Alt- und Jungbeständen lassen sich die Mittelwertunterschiede bis auf das Vergleichspaar AEG-JWG kaum absichern.

Tab. 24: **Signifikante Unterschiede (+) der mittleren Darrdichte zwischen den Beständen und Stammhöhen (SIDAK-Test, 5 %-Niveau)**

Vergleichspaar	Stammhöhe		
	2 m	9 m	17 m
AEG - AES	+	+	+
AEG - AWS	+	+	+
AEG - JEG	-	-	+
AEG - JWG	+	+	+
AES - AWS	-	-	+
AES - JEG	-	-	-
AES - JWG	-	-	-
AWS - JEG	-	+	-
AWS - JWG	-	-	-
JEG - JWG	-	+	-

Die Jungbestände unterscheiden sich nur in 9 m Höhe signifikant.

In Tabelle 25 sind die signifikanten Unterschiede zwischen den Stammhöhen aufgelistet. Daraus erhellt, daß bis auf das Vergleichspaar Stammhöhe 2 - 3 bei den Beständen AEG und AES die mittleren Darrdichtewerte signifikant kontinuierlich mit zunehmenden Stammhöhen abnehmen.

Tab. 25: **Signifikante Unterschiede (+) der mittleren Darrdichte zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5 %-Niveau)**

Bestand	Vergleichspaar (Stammhöhen)		
	1 - 2	1 - 3	2 - 3
AEG	+	+	-
AES	+	+	-
AWS	+	+	+
JEG	+	+	+
JWG	+	+	+

Bei Nadelholz ist meist eine Zunahme der Dichte vom Mark zur Rinde im Querschnitt und häufig eine Abnahme der Dichte vom Stammfuß zur Krone zu beobachten (BURGER, 1935; KEYLWERTH, 1954; GÖHRE, 1955 a; KLAUDITZ und STOLLEY, 1957; KNIGGE, 1958; GRAMMEL, 1989).

Diese durch Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit bestätigte Tatsache ist von verschiedenen Autoren unter unterschiedlichen Aspekten diskutiert worden. So wird im wesentlichen ein Zusammenhang der Dichtevariation mit der Jahringbreite, dem Spätholzanteil und dem Alter, aber auch der Einfluß von Klima und Pflanzverbandsweite bzw. Standraum gesehen.

Beim Nadelholz haben die engeren Jahrringe im allgemeinen eine höhere Rohdichte als die weiteren Jahrringe. HAPLA (1980) stellte fest, daß die Darrdichte in 1,3 m Höhe mit zunehmender Jahrringbreite abnimmt. CIESLAR (1898), TRENDELENBURG (1931) und KNIGGE (1958) bestätigen die Abhängigkeit der Rohdichte von der Jahrringbreite. Diese Autoren kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß die Rohdichte des Holzes mit zunehmender Jahrringbreite zurückgeht. KNIGGE stellte dabei den Kulminationspunkt von 2 mm Jahrringbreite fest, nach dessen Überschreiten die Rohdichte sowohl mit zunehmender, als auch mit abnehmender Jahrringbreite sinkt. Dies läßt sich durch die Abhängigkeit von Jahrringbreite und Spätholzanteil erklären. Die anderen Autoren fanden Dichte-Maxima zwischen 1 und 2 mm Jahrringbreite.

MOZINA (1960) stellte nach eigenen Untersuchungen an 45 bis 70jährigen Douglasien von fünf Versuchsflächen in Slowenien fest, daß die Raumdichte des Holzes weniger von der Jahrringbreite als durch die Probenlage im Stamm beeinflußt wird. Er stellte aber die höchsten Raumdichtezahlen (kg/Fm) im Bereich der engen und mittleren Jahrringbreiten fest. KNIGGE (1958) und GÖHRE (1955 a) stellten einen gesicherten Zusammenhang zwischen der Rohdichte und dem Alter der Bäume fest. Die Rohdichte nahm in Stammquerrichtung vom Mark zur Rinde in Abhängigkeit vom Baumalter in allen untersuchten Höhen zu (KNIGGE, 1958). GÖHRE (1955 a) kommt nach seinen Untersuchungen zu dem Schluß, daß die Änderung der Rohdichte weniger durch die Jahrringbreite, als vielmehr durch den Abstand vom Mark und damit vom Alter beeinflußt ist.

GÖHRE (1958 b) stellte fest, daß mit 70 % Wahrscheinlichkeit die Jahrringbreite nach außen abnimmt. Gleichzeitig nimmt der Spätholzanteil zu. Beides bewirkt eine Gewichtszunahme vom Mark zur Rinde. CHALK (1953) stellte dagegen fest, daß an Douglasien mit sehr gleichmäßigen Jahrringbreiten die Darrdichte nicht mit dem Baumalter zunahm.

GÖHRE (1955 a) stellte nach Untersuchungen an 50 bis 60jährigen Douglasien von fünf verschiedenen Standorten fest, daß der Spätholzanteil zwar einen Einfluß auf die Rohdichte hat, dieser aber sehr wechselnd ist und auch durch die Qualität des Spätholzes bestimmt wird. Die Wanddicke der Spätholzzellen nimmt mit zunehmender Entfernung vom Mark zu. KNIGGE (1958) kam nach Untersuchungen an nordwestdeutschen Douglasien zu dem Ergebnis, daß die Rohdichteschwankungen mit dem Spätholzanteil zusammenhängen, die Rohdichte steigt mit zunehmendem Spätholzanteil.

HAPLA (1980) überprüfte den Zusammenhang von Spätholzanteil und Rohdichte an 19 bis 23jährigen Douglasien verschiedener Pflanzverbandsweiten. Er stellte fest, daß die Rohdichte um so höher ist, je größer der Spätholzanteil am Holzvolumen ist. Die mittlere Darrdichte in 1,3 m Höhe nahm bei allen Pflanzverbandsweiten mit steigenden mittleren Spätholzprozenten in 1,3 m Höhe zu. Eine von HAPLA durchgeführte multiple lineare Regressionsanalyse zeigte, daß die Rohdichte wesentlich durch den Spätholzanteil, aber

nur mittelbar durch die Jahrringbreite beeinflusst wird. Die Rohdichte des Spätholzes steigt mit zunehmendem Abstand vom Mark, die des Frühholzes sinkt. Die Gewichtszunahme des Spätholzes überwiegt aber tendenziell, so daß bei konstanter Jahrringbreite das Holzgewicht zunimmt.

Zwischen der Verkernung und der Rohdichte des Douglasienholzes stellten BURGER (1935) und KNIGGE (1958) keinen gesicherten Zusammenhang fest.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine lineare Korrelationsanalyse zwischen den aus den jeweils 18 Stammscheiben je Bestand und Stammhöhe berechneten Mittelwerten der Darrdichte und den Jahrringbreiten bzw. den Spätholzanteilen durchgeführt. Zwischen mittlerer Jahrringbreite und mittlerer Darrdichte je Stammhöhe ergaben sich erwartungsgemäß keine signifikanten Korrelationen. Eine Zuwachszonenbezogene Korrelationsanalyse für die Bestände AEG, AES, JEG und JWG über alle Stammhöhen hinweg ergab dagegen für die Beziehung zwischen Jahrringbreite und Darrdichte einen ziemlich strengen Zusammenhang von  $r = -0.77$ . Der Bestand AWS wies für diese Beziehung nur einen Korrelationskoeffizienten von  $r = -0.39$  auf, der außerdem auf dem 5%-Niveau nicht signifikant war. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, daß der Bestand AWS innerhalb der drei älteren Bestände zwar die höchsten mittleren Jahrringbreiten bei niedrigsten mittleren Darrdichten bezogen auf die jeweilige Stammhöhe zeigt, aber gleichzeitig bei den Jahrringbreiten die weitaus höchsten Streuungen aufweist.

In zwei begleitenden Diplomarbeiten (LIN, 1992 und ULFERS, 1992) wurden jedoch beispielhaft die holzanatomischen und holzphysikalischen Kenngrößen der Bestände AEG, JEG und JWG intensiver bearbeitet. Nähere Einzelheiten, insbesondere zuwachszonenbezogene Ergebnisse, können dort nachgelesen werden.

Zwischen mittlerer Darrdichte und mittlerem Spätholzanteil konnten in vorliegender Arbeit signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen rund 0,5 und 0,7 ermittelt werden. Dies gilt durchgängig für die Stammhöhe 3 (17 m), und bei den drei Beständen AEG, AES sowie JWG auch für die Stammhöhe 2 (9 m). Der Bestand JWG zeigt diesen Zusammenhang auch bei Stammhöhe 1 (2 m). Ursache für den strafferen Zusammenhang im oberen Stammbereich dürfte die abnehmende Variabilität im Jahrringbau mit zunehmender Stammhöhe sein.

Für die Analyse bestandesweiser Unterschiede bietet zunächst die umfassende Arbeit von KNIGGE Anhaltspunkte. KNIGGE (1962) nahm Untersuchungen an 51 Douglasienbeständen aus dem Westen Nordamerikas vor, aus denen jeweils fünf Stämme entnommen wurden, um eventuelle Beziehungen zwischen der Rohdichte und den Wuchsbedingungen aufzuzeigen. Die Schwankungen der Rohdichte waren im wesentlichen durch die

Ertragsklasse des Bestandes bestimmt, dann erst durch die Jahrringbreite und das Baumalter.

Im folgenden seien die Ergebnisse aus KNIGGEs Text (1962, S. 355f.) zitiert:

- "1. Die Rohdichte sank von der guten zur schlechten Ertragsklasse.
2. Die Rohdichte stieg mit zunehmendem Wuchsraum des Einzelstammes, d. h. vom dichten zum lockeren Schluß.
3. Die Rohdichte stieg mit Verbesserung der Stammklasse.
4. Die Rohdichte stieg mit zunehmender absoluter Baumhöhe.
5. Die Rohdichte sank mit zunehmender Niederschlagsmenge in der Vegetationszeit.
6. Die Rohdichte sank mit zunehmender Durchschnittstemperatur in der Vegetationszeit.
7. Die Rohdichte sank mit zunehmender Seehöhe."

KNIGGE deutet an, daß die drei zuletzt genannten Punkte unerwartet und im Zusammenhang mit der in der Regel unter diesen Bedingungen abnehmenden Jahrringbreite und Ertragsklasse zu sehen sind. Es waren also signifikant nachweisbare standortsbedingte Unterschiede der Rohdichte vorhanden.

Auch TRENDELENBURG (1931) wies schon früher nach, daß die Douglasie in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet Schwankungen in der Rohdichte zwischen verschiedenen Wuchsgebieten aufweist. Für die Douglasie besser geeignete Standorte erzeugen das dichtere Holz.

Andere Verhältnisse zeigen dagegen die Versuchsergebnisse für in Deutschland angebaute Douglasien. KNIGGE (1958) untersuchte Douglasien von neun verschiedenen Standorten Nordwestdeutschlands und stellte fest, daß sich die mittlere Darrdichte nicht in Abhängigkeit vom Standort ändert. Erst eine Auswertung aller bis zu diesem Zeitpunkt bekannten Arbeiten über in Europa angebaute Douglasien führte zu dem Schluß, daß es eine erkennbare Abnahme der Rohdichte von Osten nach Westen gibt.

GÖHRE (1955 a) stellte fest, daß das Holz der in Deutschland gewachsenen Douglasie von gleicher Güte wie das amerikanischer Küstengebiete ist. In seinen Untersuchungen ließen sich jedoch keine durch den Standort oder das Wuchsgebiet bedingte Rohdichteunterschiede nachweisen. GÖHRE begründete dies damit, daß die Rohdichteunterschiede zwischen den Standorten durch die Variation innerhalb der einzelnen Stämme überdeckt werden.

KLAUDITZ und STOLLEY (1957) kamen dagegen nach Untersuchungen an Douglasien von neun verschiedenen deutschen Standorten zu dem Ergebnis, daß die Ausbildung des Holzes und die Rohdichte standortsbedingt sind. Die Holzproben mit den höchsten Rohdichten kamen dabei von Standorten mit den geringsten jährlichen Niederschlagsmengen, die mit den niedrigsten Rohdichten von Standorten mit den relativ höchsten Niederschlägen im Jahr. Allerdings ist bei der Interpretation dieser Ergebnisse Zurückhaltung geboten, da sie nicht nach mathematisch-statistischen Grundsätzen erhoben und ausgewertet wurden.

Anhand der mittleren Darrdichtewerte der fünf Bestände dieser Untersuchung kann ein Einfluß des Standraums statistisch nicht abgesichert werden, wie der direkte Vergleich zwischen den Beständen AES und AWS bzw. JEG und JWG zeigt.

Wie schon beschrieben, sind die Schwankungen der mittleren Darrdichte in Stammlängsrichtung innerhalb der Bestände hochsignifikant, so daß dadurch entsprechend den Ergebnissen von GÖHRE (1955 a) und KNIGGE (1958) die Unterschiede zwischen den Beständen überdeckt werden können. Auf dem Standraum oder dem Alter beruhende gesicherte Unterschiede lassen sich mit vorliegenden Ergebnissen auf Basis der gemittelten Stammscheibenwerte also nicht nachweisen.

Unterschiede, die möglicherweise standortsbedingt sind, lassen sich bei den älteren Beständen beim Vergleichspaar AEG-AES bestätigen.

Aus den Ergebnissen der statistischen Auswertung können nicht mit Sicherheit Gesetzmäßigkeiten der untersuchten Einflüsse Alter, Pflanzverband und Standortsqualität abgeleitet werden, die die Darrdichte erklären. Vielmehr ist anzunehmen, daß sich verschiedene Faktoren überlagern. So konnten beispielsweise Wuchsraumverhältnisse des Einzelbaumes im Laufe der Bestandesgeschichte in ihrem Einfluß auf die Dichte nicht erfaßt werden. Auch kleinstandörtliche Unterschiede sowie genetische Veranlagung dürfen in ihrem Einfluß auf die Dichte nicht unterschätzt werden.

### **5.2.5 Ergebniszusammenfassung der Untersuchung holzanatomischer und -physikalischer Kenngrößen anhand von Stammscheiben**

1. An fünf Douglasienbeständen aus Rheinland-Pfalz, die sich nach den im Forstbetrieb zugänglichen Informationen im Alter, im Ausgangspflanzverband sowie in der Standortqualität unterscheiden, wurden die Auswirkungen dieser Einflußgrößen auf die Jahrringbreite, die absolute Spätholzbreite, den relativen Spätholzanteil, die Kern-/Splintanteile und die Darrdichte untersucht.

2. In jedem Bestand wurden 18 vorherrschende bzw. mitherrschende Bäume als Probe­ stämme gefällt und Stammscheiben in drei Stammhöhen (2, 9 und 17 m) entnommen, an denen die entsprechenden Messungen vorgenommen wurden.

3. Entscheidenden Einfluß auf die mittleren Jahrringbreiten hat der Faktor Alter, d. h. mit zunehmendem Alter sinken die mittleren Jahrringbreiten.

Standörtliche Unterschiede sind zwischen den beiden älteren Beständen AEG-AES zwar erkennbar, aber nicht statistisch abzusichern. Zwischen den jüngeren Beständen sind keine statistisch gesicherten Unterschiede vorhanden.

Einflüsse des Pflanzverbandes sind zu erkennen beim direkten Vergleich der älteren Bestände AES-AWS, wobei der weitständig begründete Bestand AWS signifikant höhere Jahrringbreiten in den beiden unteren Stammhöhen aufweist. Die beiden Jungbestände zeigen keine einheitliche Tendenz.

Innerhalb der Bestände sinken bei den drei älteren Beständen die mittleren Jahrringbreiten mit zunehmender Stammhöhe, bei den jüngeren steigen sie an.

4. Die mittleren absoluten Spätholzbreiten sinken mit zunehmender Stammhöhe. Dies gilt in gleicher Weise für die mittleren relativen Spätholzanteile. Nur in 17 m Höhe lassen sich signifikante Unterschiede finden, die bis auf eine Ausnahme altersbedingt sein dürften; Einflüsse von Pflanzverband und Standort lassen sich kaum nachweisen.

Innerhalb der Bestände läßt sich die Abnahme der mittleren Spätholzanteile mit der Höhe bis auf wenige Ausnahmen signifikant absichern.

5. Die prozentualen Kernholzanteile nehmen mit zunehmender Stammhöhe bei allen fünf Beständen ab. Die drei älteren Bestände zeigen in allen Höhen die höchsten Kernanteile. Nur die Bestände AEG und AWS unterscheiden sich signifikant von den jüngeren. Zwischen den jüngeren Beständen gibt es keinen gesicherten Unterschied, so daß auch bei der Betrachtung der Kern-/Splintanteile im wesentlichen nur das Alter, nicht aber der Pflanzverband oder die Standortsqualität eine Rolle spielen.

Innerhalb der Bestände läßt sich die Abnahme des Kernanteils mit steigender Stammhöhe fast ausnahmslos absichern.

6. Die Darrdichte nimmt signifikant bei allen fünf Beständen mit zunehmender Stammhöhe ab. Der Einfluß des Bestandesalters kommt bei diesem Vergleich bis auf das Paar AEG-JWG nicht zum Ausdruck. Die Standortsgüte läßt sich erkennen am Vergleichs­ paar AEG-AES, wo der Bestand auf dem besseren Standort neben größeren Jahrringbreiten auch höhere Mittelwerte der Darrdichte aufweist.

Der Einfluß des Pflanzverbandes mag eine Rolle beim Vergleichspaar AEG-AWS, die sich signifikant unterscheiden, spielen, wird aber möglicherweise auch dort von der Standortsgüte überlagert. Beim Vergleich der beiden Jungbestände läßt sich nur in 9 m Höhe eine signifikant höhere Dichte des enger begründeten Bestandes feststellen.

7. Zusammenfassend ist festzuhalten, daß für die untersuchten Einflußgrößen vor allem das Baumalter als maßgeblicher erklärender Parameter anzusehen ist. Daß Unterschiede, die aus den Einflußgrößen Pflanzverband und Standortsgüte resultieren, nicht - wie vielleicht anzunehmen - deutlicher aufscheinen, kann mehrere Gründe haben: Die Bandbreite der Einflußvariablen ist bei den ausgewählten Beständen offensichtlich nicht extrem genug. Andere Faktoren wie Wuchsraum des Einzelbaumes, kleinstandörtliche Unterschiede und genetische Veranlagung können sich überlagern. Auch der globale Ansatz von Stammscheibenmittelwerten, begründet in der Zielsetzung eines praxisnahen Befundes für Schnittholz aus einem Stammabschnitt, wirkt möglicherweise nivellierend. Der Ansatz, den Parametervergleich jeweils auch über Zehnjahreszuwachszone nmittelwerte zu führen, ist einerseits sehr aufwendig und andererseits wenig praxisnah. In Diplomarbeiten, die im Rahmen dieser Untersuchung von LIN und ULFERS zur Orientierung angefertigt wurden, wurden mit dieser verfeinerten Analyse-Methode ebenfalls keine eindeutigen Unterschiede gefunden. Bei einer linearen Korrelationsanalyse der Stammscheibenmittelwerte von Jahrringbreite, Spätholzanteil und Darrdichte konnten lediglich hinreichend signifikante Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen Spätholzanteil und Darrdichte gefunden werden. Dies allerdings nur in den oberen Stammbereichen, bei denen der altersbedingte Einfluß auf den Stammscheibenquerschnitt sich offensichtlich noch weniger auswirkt. Die zuwachszone nbezogene Korrelationsanalyse zwischen Jahrringbreite und Darrdichte ergab mit Ausnahme des Bestandes AWS einen recht straffen negativen Einfluß weiter Jahrringe auf die Dichte.

## 5.3 Schnittholz

### 5.3.1 Holzqualität der Kanthölzer

#### 5.3.1.1 Jahrringbreite

Die grundsätzliche Bedeutung des Jahrringaufbaus wurde bereits im Kapitel 5.2.1 aufgezeigt. Die an den Stammscheiben gemessene mittlere Jahrringbreite beschreibt zwar das Wachstum der Probestämme, gibt aber keine schlüssige Auskunft über den Jahrringaufbau am einzelnen Kantholz, da hierfür die Lage des Kantholzes im Stammquerschnitt, d.h. das Schnittbild, einen weiteren Einflußfaktor darstellt. Die mittleren Jahrringbreiten, die im Zusammenhang mit den Kantholzeigenschaften zu diskutieren sind, wurden daher direkt an den Stirnflächen der Kanthölzer gemessen.

Tab. 26: **Mittlere Jahrringbreiten (mm) der Kanthölzer (8x16 cm) nach Beständen und Stammhöhen**

Bestand	Stammhöhe (m)	n	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	31	3,81	0,85	2,21	5,57
	9	27	3,82	0,79	2,69	5,26
	17	19	3,89	1,12	2,32	6,37
AES	2	40	4,03	0,85	2,39	7,00
	9	33	3,43	0,69	2,38	5,42
	17	14	2,95	0,44	2,47	4,03
AWS	2	54	4,85	0,86	3,27	6,67
	9	38	4,46	1,15	2,38	6,83
	17	25	3,86	0,83	2,55	6,00
JEG	2	30	4,60	0,93	3,05	7,60
	9	21	5,27	0,93	3,81	7,81
	17	12	4,80	0,72	2,94	5,71
JWG	2	36	4,29	0,85	2,81	6,35
	9	31	4,75	1,00	3,38	7,50
	17	14	4,57	0,55	3,62	5,41

Die Mittelwerte der Jahrringbreiten, ermittelt nach DIN 4074 Teil I in Verbindung mit DIN 52181 - d.h. der marknahe Bereich in einer Breite von 25 mm ausgehend vom Mark bleibt unberücksichtigt -, schwanken zwischen minimal 3,81 mm in 2 m Höhe beim Bestand AEG und maximal 5,27 mm in 9 m Höhe beim Bestand JEG. Die möglichen Einflüsse von Alter, Standraum und Standortsqualität auf die Jahrringbreiten wurden im Kapitel 5.2.1 dargestellt und diskutiert. Generell liegen die am Schnittholz ermittelten Werte über den Werten für die entsprechenden Stammscheiben, können jedoch gleich-

falls als durchschnittlich gelten (SAUTER, 1992). Die Ursache hierfür ist das Schnittbild (vgl. Abb. 4). Die Kanthölzer entstammen immer dem mittleren Bereich des Stammquerschnitts, so daß die zuletzt gebildeten, engeren Jahrringe des äußeren Holzmantels die Kantholz-Mittelwerte unterproportional beeinflussen.

Die beiden jüngeren Bestände weisen mit Ausnahme der Stammhöhe 2 m bei Bestand AWS höhere mittlere Jahrringbreiten auf als die älteren, worin der Alterseffekt wiederum deutlich zum Ausdruck kommt. Zweiseitige varianzanalytische Tests unterbleiben an dieser Stelle, vielmehr gehen die Jahrringbreiten als wesentliche Variablen in die multiplen Korrelationsanalysen mit der Zielgröße Biegefestigkeit in Kapitel 5.3.4.7 ein. Auffällig ist die Abnahme der Streuungen in 17 m Höhe, was die größere Homogenität der Jahrringbreiten mit zunehmender Stammhöhe anzeigt.

### 5.3.1.2 Rohdichte

Auf die grundsätzliche Bedeutung der Holzdicke wurde bereits im Kapitel 5.2.3 eingegangen, wobei dort die Dichte als Darrdicke dargestellt und diskutiert wird.

Bei den nun abzuhandelnden Dichtewerten handelt es sich um die Rohdichte der gesamten Kanthölzer, also das Verhältnis von Volumen zu Gewicht bei einem realitätsnahen und für die Holzprüfung nach DIN vorgeschriebenen Feuchtigkeitsgehalt ( $u$ ) von  $\pm 12$  %. Zwischen Darr- und Rohdichte besteht eine enge Beziehung. Innerhalb der Feuchtigkeitsgrenzen  $u = 0-25$  % kann nach einer von KEYLWERTH (1943) entwickelten Näherungsformel aus der Darrdicke die korrespondierende Rohdichte bestimmt werden. Die Formel für die Umrechnung der Darrdicke  $\rho_0$  auf die Rohdichte  $\rho_{12}$  lautet (nach BOSSHARD, 1974):

$$\rho_{12} = \rho_0 \frac{1 + u}{\rho_{12} + 0.84 * \rho_0} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Die Darrdicke  $\rho_0$  ist das Verhältnis von Gewicht zu Volumen des absolut trockenen Holzes ( $u = 0\%$ ). Die Rohdichte  $\rho_{12}$  spiegelt dieselbe Relation wider bei einem Holzfeuchtegehalt von  $u = 12\%$ . Bei kleinen fehlerfreien Normproben übersteigt daher die Rohdichte die Darrdicke aufgrund des in die Holzfasern aufgenommenen Wassers. Allerdings ändert sich auch das Volumen der Prüfkörper. Bei einem darrtrockenen Prüfkörper tritt durch die Wasseraufnahme eine holzartspezifische Quellung bis zu einem Maximum, der über dem Fasersättigungsbereich bei etwa 40% Holzfeuchte liegt, ein, die jedoch gegenüber der Gewichtszunahme weit unterproportional verläuft.

Die in Tabelle 27 angegebenen mittleren Rohdichten der Kanthölzer wurden ermittelt aus Gewicht und Volumen der gesamten Kanthölzer und nicht nach der KEYLWERTHschen Näherungsformel, da die an den Stammscheiben bestimmten Darrdichtewerte Mittelwerte über den gesamten Querschnitt darstellen, die Kanthölzer einschnittbedingt jedoch dem marknahen Bereich entstammen.

Tab. 27: Mittlere Rohdichte ( $\text{g/cm}^3$ ) der Kanthölzer nach Beständen und Stammhöhen

Bestand	Stammhöhe (m)	n	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2	31	0,563	0,049	0,445	0,688
	9	27	0,561	0,049	0,492	0,679
	17	19	0,551	0,039	0,479	0,623
AES	2	40	0,567	0,047	0,458	0,681
	9	33	0,550	0,034	0,489	0,640
	17	14	0,546	0,035	0,490	0,598
AWS	2	54	0,546	0,041	0,481	0,722
	9	38	0,543	0,037	0,469	0,660
	17	25	0,542	0,034	0,486	0,602
JEG	2	30	0,556	0,038	0,470	0,632
	9	21	0,520	0,036	0,467	0,584
	17	12	0,518	0,025	0,485	0,569
JWG	2	36	0,537	0,040	0,464	0,657
	9	31	0,500	0,035	0,431	0,555
	17	14	0,498	0,032	0,433	0,542

Die Rohdichtewerte schwanken zwischen maximal  $0,567 \text{ g/cm}^3$  in 2 m Höhe bei Bestand AES und minimal  $0,498 \text{ g/cm}^3$  in 17 m Höhe beim Bestand JWG. Die kontinuierliche Abnahme der Rohdichte mit zunehmender Stammhöhe zeichnet die Entwicklung der Darrdichte nach. Bemerkenswert ist sowohl der Rückgang der Streuung mit zunehmender Baumhöhe als auch der Variationskoeffizient, der immer deutlich unter 10 % liegt. Hinsichtlich varianzanalytischer Tests auf Unterschiede innerhalb und zwischen den Beständen sei auf Kapitel 5.2.4 und die Ausführungen im vorangegangenen Kapitel über die Jahrringbreite des Schnittholzes verwiesen.

Vergleicht man die in Tabelle 27 aufgeführten Rohdichtemittelwerte mit den Darrdichtemittelwerten der Probescheiben aus Tabelle 23, Kapitel 5.2.4, so fällt auf, daß die Rohdichte in der Mehrzahl der Fälle niedriger liegt.

SCHULZE-DEWITZ und GÖTZE (1973) zeigen für die Nadelholzarten Fichte, Kiefer und Douglasie die hohen Rohdichteunterschiede zwischen dem Astholz und dem die Äste umgebendem Holz einerseits und astfreiem Holz andererseits auf. Das Astholz und das astumgebende Holz weist eine um mehr als  $0,1 \text{ g/cm}^3$  höhere Dichte auf. Da die Rohdichte am Gesamtprüfkörper ermittelt wurde, könnte man vermuten, daß die Roh-

dichte die Darrdichte übersteigt, zumal die Kanthölzer durchschnittlich 12 % Wasser enthalten. Die Ursache dieses Phänomens liegt wiederum an der unterschiedlichen Probenentnahme. Die Darrdichte wurde an den Stammscheiben über die gesamte Querschnittfläche ermittelt, d. h. auch die dichteren Zonen an der Stammpерipherie gingen in die Berechnung ein. Die Kanthölzer dagegen entstammen den marknahen Bereichen, wo die Jahrringe breiter und die Holzdicke niedriger ist.

### 5.3.1.3 Ästigkeit

Die elastomechanischen Eigenschaften eines hölzernen Prüfkörpers in Gebrauchsabmessungen sind summarisches Ergebnis vieler unterschiedlicher Einflußfaktoren. Ein wesentlicher Faktor ist die Ästigkeit, d. h. Größe, Anzahl und mit nachgeordneter Bedeutung auch der Gesundheitszustand der Äste. Daher sind nach HAPLA und KNIGGE (1985 a) nicht nur ein möglichst gleichmäßiger Jahrringbau, sondern auch geringe Astdurchmesser anzustreben. Sowohl Jahrringbau als auch Aststärkenentwicklung sind durch entsprechende waldbauliche Behandlung in einem gewissen Rahmen beeinflussbar (GAEBELER, 1981; HAPLA, 1980).

Technische Maßnahmen zur Einschränkung der Ästigkeit - Wertästung - sollen hier nicht diskutiert werden.

Die Hauptmasse des aus Douglasien-Stammholz erzeugten Schnittholzes in der Bundesrepublik wird derzeit und wohl auch in näherer Zukunft im Konstruktionsbereich eingesetzt (TEISCHINGER und KRENN, 1985; MÖHLER und BEYERSDORFER, 1987; SACHSSE, 1991).

Die Kanthölzer in vorliegender Untersuchung wurden nach DIN 4074 Teil 1 sortiert, wo hinsichtlich der Ästigkeit der Durchmesser des größten Einzelastes sortierwirksam wird. Über diesen Parameter hinaus wurden sämtliche Äste nach Zahl und Stärke getrennt nach den vier Kantholzoberflächen erfaßt. Gemessen wurde der kleinste meßbare Durchmesser eines Astes, wobei Äste mit Durchmessern kleiner als 5 mm nicht berücksichtigt wurden. Bezogen auf den zur Achse des stehenden Baumes horizontalen Astdurchmesser ist dieser Kantholzastdurchmesser am ehesten vergleichbar.

Die Abweichungen des auf diese Weise ermittelten Astdurchmessers am Kantholz vom Astdurchmesser am Rundholz (vgl. Abb. 10 bis 12) sind vom Astansatzwinkel und der Lage des Kantholzes im Stammquerschnitt bezogen auf die Stammlängsachse abhängig.

Aus Tabelle 28 wird ersichtlich, daß sich die größten mittleren Einzelastdurchmesser meist auf den Breitseiten finden, was auch logisch erscheint. Beim Vergleich zwischen den Beständen fällt der Bestand AWS aus dem Rahmen, der in allen Höhen den größten mittleren Einzelastdurchmesser aufweist. Die vier übrigen Bestände zeigen keine gravierenden Unterschiede. Die Mittelwerte des größten Einzelastdurchmessers schwanken zwischen minimal 20,9 mm in 2 m Höhe bei Bestand JEG und maximal 38,6 mm in 17 m Höhe bei Bestand AWS.

Tab. 28: Mittelwerte des größten Einzelastdurchmessers (mm) der Kanthölzer (n) nach DIN 4074/I - getrennt nach Schmal- (S) und Breitseite (B) - nach Beständen und Stammhöhen

Bestand	Stammhöhe (m)	n	$\bar{x}$		s		min		max	
			S	B	S	B	S	B	S	B
AEG	2	31	24,2	27,0	4,6	3,9	12	19	31	35
	9	27	28,6	32,4	7,3	6,3	16	18	42	44
	17	19	34,4	35,3	8,2	4,5	20	27	61	45
AES	2	40	24,4	28,0	6,9	6,8	9	16	39	42
	9	33	31,4	32,0	5,8	7,9	20	20	41	48
	17	14	35,0	35,0	9,5	8,0	24	24	55	45
AWS	2	54	30,2	34,7	8,2	7,8	16	20	54	60
	9	38	35,8	38,8	7,6	7,2	20	26	55	55
	17	25	38,6	39,6	5,3	6,8	27	28	50	55
JEG	2	30	20,9	23,6	5,7	5,5	14	15	40	37
	9	21	29,1	29,3	8,2	5,7	20	19	60	40
	17	12	31,3	31,1	3,6	6,5	25	22	36	44
JWG	2	36	21,8	24,6	8,4	7,6	6	14	42	50
	9	31	32,2	33,3	5,1	5,3	18	20	40	42
	17	14	32,9	29,7	5,2	5,0	22	22	44	38

Eindeutig ist die steigende Tendenz des größten Einzelastdurchmessers mit zunehmender Stammhöhe, von der nur die Breitseite in 17 m Höhe bei Bestand JWG abweicht. Diese Tendenz entspricht der Aststärkenentwicklung beim Rundholz (vgl. Abb. 10 bis 12). Die Aststärken am Rundholz erreichen ihren höchsten Wert an der Stammpерipherie. Da die Kanthölzer in den oberen Stammbereichen einschmittbedingt immer mehr dem peripheren Holzkörper und oft auch dem Grünastbereich entstammen, wird die Tendenz zunehmender Aststärken mit steigender Stammhöhe noch verstärkt.

SAUTER (1992) fand an Douglasien-Kanthölzern der Dimension 8 x 16 cm Mittelwerte des größten Einzelastdurchmesser von 20 (0 - 5 m) und 38 (20 - 25 m) mm, die damit mit den vorliegenden Ergebnissen fast identisch sind. An Brettlamellen aus demselben Untersuchungsmaterial - aber aus der äußersten Stammpерipherie - fand SAUTER einen Maximalwert von 91 mm, der das hier gefundene Maximum von 61 mm klar übersteigt. Hieran wird große Variationsbreite der Aststärken von in Mitteleuropa erwachsenen Douglasien erkennbar.

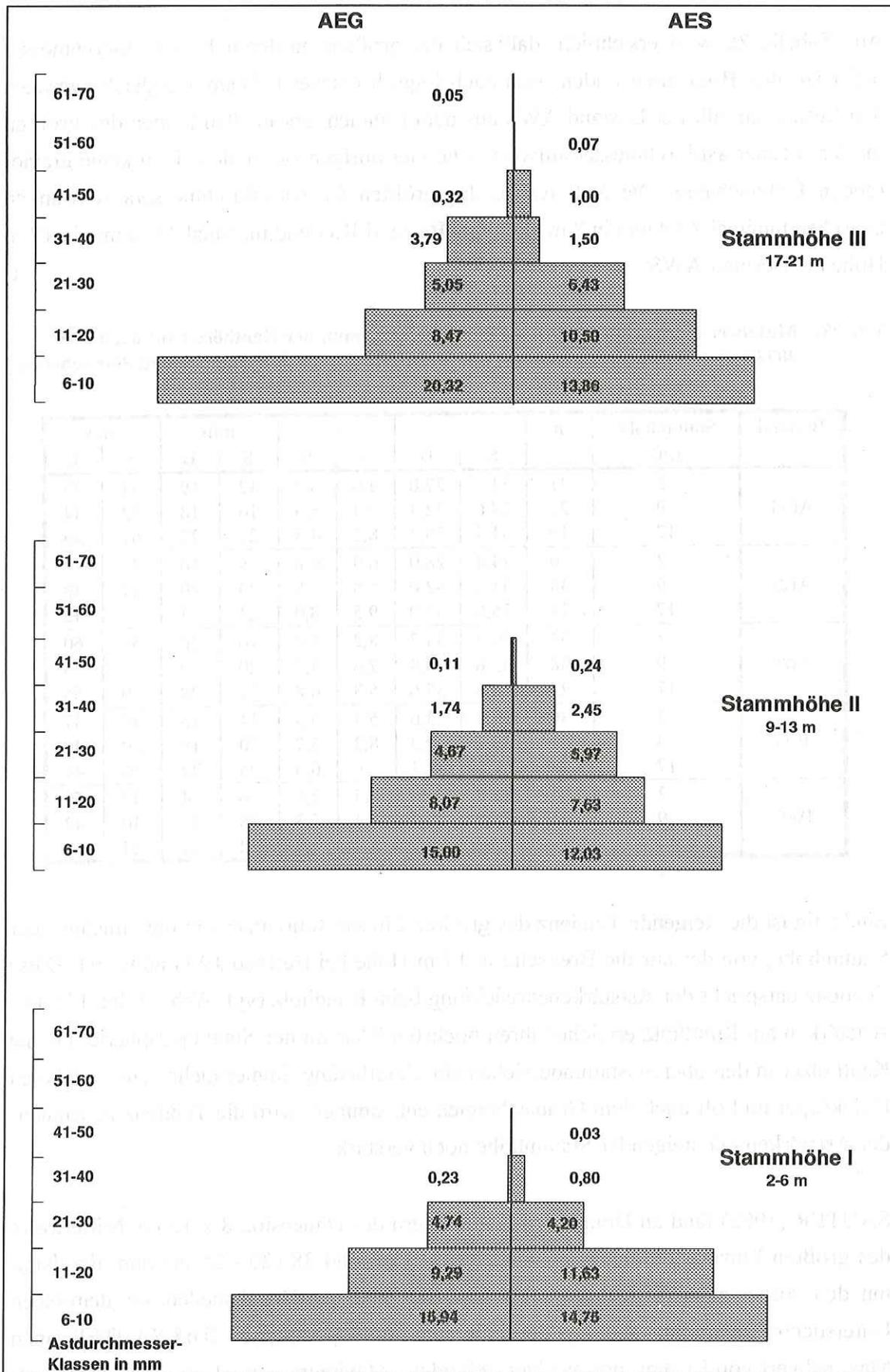


Abb. 20: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz

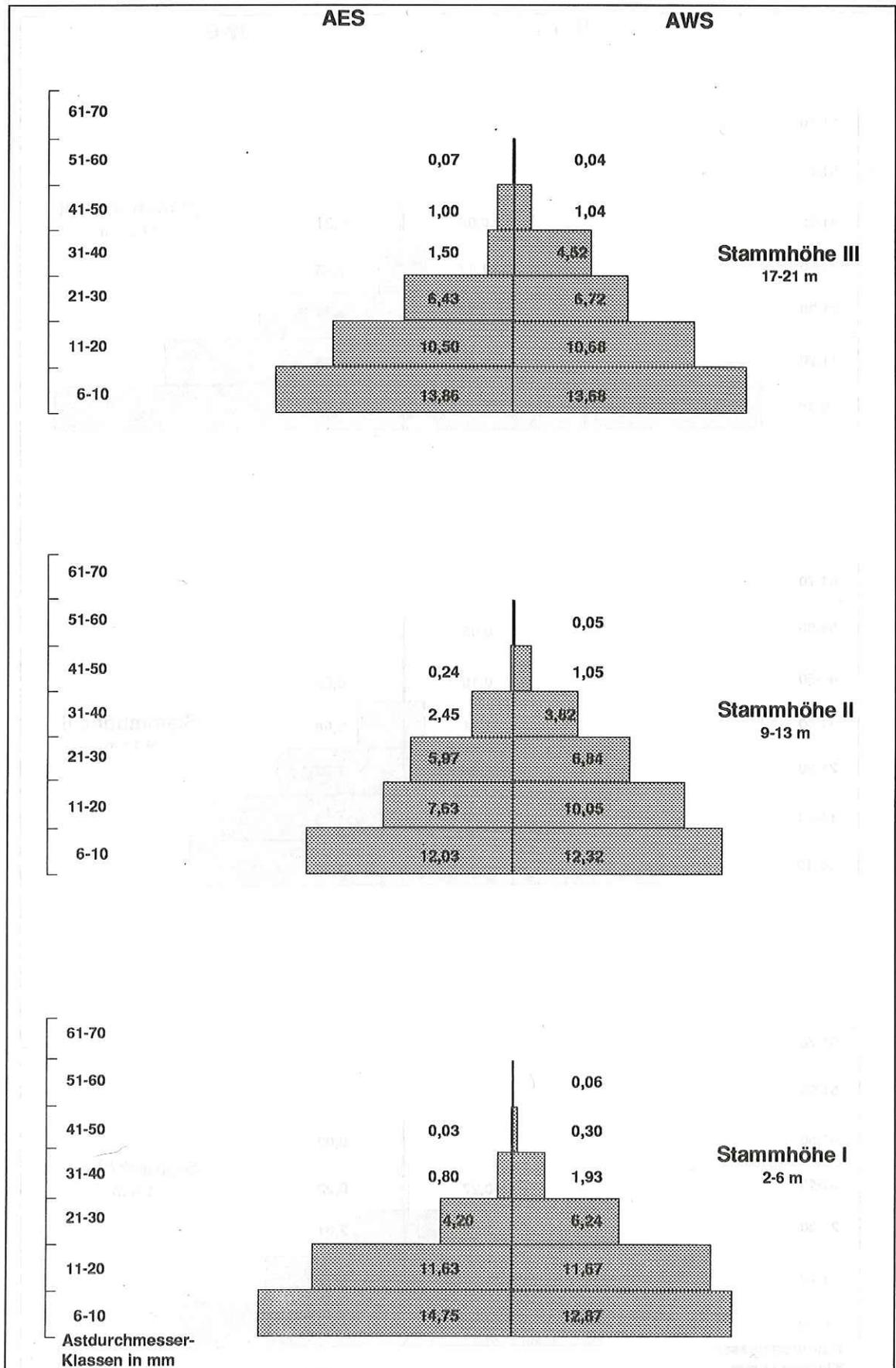


Abb. 21: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz

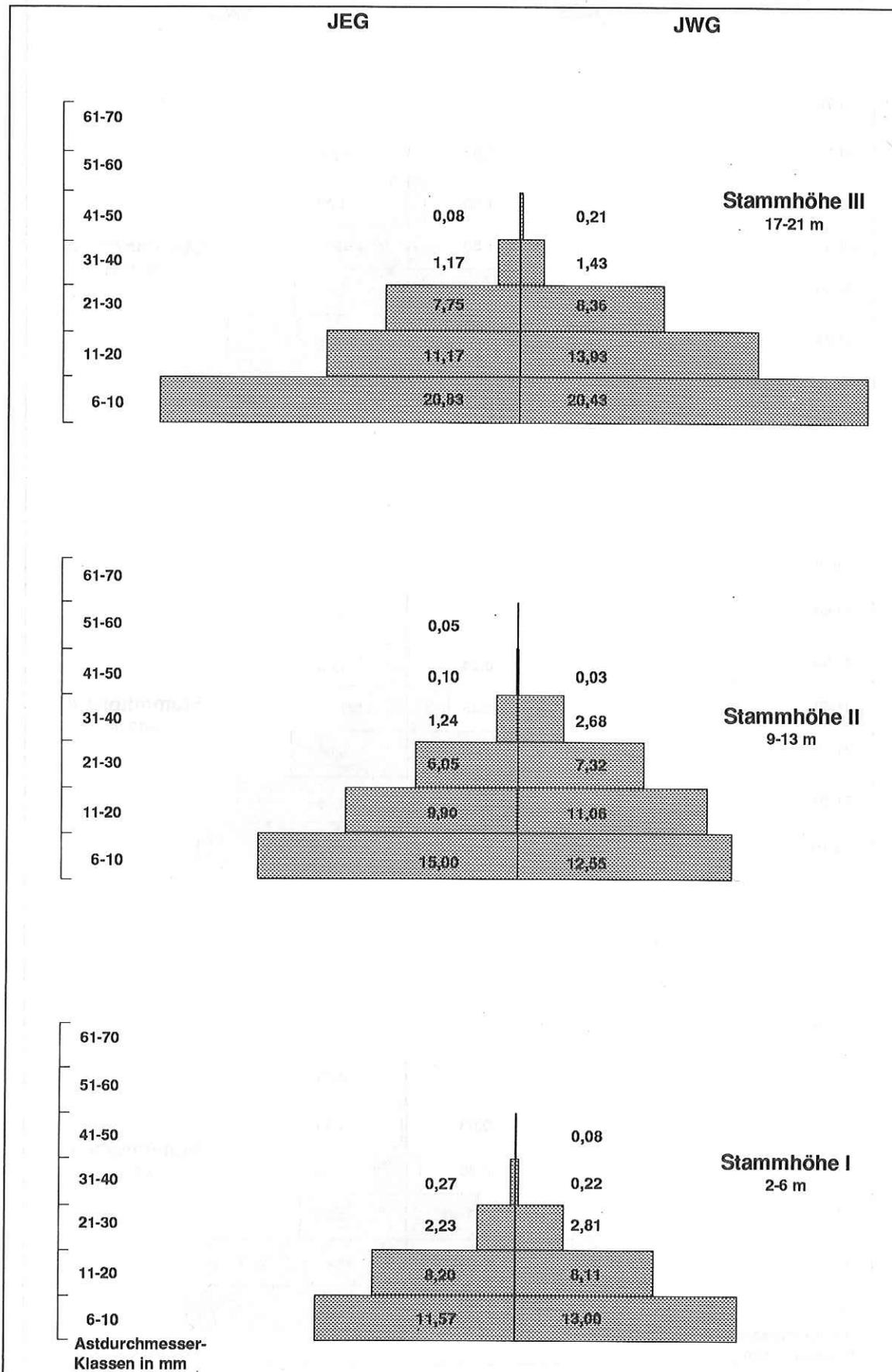


Abb. 22: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz

Die Abbildungen 20 bis 22 zeigen die durchschnittlichen Häufigkeiten aller an der Kantholzoberfläche gefundenen Äste - eingeteilt in 10 mm-Durchmesserklassen - je Kantholz. Deutlich ist die linksschiefe Verteilung sowie die Zunahme der höheren Durchmesserklassen mit zunehmender Stammhöhe.

Der Einfluß des Standraums wird sowohl bei den älteren als auch bei den jüngeren Beständen deutlich. Die Bestände AWS und JWG weisen deutlich höhere Häufigkeiten in den höheren Astdurchmesserklassen auf als die altersmäßig jeweilig vergleichbaren Bestände mit engerem Standraum.

#### 5.3.1.4 Anteil juvenilen Holzes

Die Bedeutung des juvenilen Holzes für die Dichteverteilung in Stammlängs- und -querichtung haben insbesondere nordamerikanische Autoren vielfach beschrieben. Die Holzdichte, hier als Rohdichte, ist eine der wichtigsten, die holztechnologischen Eigenschaften, wie z. B. Festigkeit, bestimmenden Größen.

JOZSA et al. (1989) beschreiben den typischen Verlauf der Rohdichte folgendermaßen: relativ hohe Dichte unmittelbar um das Mark, querschnittsbezogen die kleinsten Werte zwischen 5. und 15. Jahrring, bis etwa zum 20. Jahrring relativ rasch und danach gedämpfter bis zum Höchstwert im Alter von etwa 125 Jahren ansteigend. Weite Jahrringe in Marknähe, die mit ansteigendem Alter und Durchmesser enger werden, sind unter dem Begriff Alterstrend hinlänglich bekannt.

Die möglichen Auswirkungen des Bildungsalters des Holzes auf die Eigenschaften der Kanthölzer wurden erfaßt, indem für jedes Kantholz der Volumenanteil juvenilen Holzes bestimmt wurde. Als Grenze zwischen adultem und juvenilem Holz wurde der 20. Jahrring vom Mark aus festgesetzt. Diese Abgrenzung ist insofern nicht exakt, als daß diese Grenze nicht zweifelsfrei definiert ist und für jeden einzelnen Prüfkörper mit hohem Aufwand ermittelt werden müßte. Vielmehr handelt es sich hier um ein pragmatisches Vorgehen in Übereinstimmung mit den Arbeiten von BENDTSEN (1978), BARRETT und KELLOGG (1984, 1991), BENDTSEN et al. (1987), KRETSCHMANN (1990) und SAUTER (1992).

Die deskriptive Statistik der Anteile juvenilen Holzes in nachstehender Tabelle 29 weist ein Minimum von 63,4 % in 2 m Höhe bei Bestand AEG und ein Maximum von 97,6 % in 17 m Höhe bei Bestand JWG aus. Die beiden jüngeren Bestände zeigen aufgrund der breiten Jahrringe in den oberen Stammbereichen höhere Anteile als die älteren. Die

Anteile juvenilen Holzes steigen mit zunehmender Stammhöhe mit Ausnahme des Bestandes AES, bei dem in 17 m Höhe ein deutlicher Abfall eintritt.

Dies ist dadurch zu erklären, daß bedingt durch die geringen Durchmesser in diesem Bereich die Kanthölzer bis an die äußersten Zuwachszonen der Stammpерipherie heranreichen. Außerdem finden sich hier die geringsten Jahrringbreiten. Das gewählte

Tab. 29: **Mittlere Volumenanteile (%) juvenilen Holzes (1.-20. Jahrring vom Mark aus) der Kanthölzer (n) nach Beständen und Stammhöhen**

Bestand	Stammhöhe (m)	n	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2-6	31	63,4	16,0	37,6	96,7
	9-13	27	67,0	12,1	40,7	91,1
	17-21	19	81,0	11,6	57,0	96,5
AES	2-6	40	79,3	17,6	41,3	100
	9-13	33	79,8	10,4	58,9	100
	17-21	14	64,4	11,1	46,0	83,0
AWS	2-6	54	73,0	13,7	39,5	100
	9-13	38	80,5	15,1	52,0	100
	17-21	25	82,8	10,8	63,3	100
JEG	2-6	30	69,9	18,9	29,6	100
	9-13	21	96,5	4,0	86,9	100
	17-21	12	97,4	3,9	90,0	100
JWG	2-6	36	84,9	11,7	57,8	100
	9-13	31	93,9	8,0	68,6	100
	17-21	14	97,6	3,5	91,0	100

Einschnittmuster führt zu einer generellen Überrepräsentation des juvenilen Holzes, entstammen die Kanthölzer doch systematisch dem marknahen Bereich und die äußeren Zuwachszonen fielen bis auf die angeführte Ausnahme in die Seitenware.

Nachfolgende Abbildung 23 zeigt die relativen Häufigkeiten der Anteile juvenilen Holzes. Der absolute Anteil schwankt zwischen 37,6 % und 100 %. Um die Analyse der Wirkung juvenilen Holzes zu verfeinern, wurden drei Klassen der Volumenanteile gebildet. Die Klasse 30 - 50 % umfaßt die Kanthölzer, die mindestens zur Hälfte adultes Holz beinhalten, die Klasse 51 - 90 % kennzeichnet einen Mischtyp, der überwiegend aus juvenilem Holz besteht und in die Klasse 90 - 100 % fallen Kanthölzer, die fast ausschließlich durch juveniles Holz bestimmt sind.

Deutlich wird noch einmal, daß die jüngeren Bestände die höchsten Anteile in der Klasse 90 - 100 % aufweisen. In Bestand JWG fällt überhaupt kein Kantholz in die Klasse 30 - 50 %. Die Kanthölzer der jüngeren Bestände sind also eindeutig durch hohe Anteile juvenilen Holzes geprägt.

Ebenso wird der Höheneffekt, d. h. die Zunahme des Anteils juvenilen Holzes mit Zunahme der Stammhöhe, durch diese Darstellung bestätigt. Inwieweit dies Auswirkungen auf die elastomechanischen Eigenschaften hat, wird sich im weiteren Verlauf dieser Untersuchung zeigen.

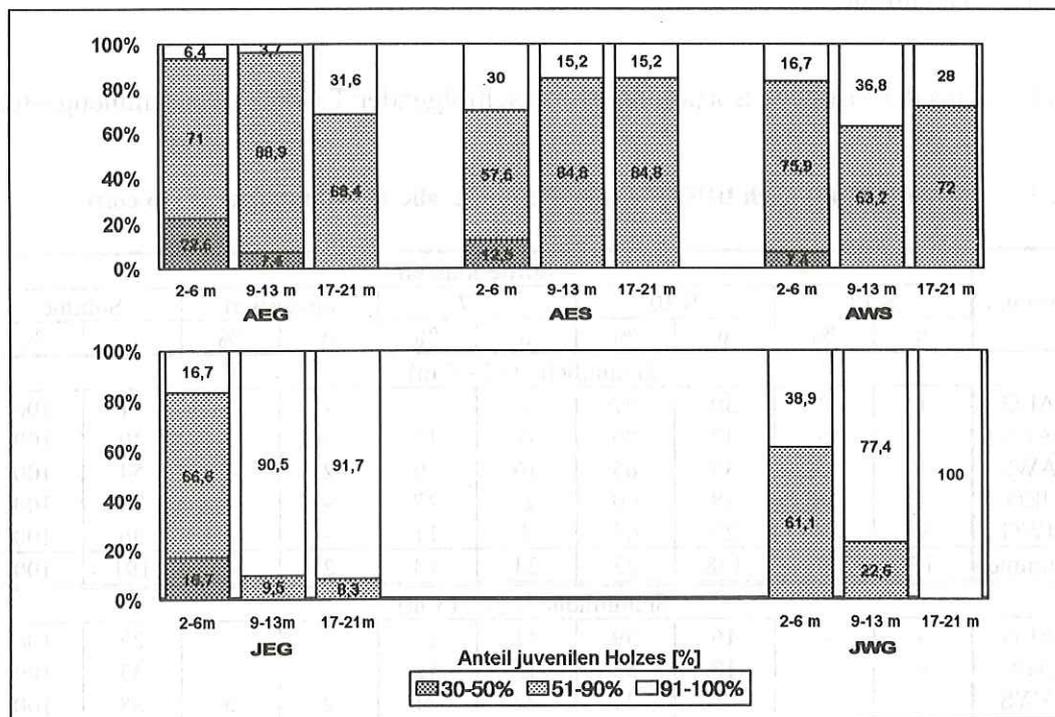


Abb. 23: Mittlere Volumenanteile juvenilen Holzes in Kanthölzern (8x16 cm) nach Beständen, Stammhöhen und Klassen

### 5.3.2 Visuelle Sortierung nach DIN 4074 Teil 1

Die DIN 4074 "Sortierung von Nadel schnittholz nach der Tragfähigkeit" wurde schon im Jahre 1939 eingeführt. Sie beinhaltet drei Festigkeitsklassen, deren zulässige Spannungen in der DIN 1052 "Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung" definiert sind. 1989 erfolgte die letzte gründliche Überarbeitung der DIN 4074. Seither gibt es keine Güteklassen mehr, sondern ausschließlich die Tragfähigkeit beschreibende Sortierklassen. Die Kantholzsortierung wurde damit entscheidend vereinfacht. Außerdem wurden Bestimmungen und Regeln zur maschinellen Schnittholzsortierung neu mit aufgenommen. Die Sortierbestimmungen der DIN 4074 wurden auf der Basis von Untersuchungen an Bauschnittholz entwickelt und hier hauptsächlich von der am häufigsten angebauten und bei Holzkonstruktionen am meisten verwendeten Nadelbaumart, der Fichte. Douglasienbauholz aus dem Inland war aufgrund der Altersstruktur entsprechend der Anbaugeschichte mengenmäßig bislang von nachgeordneter Bedeutung. Die rapide steigende

Angebotsmenge an sägefähigem Douglasienholz begründet die Notwendigkeit, Untersuchungen dieser Holzart auf ihre Bauholzeignung und hinsichtlich der Anwendbarkeit der DIN 4074 durchzuführen, denn die Unkenntnis über die Bauholztauglichkeit der Douglasie erzeugt Unsicherheit bei ihrer Verwendung und verhindert damit die erwünschte Nachfrage.

Das Ergebnis der visuellen Sortierung ist in nachfolgender Tabelle 30 zusammengestellt.

Tab. 30: Sortiererergebnis nach DIN 4074 (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer (8x16 cm))

Bestand	Sortierklassen									
	S 13		S 10		S 7		aussortiert		Summe	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Stammhöhe I (2 - 6 m)										
AEG	1	3	30	97	-	-	-	-	31	100
AES	2	5	32	80	6	15	-	-	40	100
AWS	1	2	35	65	16	29	2	4	54	100
JEG	4	13	18	60	8	27	-	-	30	100
JWG	9	25	23	64	4	11	-	-	36	100
Summe	17	9	138	72	34	18	2	1	191	100
Stammhöhe II (9 - 13 m)										
AEG	-	-	16	59	11	41	-	-	27	100
AES	-	-	18	55	15	45	-	-	33	100
AWS	-	-	9	24	27	71	2	5	38	100
JEG	-	-	15	71	5	24	1	5	21	100
JWG	-	-	15	48	16	52	-	-	31	100
Summe	-	-	73	49	74	49	3	2	150	100
Stammhöhe III (17 - 21 m)										
AEG	-	-	8	42	10	53	1	5	19	100
AES	-	-	6	43	6	43	2	14	14	100
AWS	-	-	3	12	20	80	2	8	25	100
JEG	-	-	7	58	5	42	-	-	12	100
JWG	-	-	5	36	9	64	-	-	14	100
Summe	-	-	29	35	50	59	5	6	84	100
Summe Stammhöhen										
AEG	1	1	54	70	21	28	1	1	77	100
AES	2	2	56	65	27	31	2	2	87	100
AWS	1	1	47	40	63	54	6	5	117	100
JEG	4	6	40	63	18	29	1	2	63	100
JWG	9	11	43	53	29	36	-	-	81	100
Summe	17	4	240	57	158	37	10	2	425	100

Beim summarischen Vergleich der Bestände über alle Stammhöhen hinweg und die Sortierklassen S 13 und S 10 prozentual zusammengefaßt ist die Reihung in absteigender Folge AEG (71 %), JEG (69 %), AES (67 %), JWG (64 %) und mit weitem Abstand AWS (41 %). Damit wird deutlich, daß die eng begründeten Bestände deutlich höhere Anteile in den beiden höheren Sortierklassen aufweisen. Einflüsse des Alters und des

Standorts werden nicht offenbar, dagegen wirkt sich der weite Pflanzverband insbesondere bei AWS offenkundig negativ aus.

Interessant ist der Vergleich zwischen der Schnittholzsortierung der Kanthölzer und der Rundholzsortierung nach CEN-Vornorm (vgl. Tab. 9). Nach den stückzahlbezogenen Anteilen an den Güteklassen A und B der Abschnitte ergibt sich folgende Reihung: JEG (80 %), AEG (70 %), JWG (65 %), AES (42 %) und wiederum weit abgeschlagen AWS mit 17 %. Die Reihung bei Anwendung der baden-württembergischen Sortiermerkblätter für Fichte/Tanne ist identisch, wobei sich lediglich die Prozentanteile leicht verschieben (vgl. Tab. 11). Auch bei der Rundholzsortierung schneiden die eng begründeten Bestände besser ab, wobei Bestand JWG als Ausnahme bei der Rundholzsortierung bessere Ergebnisse als bei der Schnittholzsortierung erzielt. Einflüsse des Alters sind nicht auszumachen, Einflüsse des Standorts insofern, als daß die beiden schlecht eingestuften Bestände auch die niedrigsten A- und B-Anteile zeigen. Ein unmittelbarer Bezug zwischen Rund- und Schnittholzsortierung ist im summarischen Vergleich nicht herzustellen.

Auch bei der Schnittholzsortierung ist der Trend abnehmender Qualität mit zunehmender Stammhöhe unverkennbar. Für einen direkten Vergleich der Sortierergebnisse des Schnittholzes bieten sich die Kanthölzer aus der Stammhöhe II (9 - 13 m) an, da der summarische Vergleich über alle Stammhöhen hinweg von geästeten Erdblöcken verfälscht wird und ein Vergleich in Stammhöhe III (17 - 21 m) wegen der geringeren Belegung nicht in gleichem Maße aussagekräftig sein kann. Analog der Vorgehensweise beim summarischen Vergleich ergibt sich folgende Reihenfolge: JEG (71 %), AEG (59 %), AES (55 %), JWG (48 %) und AWS mit lediglich 24 % der Kanthölzer in den Sortierklassen S 13 und S 10. Damit werden die Ergebnisse des summarischen Vergleichs bestätigt, wobei Bestand JEG den Bestand AEG in diesem Fall noch übertrifft, was auf den Dichtstand zurückgeführt werden kann.

Insgesamt aussortiert werden mußten zehn der 425 Kanthölzer, was einem Anteil von 2 % entspricht. Die meisten auszusortierenden Kanthölzer kamen aus dem "schlechtesten" Bestand AWS, innerhalb der Stammhöhen die meisten aus der Höhe 17 - 21 m. Einmal mehr bestätigt sich, daß der Altbestand aus weitem Pflanzverband - AWS - sowohl beim Rund- als auch beim Schnittholz die schlechtesten Sortierergebnisse erbringt.

Welche Faktoren bestimmen nun die Schnittholz-Sortierung? Geht man davon aus, daß alle 425 Kanthölzer theoretisch der höchsten Sortierklasse S 13 zugeordnet werden könnten, werden durch Anwendung aller Sortierkriterien 408 entsprechend 96 % aller Kanthölzer aus der höchsten Sortierklasse aussortiert. Durch das Sortierkriterium

"maximal zulässiger Einzelastdurchmesser" allein werden 404 oder 95 % der Kanthölzer aus der höchsten Sortierklasse aussortiert. Das bedeutet, daß in 95 % aller Fälle der größte Einzelastdurchmesser für die Absortierung aus S 13 in eine niedrigere Klasse bestimmendes Kriterium ist. Alle anderen Sortierkriterien zusammengenommen erhöhen die Quote der Absortierung aus der höchsten Sortierklasse lediglich um 1 %. Die vier unter Anwendung aller Sortierkriterien zusätzlich aus Sortierklasse S 13 ausgeschiedenen Kanthölzer genügten hinsichtlich des größten Einzelastdurchmessers der Sortierklasse S 13, überschritten aber den Grenzwert der zulässigen Krümmung.

Die zulässige Krümmung von 5 mm/2 m wurde in 59 Fällen, die zulässige durchschnittliche Jahrringbreite von 6 mm in 20 und die zulässige Faserneigung von 70 mm/m wurden nur in drei Fällen überschritten, jeweils bezogen auf die Sortierklasse S 13. Die Grenzwerte der nächst niedrigen Sortierklasse S 10 wurde bei der Jahrringbreite nicht überschritten. Die Faserneigung überschritt den Grenzwert von S 10 in zwei Fällen und führte nur einmal allein zur Absortierung nach Sortierklasse S 7. Bei der Krümmung wurde in 34 Fällen auch der Grenzwert von S 10 überschritten. Bei diesen 34 Kanthölzern bestimmte in 24 Fällen die Krümmung allein, in 10 Fällen gleichzeitig der Astdurchmesser die Einstufung in Sortierklasse S 7.

Auch die Lage eines Astes auf der Schmal- bzw. Breitseite eines Kantholzes ist wegen der querschnittsbezogenen Quotientenbildung des DIN-Kriteriums entscheidend. Der zulässige Astdurchmesser für die Sortierklasse S 13 wurde auf der Schmalseite in 402 Fällen, auf der Breitseite in 176 Fällen überschritten, wodurch die Abhängigkeit des Sortierergebnisses vom Querschnitt unterstrichen wird.

Die Aussortierung der insgesamt zehn Kanthölzer, die selbst den Anforderungen der Sortierklasse S 7 nicht genügten, beruht ausschließlich auf der Überschreitung des zulässigen Astdurchmessers. Dadurch wird die zentrale Bedeutung der Ästigkeit für die Schnittholz-Sortierung nach DIN 4074 auch in vorliegender Untersuchung bestätigt.

Auf die Qualität bzw. Treffsicherheit der visuellen Sortierung nach DIN 4074 hinsichtlich der Biegefestigkeit der Kanthölzer wird im nächsten Kapitel noch einzugehen sein.

### **5.3.3 Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer**

Diese Gruppe der Holzeigenschaften kann eingeteilt werden in elastische Eigenschaften (Elastizitätsmodul, Schubmodul, POISSONSche Konstante) und Festigkeitseigenschaften (Biege-, Zug-, Druck-, Scherfestigkeit u.a.m.). Je nach Art der Krafteinwirkung wird

unterschieden nach statischer und dynamischer Festigkeit. Die Richtung der Krafteinwirkung unterteilt die verschiedenen Festigkeiten in Biege-, Zug-, Druckfestigkeit etc.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde die im Holzkonstruktionsbereich dominierende statische Festigkeit, die Biegefestigkeit, und zusammen mit ihr der statische Biegeelastizitätsmodul als wichtige Kenngröße der Verformungssteifigkeit im elastischen Bereich im Rahmen der zerstörenden Biegespannungsprüfung in Gebrauchsabmessungen nach DIN 52186 ermittelt. Vor dieser zerstörenden Biegespannungsprüfung wurde an allen 425 Kanthölzern der einheitlichen Dimension 8 x 16 x 288 cm der dynamische Biege-Elastizitätsmodul zerstörungsfrei bestimmt.

Die bislang zur Verfügung stehenden Untersuchungsergebnisse über die elastomechanischen Eigenschaften des Douglassien-schnittholzes stammen vorwiegend aus Nordamerika, Neuseeland und Europa. Ganz überwiegend handelt es sich um Prüfungen auf Basis kleiner fehlerfreier Normproben. Anzuführen sind die nordamerikanischen Arbeiten von LITTLEFORD (1961) und BENDTSEN (1978), aus Neuseeland die Arbeit von WALFORD (1985) und aus Deutschland die Arbeiten von GÖHRE (1955 a, b; 1958 a, b), KLAUDITZ und STOLLEY (1957), KNIGGE (1958), v. PECHMANN und COURTOIS (1970 a, b), HAPLA und KNIGGE (1985 a), HAPLA und SAUTER (1987) sowie MÖHLER und BEYERSDORFER (1984). Wesentliche Erkenntnisse zu den Beziehungen zwischen Struktur, Anatomie und Physik des Holzes und den elastomechanischen Eigenschaften wurde hierbei zusammengetragen. BENDTSEN beschrieb 1978 die unterschiedlichen elastomechanischen Eigenschaften von juvenilem und adultem Douglasienholz.

Die Prüfung fehlerfreier Normproben (Werkstoffprüfung) schließt Abweichungen vom idealen Holzgefüge wie Äste u.a.m. nach Möglichkeit völlig aus. Schnittholz in Gebrauchsdimensionen enthält jedoch alle jene Abweichungen von einem idealtypischen Holzkörper, von denen die elastomechanischen Eigenschaften des Schnittholzes maßgeblich beeinflusst werden. Auch die Dimension übt einen Einfluß auf die elastomechanischen Eigenschaften aus (YLINEN, 1942; BOHANNAN, 1966; KUNESH und JOHNSON, 1974; GLOS, 1981; LAM und VAROGLU, 1990). Vor diesem Hintergrund gewinnt die Prüfung von Bauholz in Gebrauchsabmessungen, wenn auch ungleich aufwendiger, zunehmend an Bedeutung. Von der Werkstoffprüfung kann nicht mit hinreichender Sicherheit auf das Biegeverhalten von Kanthölzern geschlossen werden. Dies bestätigen Untersuchungen u.a. von MARCHAND (1982), GLOS (1983), GROSS (1988) und RIEBEL (1993). Ergebnisse von Gebrauchsprüfungen der in Mitteleuropa bedeutsamen Nadelhölzer liegen von zahlreichen Autoren (vgl. Kap. 3.2) vor. Auch in

Nordamerika gibt es eingehende Untersuchungen über Bauschnittholz in Gebrauchsabmessungen und hier insbesondere über die für diese Zwecke vielfach eingesetzte Douglasie. Allerdings wurden hauptsächlich für die dortige Rahmenbauweise typische, schlanke Querschnitte untersucht (BARRETT und KELLOGG, 1984, 1986, 1991; BENDTSEN et al., 1987). Ein direkter Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften zwischen Douglasienschnittholz nordamerikanischer und mitteleuropäischer Herkunft ist wegen der unterschiedlichen Wuchsbedingungen und -eigenschaften, aber insbesondere auch wegen abweichender Sortier- und Prüfnormen nicht möglich.

Ergebnisse über Gebrauchsprüfungen von mitteleuropäischem Douglasienholz gibt es nur wenige (RIOU-NIVERT, 1989, 1990; NEPVEU und BLACHON, 1989). Hinsichtlich der Vergleichbarkeit gelten die Aussagen über die nordamerikanischen Untersuchungen in ähnlichem Maße. Die erste Großzahl-Gebrauchsprüfung deutschen Douglasien-Schnittholzes wurde von MÖHLER und BEYERSDORFER (1984) durchgeführt. SAUTER legte 1992 eine Arbeit über die Bandbreite der Schnittholzqualität einheimischen Douglasienholzes vor. Aus 47 überwiegend geästeten Altdouglasien von zehn baden-württembergischen und rheinland-pfälzischen Standorten wurden 409 Kanthölzer zweier unterschiedlicher Querschnitte einer Biegeprüfung sowie 254 Bretter zweier Querschnitte einer Zugprüfung unterworfen.

Die Ergebnisse der Prüfung der Biegeeigenschaften der 425 Kanthölzer aus vorliegender Untersuchung sind der nachfolgenden Tabelle 31 zu entnehmen.

Das Gesamtmittel der Biegefestigkeit aller Kanthölzer liegt bei 44,1 N/mm<sup>2</sup>. Der mittlere statische Biege-E-Modul liegt bei 10 645 N/mm<sup>2</sup>, der mittlere dynamische Biege-E-Modul bei 12 650 N/mm<sup>2</sup>. Die Biegefestigkeiten variieren zwischen den Beständen und Stammhöhen von minimal 14,6 bis maximal 76 N/mm<sup>2</sup>. Die statischen Biege-E-Moduln streuen zwischen minimal 6 177 und maximal 15 910 N/mm<sup>2</sup>, die dynamischen Biege-E-Moduln zwischen 8 064 und 20 055 N/mm<sup>2</sup>. Die mittleren dynamischen E-Moduln zeigen um ca. 18 % höhere Werte als die statischen E-Moduln.

Innerhalb der Bestände sinken die Werte der Biegeeigenschaften von Stammhöhe I (2-6 m) zu Stammhöhe III (17-21 m) tendenziell ab, auch wenn in wenigen Fällen die Stammhöhe II (9-13 m) höhere Werte aufweist als Stammhöhe I bzw. die Stammhöhe III geringfügig höhere Werte als Stammhöhe II. Aber auch die Streuungen der Biegeeigenschaften nehmen generell mit zunehmender Stammhöhe ab.

Tab. 31: **Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm bei u = ± 12%)**  
**- Deskriptive Statistik - [ N / mm<sup>2</sup> ]**

Bestand	Stammhöhe(m)	n	Biegefestigkeit				stat. Biege-E-Modul				dyn. Biege-E-Modul			
			$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max	$\bar{x}$	s	min	max
AEG	2 - 6	31	45,8	10,6	26,1	67,6	11 395	1 567	7 401	15 301	13 474	2 125	8 373	19 972
	9 - 13	27	47,4	13,5	23,5	67,2	11 784	1 739	8 981	15 910	13 858	2 379	10 077	20 055
	17 - 21	19	44,9	10,5	30,0	69,1	11 733	1 179	9 523	14 610	13 205	1 506	10 675	16 320
	$\bar{x}$	$\Sigma 77$	46,1	11,6	23,5	69,1	11 615	1 539	7 401	15 910	13 542	2 079	8 373	20 055
AES	2 - 6	40	51,1	9,8	29,9	69,7	11 382	1 591	8 567	15 371	13 668	1 969	10 655	18 833
	9 - 13	33	43,3	10,5	21,9	70,3	10 955	1 450	8 104	14 809	13 078	1 935	9 767	18 467
	17 - 21	14	46,0	7,7	36,2	65,6	10 470	1 083	8 498	12 052	12 674	1 512	9 807	14 859
	$\bar{x}$	$\Sigma 87$	47,3	10,3	21,9	70,3	11 073	1 489	8 104	15 371	13 284	1 909	9 767	18 833
AWS	2 - 6	54	42,6	10,9	18,8	67,6	9 600	1 426	6 177	13 246	11 419	1 877	8 255	15 970
	9 - 13	38	36,5	11,0	14,6	61,7	9 636	1 274	7 440	12 575	11 583	1 625	8 986	15 328
	17 - 21	25	35,6	7,8	24,4	54,2	9 082	1 046	7 358	11 444	10 797	1 271	8 064	13 944
	$\bar{x}$	$\Sigma 117$	39,1	10,8	14,6	67,6	9 501	1 312	6 177	13 246	11 339	1 695	8 064	15 970
JEG	2 - 6	30	52,9	10,7	29,7	74,9	11 723	1 114	9 412	13 705	14 498	1 839	10 396	19 134
	9 - 13	21	40,9	9,0	22,1	58,2	10 483	1 192	8 526	12 716	12 718	1 558	10 018	16 404
	17 - 21	12	41,0	7,4	31,3	55,3	10 728	919	9 178	11 788	12 382	1 106	10 452	13 830
	$\bar{x}$	$\Sigma 63$	46,6	11,2	22,1	74,9	11 120	1 237	8 526	13 705	13 502	1 874	10 018	19 134
JWG	2 - 6	36	52,7	12,4	29,4	76,0	11 607	1 232	9 306	14 063	13 701	1 523	10 877	17 069
	9 - 13	31	37,0	9,4	19,4	54,9	9 774	1 262	7 677	12 455	11 418	1 696	8 476	16 069
	17 - 21	14	36,2	10,6	21,8	49,9	9 539	1 271	7 046	11 804	10 951	1 606	8 260	13 582
	$\bar{x}$	$\Sigma 81$	43,9	13,5	19,4	76,0	10 548	1 562	7 046	14 063	12 352	2 003	8 260	17 069
Gesamtmittel		425	44,1	11,9	14,6	76,0	10 645	1 623	6 177	15 910	12 650	2 097	8 064	20 055

Der Vergleich zwischen den Beständen zeigt zunächst höhere Mittelwerte aller Biegeeigenschaften der drei eng begründeten Bestände AEG, AES und JEG, deren Reihung je nach geprüftem Merkmal wechselt. Die absolut niedrigsten Werte bei allen untersuchten Eigenschaften weist Bestand AWS aus. Alter und Standortsgüte scheinen sich also nicht auszuwirken, sondern nur die Pflanzverbandsweite

Tests auf signifikante Unterschiede der Biegefestigkeiten zwischen den Beständen und Stammhöhen sind in Tabelle 32 aufgeführt.

Tab. 32: **Signifikante Unterschiede (+) der Biegefestigkeiten in korrespondierenden Stammhöhen (SCHEFFE bzw. SIDAK-Test, 5 %-Niveau)**

Vergleichspaar	Stammhöhe		
	2 - 6 m	9 - 13 m	17 - 21 m
AEG - AES	-	-	-
AEG - AWS	-	+	+
AEG - JEG	-	-	-
AEG - JWG	-	+	-
AES - AWS	+	-	+
AES - JEG	-	-	-
AES - JWG	-	-	+
AWS - JEG	+	-	-
AWS - JWG	+	-	-
JEG - JWG	-	-	-

Auf dem 5 %-Niveau gesicherte Unterschiede finden sich vornehmlich bei Vergleichspaa- ren, an denen Bestand AWS mit seinen in allen Stammhöhen niedrigen Werten beteiligt ist. Einflüsse von Bestandesalter und Standortsgüte sind nicht abzusichern, wohl aber wirkt sich bei den älteren Beständen der Weitverband deutlich negativ auf die Biegefe- stigkeit aus.

Tab. 33: **Signifikante Unterschiede (+) der Biegefestigkeiten zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben, 5 %-Niveau)**

Bestand	Vergleichspaare (Stammhöhen)		
	1 - 2	1 - 3	2 - 3
AEG	-	-	-
AES	+	-	-
AWS	+	+	-
JEG	+	-	-
JWG	+	-	-

Zwischen den Stammhöhen finden sich signifikante Unterschiede zwischen Stammhöhe I und II mit Ausnahme des Bestandes AEG. Zwischen Stammhöhe I und III sind nur bei Bestand AWS gesicherte Unterschiede zu erkennen, während sich zwischen den Stamm- höhen II und III keinerlei gesicherten Differenzen ergeben (vgl. Tab. 33).

Der Zusammenhang zwischen den Biegeeigenschaften und den Sortierklassen nach DIN 4074 ist in nachfolgender Tabelle 34 dargestellt.

Tab. 34: **Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierklassen (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [ N/mm<sup>2</sup> ]**

DIN 4074												
Kenngröße	S 13 (n = 17)			S 10 (n = 240)			S 7 (n = 158)			Aussortiert (n = 10)		
	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s
Biegefestigkeit	59,0	40,5	10,5	46,6	29,2	11,0	39,4	23,3	10,6	30,4	18,8	8,3
stat. Biege-E-Modul	12244	10026	1288	10998	8512	1559	10045	7816	1436	8937	6177	1709
dyn.-Biege-E-Modul	14648	11700	1571	13110	9913	2099	11848	9158	1765	10889	8305	1865

Die 5%-Fraktile sind der Grenzwert, den 95% der Kanthölzer einer Sortierklasse errei- chen bzw. überschreiten. Dividiert man die 5%-Fraktile durch die zulässigen Span- nungen nach DIN 1052 für die Sortierklassen nach DIN 4074, erhält man sortierklas- senweise den sog. Sicherheitsbeiwert in %. Für Sortierklasse S 13 beträgt dieser 312%, für Sortierklasse S 10 292% und für Sortierklasse S 7 333%. Diese Werte liegen sehr hoch und deuten erhebliche Festigkeitsreserven der Douglasien-Kanthölzer an. Selbst die zehn visuell aussortierten Kanthölzer erreichen noch einen Sicherheitsbeiwert von 269%.

Eindeutig ist der fallende Trend der Mittelwerte und der 5%-Fraktile mit abnehmender Sortierklasse. Der SCHEFFE-TEST ergibt für alle Sortierklassen untereinander auf dem 5%-Niveau gesicherte Unterschiede. Lediglich zwischen den zehn visuell aussortierten und den Kanthölzern der Sortierklasse S 7 lassen sich keine signifikante Unterschiede nachweisen.

Der DIN 1052 liegen keine Richtlinien zur Festlegung der zulässigen Spannungen zugrunde (NOACK, 1971). Auch GLOS (1988) weist darauf hin, daß in den deutschen Holzbauvorschriften derzeit keine Teilsicherheitsfaktoren ausgewiesen sind. Im Entwurf des Eurocode 5 "Holzbau" wird ein globaler Sicherheitsfaktor von 2.4 bis 2.6 vorgeschlagen, bezogen auf die 5%-Fraktile einschließlich eines Lastbeiwerts. GLOS (1988) verwendet in seiner Untersuchung einen globalen Sicherheitsfaktor von 2.0. MARCHAND (1987) schlägt nach seinen Untersuchungen an Fichtenkanthölzern aus der Schweiz einen auf die 5%-Fraktile bezogenen Sicherheitsfaktor von 2.25 vor, den MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) ebenfalls verwendeten. SAUTER (1992) unterstellte einen globalen Sicherheitsfaktor von 2.5.

Scheinen die Abgrenzungen der Sortierklassen untereinander durch den Mittelwertvergleich abgesichert, verkehrt sich diese Bewertung bei Betrachtung der Einzelwerte ins Gegenteil. In Abbildung 24 sind für die drei Stammhöhen die Biegefestigkeitswerte aller Kanthölzer ( $n = 415$ ; visuell aussortierte sind nicht enthalten) sortierklassenweise aufsteigend aufgetragen. Die Strichlinien kennzeichnen die Sortierklassengrenzen bei einem Sicherheitsfaktor von 2.5.

Zunächst ist festzustellen, daß nur ein Kantholz der Sortierklasse S 7 aus Stammhöhe II die geforderte Mindestfestigkeit nicht erreicht. Ebenfalls in Stammhöhe II unterschreiten vier Kanthölzer der Sortierklasse S 10 die geforderte Mindestfestigkeit. Kanthölzer der Sortierklasse S 13 fallen nur in Stammhöhe I an. Entscheidend ist jedoch die weitgehende Überlappung der Biegefestigkeiten in allen Sortierklassen, was bedeutet, daß ein Kantholz der Sortierklasse S 7 durchaus die gleiche oder auch eine höhere Festigkeit als beispielsweise ein Kantholz der Sortierklasse S 13 aufweisen kann. In diesem Sinn ist die visuelle Sortierung nach DIN 4074 für Douglasien-Kanthölzer nicht trennscharf. In Kapitel 5.3.5 werden deshalb Vorschläge mit dem Ziel der Verbesserung der Sortierung der Douglasien-Kanthölzer unterbreitet.

Der Vergleich des Gesamtmittelwerts aller 425 geprüften Kanthölzer von  $44,1 \text{ N/mm}^2$  mit anderen Untersuchungsergebnissen besitzt nur beschränkte Aussagekraft. Viel aufschlußreicher ist der Vergleich der güteklassenbezogenen Biegefestigkeitsmittelwerte, der sich nach Möglichkeit auf gleiche Abmessungen erstreckt, um den bekannten Di-

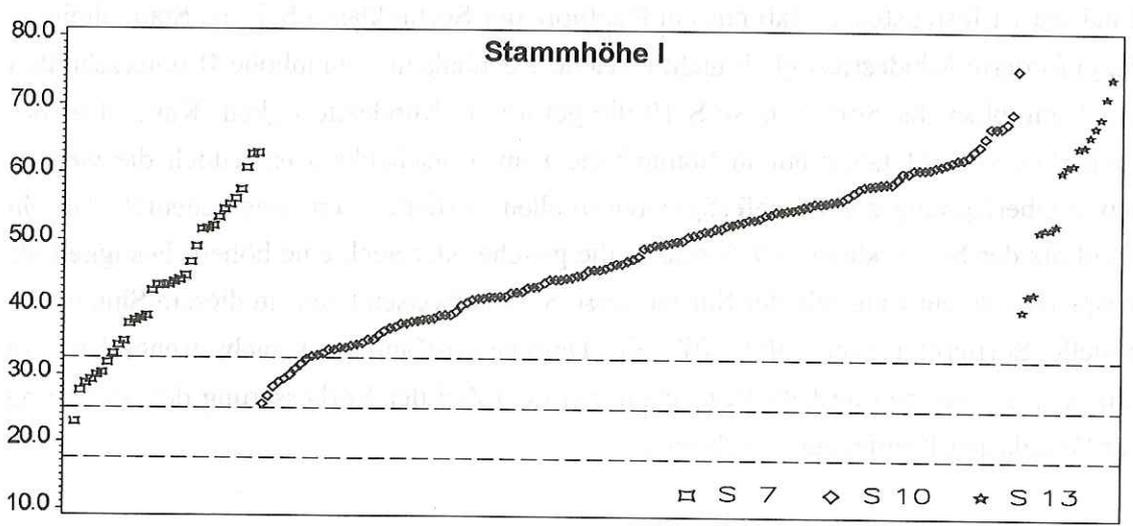
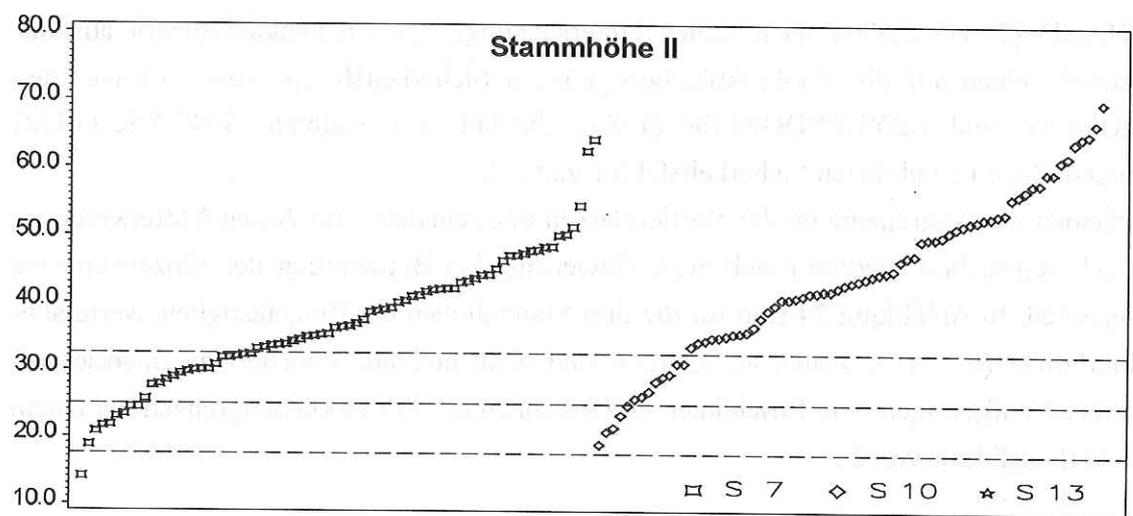
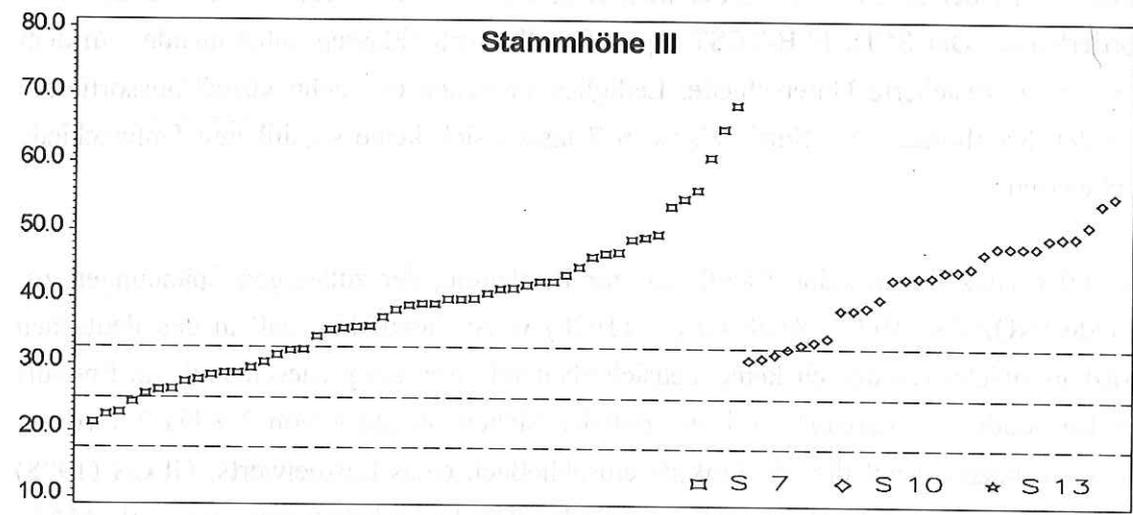


Abb. 24: Biegefestigkeit der Kanthölzer nach Sortierklassen und Stammhöhen (n = 415)  
 - Kanthölzer innerhalb der Sortierklasse aufsteigend sortiert

mensionseinfluß zu eliminieren. Die Tabelle 35 gibt einen vergleichenden Überblick über vorliegende Untersuchungsergebnisse der Biegefestigkeiten von Douglasien- als auch anderen Nadelschnitthölzern in Gebrauchsabmessungen.

Tab. 35: Vergleichende Darstellung der Biegefestigkeiten von Douglasien- und anderen Nadelschnitthölzern nach DIN-Klassen [ N/mm<sup>2</sup>]

Autor	Baumart	Alter (Jahre)	Querschnitt (mm)	u (%)	Gkl. I / S13			Gkl. II / S10			Gkl. III / S7		
					n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s
GÖHRE 1958	Douglasie	-	120x140	16	-	68,3	11,3	-	57,3	7,8	-	41,9	6,4
MÖHLER/ BEYERSDOR- FER 1987	Douglasie	70 - 75	80x80	12	9	83,7	15,2	7	69,2	12,5	9	45	9,3
			120x140	12	10	75,6	11,6	29	53,2	12,6	10	40,9	5,4
			140x200	12	15	60,0	8,2	15	53,2	13,0	7	38,2	5,7
SAUTER 1992	Douglasie	80 - 106	60x120	12	48	72,8	19,1	81	44,2	7,9	63	33,8	10,5
			80x160	12	55	65,0	14,6	107	42,1	9,9	39	34,0	11,5
eigene Versuche 1994	Douglasie	58 - 83	80x160	12	17	59,0	10,5	240	46,6	11,0	158	39,4	10,6
BARRETT/ KELLOGG 1984	Douglasie	45	38x89	12	153	63,1*	19,8	80	45,8**	22,7	31	40,7***	22,0
GRAF 1939	Fichte/ Tanne	-	50x50 bis 100x180	14	6	53,0	6,9	35	44,0	11,5	5	26,5	-
GLOS/SPENG- LER 1985	Fichte	80 - 120	80x160	12	37	53,5	10,5	26	45,2	11,5	34	42,4	8,6
GLOS et al. 1986	Kiefer	-	60x140 bis 70x150	12	38	64,2	15,6	58	49,9	15,4	35	42,1	16,4
GRAMMEL et al. 1986	Fichte Tanne	-	80x160	12	134	64,9	13,3	142	56,9	12,0	17	53,0	11,8
			80x160	12	92	58,0	11,6	161	49,6	12,4	26	41,1	11,1
GROSS 1988	Tanne	55 - 205	80x160	12	110	57,3	10,7	99	44,7	11,8	12	32,9	10,6
RIEBEL 1993	Gr. Küsten- tanne	29 - 77	80x80 u. 80x160	12	16	57,0	7,1	70	51,6	8,1	10	36,7	7,1
NIEPAGEN 1994 (mündl. Mittei- lung)	Paz. Edel- tanne	96	80x160	12	12	58,8	6,0	42	44,4	10,5	17	29,1	8,6

\* nordamerikanische Sortierklasse SS    \*\* nordamerikanische Sortierklasse No. 2    \*\*\* nordamerikanische Sortierklasse No. 3

Im Vergleich zu den Ergebnissen von GÖHRE (1958 a) liegen die eigenen Werte in den beiden höchsten DIN-Klassen deutlich niedriger. In Güteklasse III bzw. Sortierklasse S 7 nach neugefaßter DIN liegen die Mittelwerte auf fast gleichem Niveau. Einschränkend ist zu bemerken, daß die Anzahl der geprüften Kanthölzer nicht bekannt ist und daß sowohl die Prüffeuchte als auch die Dimension bei GÖHRE eher zu niedrige Werte für einen direkten Vergleich ergeben. Auch die Resultate von MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) liegen in den höheren DIN-Klassen deutlich über den eigenen Werten, in der schlechtesten Klasse wiederum etwa gleich. Allerdings sind die Dimensionen kaum vergleichbar, am ehesten noch die Kanthölzer 12 x 14 cm. Eine gute Vergleichsmöglichkeit bieten die Ergebnisse von SAUTER (1992). Bei ihm wird der Dimensionseinfluß in Sortierklasse S 13 deutlich, wo der schlankere Querschnitt eine höhere Biegefestigkeit zeigt. Beim direkten Vergleich der Kanthölzer 8 x 16 cm liegen die SAUTERSchen

Werte in S 13 um ca. 10 % höher, in den Sortierklassen S 10 und S 7 dagegen rund 10 % niedriger als die eigenen. Daß SAUTER überwiegend geästete Altdouglasien zur Verfügung standen, geht aus der wesentlich günstigeren Verteilung der Kanthölzer in den höheren Sortierklassen hervor. Die Vergleichbarkeit mit SAUTER wird begünstigt, indem auch er die maximale Ästigkeit der Kanthölzer in die stärker belastete Zugzone legte, was für die meisten anderen Untersuchungen nicht bekannt ist.

Die Werte von BARRETT und KELLOGG (1984) für kanadische Douglasien stimmen mit den eigenen überraschend gut überein. Es ist zu beachten, daß abweichende Prüf- und Sortiernormen einerseits sowie Alter und Dimension, deren Einflüsse sich möglicherweise ausgleichen, andererseits einen direkten Vergleich nur bedingt zulassen. Eine neuere Arbeit o.a. Autoren aus dem Jahre 1991 bestätigt im wesentlichen deren früher gefundene Werte. Der Vergleich zwischen Douglasie und Fichte liefert keine einheitlichen Trends. Die Ergebnisse von GRAF (1939) liegen deutlich unter den eigenen Douglasienwerten, bei allerdings höherer Prüffeuchte und anderen Querschnitten. Die Werte von GLOS und SPENGLER (1985) ermöglichen den direkten Vergleich mit dem Ergebnis, daß die Douglasienwerte der höheren Sortierklassen S 13 und S 10 geringfügig über den Werten für Fichte liegen. In Sortierklasse S 7 verhält es sich umgekehrt. Dagegen sind die Biegefestigkeiten der Fichte nach Untersuchungen von GRAMMEL et al. (1986) in allen Gütekassen höher als in den Sortierklassen der eigenen Untersuchung. Dieser Widerspruch zu den GLOSSchen Ergebnissen mag aus der Lage im Stammquerschnitt und/oder auch an der Prüfanordnung der Kanthölzer resultieren, da GRAMMEL et al. die schlechtere Seite der Kanthölzer auf die Druckseite legten.

Die Ergebnisse von Kantholzprüfungen an Tanne von GROSS (1988) weisen durchgehend niedrigere Biegefestigkeitswerte aus, insbesondere in Güteklasse III, während die Werte von GRAMMEL et al. (1986) für die Güteklasse II und III die Douglasienwerte geringfügig übertreffen. Hier gelten die bei der Fichte getroffenen Vermutungen gleichermaßen.

Die Untersuchungen an Kiefern schnittholz abweichender Dimensionen (GLOS et al., 1986) zeigen eine leichte Überlegenheit in der Biegefestigkeit gegenüber den eigenen Douglasienwerten.

Schließlich sind noch die Arbeiten über zwei fremdländische Tannenarten anzuführen. RIEBEL (1993) fand an der Großen Küstentanne Biegefestigkeiten, die bei Güteklasse II die Douglasienwerte in Sortierklasse S 10 übersteigen, dagegen in Güteklasse III unter der Douglasie liegen. NIEPAGEN (1994, mündliche Mitteilung) untersuchte die Biegefestigkeit an Kanthölzern der Pazifischen Edeltanne, deren Werte die der Douglasie in den Sortierklassen S 13 und S 10 nachzeichnen, jedoch in Sortierklasse S 7 deutlich abfallen.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß die Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Gebrauchsprüfungen nur mit Einschränkungen gegeben ist. Einflüsse der Abmessungen der geprüften Schnitthölzer, des Baumalters, der Lage im Stammquerschnitt, der Prüffeuchte sowie von Sortier- und Prüfnorm wirken sich aus und sind nur mit Unsicherheiten zu interpretieren. Doch weisen die Douglasienschnittholzprüfungen der anderen Autoren als auch die der eigenen Ergebnisse auf, die den Schluß zulassen, daß Douglasienschnittholz der Fichte hinsichtlich der Biegefestigkeit mindestens ebenbürtig ist und die der Tanne übertrifft. Von welchen Faktoren die Biegefestigkeit beeinflusst wird, wird mittels schließender Statistik in nachfolgenden Kapiteln zu analysieren sein.

Der mittlere statische Biege-Elastizitätsmodul von  $10\,645\text{ N/mm}^2$  aus der eigenen Untersuchung liegt um etwa 20% tiefer als die Werte aus den Douglasien-Untersuchungen von GÖHRE (1958 a), KNIGGE (1958), BARRETT und KELLOGG (1984, 1991), MÖHLER und BEYERSDORFER (1984) sowie SAUTER (1992). Er ist in etwa vergleichbar mit dem Wert von  $11\,080\text{ N/mm}^2$ , den WALFORD (1985) bei Douglasien aus Neuseeland gefunden hat. FEWELL et al. (1982) bestimmten in ihrer Arbeit über britische Douglasien den statischen Biege-Elastizitätsmodul mit  $9\,585\text{ N/mm}^2$ , der damit deutlich den niedrigsten aller in die Betrachtung einbezogenen Werte markiert.

Die dynamischen Biege-Elastizitätsmoduln zeichnen im wesentlichen die Tendenzen der statischen Biege-Elastizitätsmoduln nach. Beim Vergleich der Gesamtmittelwerte ist für den dynamischen Biege-Elastizitätsmodul jedoch ein um rd. 18% höherer Wert zu verzeichnen. Damit werden die Ergebnisse von GÖRLACHER (1984) und SAUTER (1992), bei deren Untersuchungen die Werte der dynamischen Biege-Elastizitätsmoduln im Mittel um 9 % bzw. 5 % über den Werten der statischen Elastizitätsmoduln lagen, auf erhöhtem Niveau bestätigt.

#### **5.3.4 Die anatomischen, physikalischen und elastomechanischen Eigenschaften im Zusammenhang**

Der Analyse der Zusammenhänge zwischen den Einfluß- und den Zielvariablen mittels schließender Statistik dienen zunächst einfache Korrelationsrechnungen. Darüberhinaus bedient sich die schließende Statistik univariater und multipler Regressionsrechnungen. Die schließende Statistik dient einerseits zur Qualifizierung und andererseits zur Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen unabhängigen und abhängigen Variablen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen werden in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Um diese grundlegenden Beziehungen mit dem Ziel der Verallgemeinerung darstellen zu können, wurden die Kanthölzer aller Bestände aus allen Stammhöhen zusammengefaßt. Eine Unterscheidung nach Standorten und Stammhöhen erfolgte nur dann, wenn dies sinnvoll erschien.

Zunächst waren alle unabhängigen Variablen in Betracht zu ziehen, von denen aufgrund des allgemeinen Kenntnisstandes sowie von Arbeiten anderer Autoren angenommen werden kann, daß sie einen Einfluß auf die Zielvariablen - die elastomechanischen Eigenschaften der Kanthölzer - ausüben. Nach Sichtung der Einzelkorrelationen wurde aus allen Variablen, die bei der visuellen Sortierung sowie bei der Bestimmung des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls erhoben worden waren, nur diejenigen ausgewählt, die sich erkennbar und statistisch nachweisbar auf die elastomechanischen Eigenschaften auswirken. Die Ergebnisse der Stammscheibenauswertung werden in die Analyse der Zusammenhänge nicht einbezogen, da zwischen den über den gesamten Stammquerschnitt gemittelten Werten und den von der jeweiligen Lage eines Kantholzes in diesem Querschnitt abhängigen Kennwerten kein unmittelbarer Bezug herzustellen ist.

Die DIN-Kriterien Baumkante, Verfärbungen, Druckholz, Insekten- und Mistelbefall waren in keinem Fall einschlägig. Die Faserneigung, d. h. die Abweichung des Faserverlaufs von der Kantholzlängskante, kam sehr selten vor und überschritt den zulässigen Grenzwert der Sortierklasse S 13 nur in drei Fällen. Die geringe Bedeutung derartiger Abweichungen bestätigt SAUTER (1992) mit vernachlässigbar kleinen Korrelationskoeffizienten. Risse infolge von Blitz- oder Frosteinwirkung sowie Ringschäle kamen nicht vor und sind nach DIN 4074 grundsätzlich unzulässig. Nach dem Einschnitt waren am frischen Holz keine Risse zu erkennen. Nach der Kammertrocknung traten zwar in geringer Zahl und Ausmaß von der DIN tolerierte Trockenrisse auf. Aufgrund der Ergebnisse von SAUTER (1992) an Douglasie und GROSS (1988) an Tanne, deren gefundene Korrelationskoeffizienten nur einen unwesentlichen Einfluß von Rissen auf die elastomechanischen Eigenschaften erkennen lassen, wurde in der eigenen Untersuchung auf die methodisch nicht unkomplizierte Berücksichtigung und Auswertung dieser Variablen verzichtet. Auch die Krümmungen, die bei 24 Kanthölzern für die Einstufung in Sortierklasse S 7 verantwortlich waren, wurden wegen ihrer zahlenmäßig geringen Bedeutung nicht in die Korrelationsanalyse einbezogen.

Außerhalb der DIN-Kriterien untersuchte SAUTER (1992) den Einfluß des Splintanteils auf die mechanischen Eigenschaften und kam zu dem Schluß, daß dieses Merkmal keinen zusätzlichen Erklärungswert bringt, weshalb in der eigenen Untersuchung darauf ebenfalls verzichtet wurde.

Die nach DIN nur für Bohlen, Bretter und Latten vorgesehene Unterscheidung zwischen markfreien und markhaltigen Hölzern wurde überprüft, wobei zur Einstufung als "markhaltiges Holz" ein Bereich im Radius von 25 mm um die Markröhre definiert wurde.

Tab. 36: **Vergleich der Biegefestigkeit markfreier und markhaltiger Kanthölzer [N/mm<sup>2</sup>]**

	n	$\bar{x}$	s	min	max
markfrei	86	44,3	12,7	14,6	67,8
markhaltig	339	44,0	11,7	18,8	76,0

In Tabelle 36 ist die deskriptive Statistik für beide Kantholztypen dargestellt. Es sind nur minimale Unterschiede erkennbar, die sich nach dem WILCOXON-Rangsummentest auf dem 5 %-Niveau als nicht signifikant erwiesen.

Geprüft wurde auch der Einfluß der Einschnittart, d. h. im vorliegenden Fall der Einfluß stehender bzw. liegender Jahrringe in den Kanthölzern. Jeweils hochkant und damit in Prüfposition betrachtet, wurden Kanthölzer mit stehenden Jahrringen (Neigungswinkel  $\leq 30^\circ$ ) von Kanthölzern mit liegenden Jahrringen (Neigungswinkel  $> 30^\circ$ ) je nach dem überwiegenden Anteil dieses Merkmals am Querschnitt unterschieden. In nachstehender Tabelle 37 ist die deskriptive Statistik für die beiden Einschnittarten wiedergegeben.

Tab. 37: **Vergleich der Biegefestigkeit der Kanthölzer mit liegenden bzw. stehenden Jahrringen [N/mm<sup>2</sup>]**

	n	$\bar{x}$	s	min	max
JR liegend	173	42,8	11,1	18,8	67,8
JR stehend	252	44,9	12,3	14,6	76,8

Der Mittelwert der Kanthölzer mit stehenden Jahrringen ist erwartungsgemäß höher, wenn auch nur in geringerem Maße. Statistisch abzusichern ist er jedoch nicht, was mittels WILCOXON-Rangsummentest auf dem 5 %-Niveau überprüft wurde.

Ein wesentlicher Einfluß der Einschnittart (Kanthölzer mit oder ohne Mark, Jahrringe stehend oder liegend) auf die Biegefestigkeit kann damit bei summarischer Betrachtung nicht festgestellt werden.

### 5.3.4.1 Beziehungen zwischen Jahrringbreite, Rohdichte und Anteil juvenilen Holzes

Die Jahrringbreite als visuell einfach erkennbares Holzmerkmal gilt in der Praxis als bedeutsam zur Einschätzung der Tragfähigkeit (Biegefestigkeit). Es findet Berücksichtigung sowohl in einschlägigen Rundholz- als auch Schnittholzsortiervorschriften und -normen, weshalb die Zusammenhänge zwischen der Jahrringbreite und den anderen wichtigen Holzeigenschaften hier näher beleuchtet werden sollen.

Wie bei den meisten Nadelhölzern nimmt auch bei der Douglasie bei steigenden Ringbreiten die Rohdichte ab.

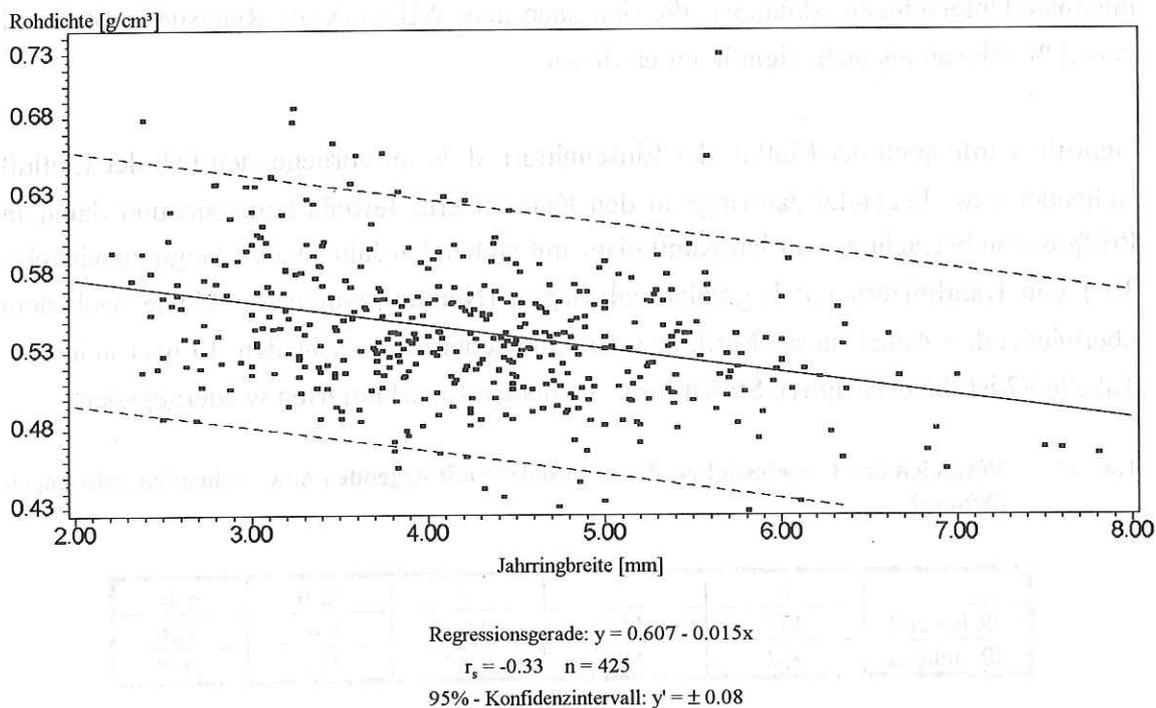


Abb. 25: Regression Rohdichte  $r_{12}$  über Jahrringbreite

In Abbildung 25 ist dieser Zusammenhang graphisch dargestellt. Der Korrelationskoeffizient von  $r = -0,33$  zeigt einen Zusammenhang, der nicht sehr straff ist, jedoch ist  $r$  auf dem 5 %-Niveau signifikant. Die gestrichelten Linien beiderseits der Regressionsgeraden bezeichnen das 95 %-Konfidenzintervall.

SAUTER (1992) fand an Douglasien-Kanthölzern signifikante Korrelationskoeffizienten zwischen Darrdichte und Jahrringbreite von  $-0,53$ , an Brettlamellen dagegen nur  $-0,36$  bzw.  $-0,14$ . Er führt den Abfall der Korrelationskoeffizienten bei den Brettlamellen auf das gewählte Einschnittmuster zurück. Die Kanthölzer weisen eine große Variationsbreite

te auf, wohingegen die Brettlamellen aus der Stammpерipherie geringere Ringbreitenschwankungen bei ähnlich hohem Niveau der Darrdichtevariation zeigen.

Die niedrigeren Korrelationskoeffizienten der eigenen Untersuchung sind ebenfalls mindestens zum Teil einschnittbedingt, da die Kanthölzer eher aus dem marknahen Bereich mit zwischen den Bäumen und Beständen ähnlichen Jahrringbreiten genommen wurden. Die straffere Beziehung bei SAUTER resultiert aus der wesentlich weiteren Ringbreitenspreitung, während sich bei der eigenen Untersuchung die nur mäßige Spreitung v. a. der Jahrringbreite negativ auf die Beziehung auswirkt. COHEN und COHEN (1975) beschreiben dieses Phänomen als "restriction of range". Desweiteren gibt es Unterschiede hinsichtlich der erfaßten Dichteparameter und der Methode. SAUTER benutzt für die Darstellung der Beziehung die Darrdichte  $r_0$ , die er an 2 cm breiten Probestreifen in Bruchnähe bestimmte, während in der eigenen Untersuchung die Rohdichte  $r_{12}$  für das gesamte Kantholz ermittelt wurde. Die Rohdichte schwankt naturgegeben innerhalb des Kantholzes, wodurch die Korrelationen mit den an den Stirnflächen erhobenen Jahrringbreiten eher geringere Koeffizienten erwarten lassen.

Zur Darstellung des Zusammenhangs zwischen Volumenanteil an juvenilem Holz und der Jahrringbreite dient Abbildung 26.

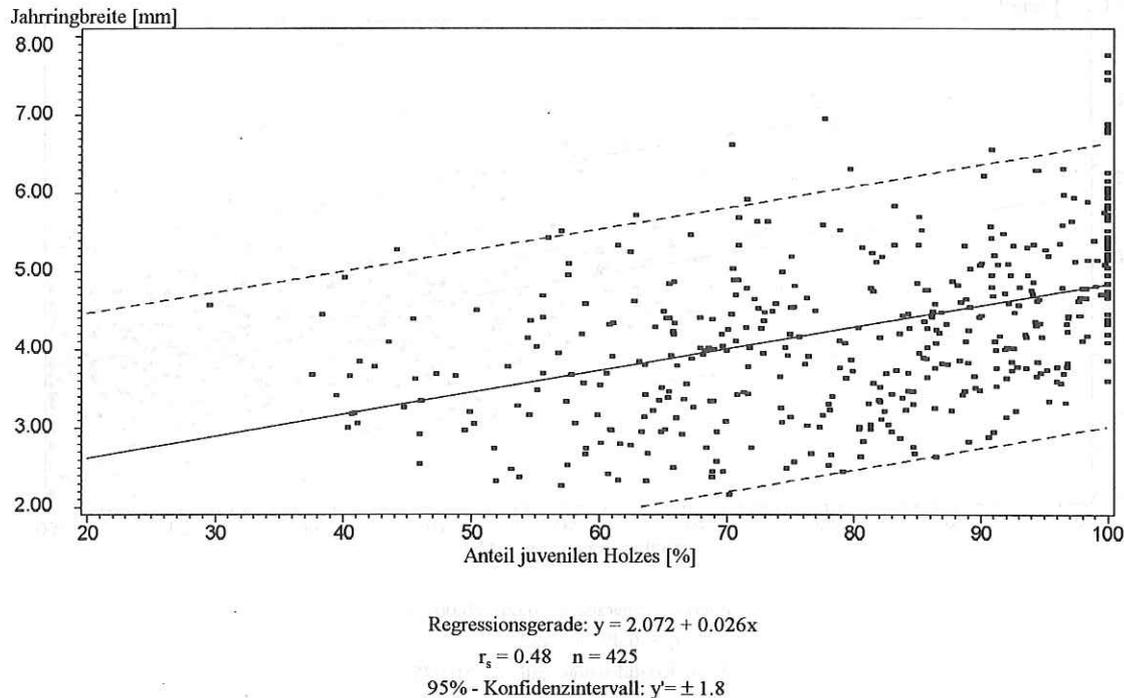


Abb. 26: Regression Jahrringbreite über Anteil juvenilen Holzes

Der Korrelationskoeffizient von  $r = 0,48$  deutet eine relativ straffe Beziehung zwischen dem Anteil juvenilen Holzes und der Jahrringbreite bei hoher Signifikanz an. Damit ist der Zusammenhang nicht so straff wie bei SAUTER (1992), der bei identischem Querschnitt einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,67$  fand. Allerdings ist die Streubreite der Jahrringe in der eigenen Untersuchung etwas geringer. Eindeutig ist auch die Häufung der Kanthölzer mit hohen Juvenilholzanteilen, resultierend aus dem marknahen Einschnittmuster. Das juvenile Holz, festgelegt bis einschließlich dem 20. Jahrring vom Mark aus, ist ganz offensichtlich durch breitere Jahrringe gekennzeichnet.

Über den Dichteverlauf und seine Bedeutung für die elastomechanischen Eigenschaften in Stamm längs- und -querrichtung in den einzelnen Beständen wurde bereits in den Kapiteln 5.2.4 und 5.3.1.2 berichtet. Um den Praxisbezug beizubehalten, nämlich qualitative Aussagen über Douglasien-Schnittholz aus rheinland-pfälzischen Anbauten zu treffen, wird auch an dieser Stelle auf eine bestandesweise differenzierte Auswertung nach Alter, Standort und Standraum sowie Höhe im Stamm verzichtet. Im übrigen würde eine Stratifizierung nach den vorgenannten Kriterien durch die aus einschnittechnischen Gründen unterschiedlichen, mit zunehmender Stammhöhe sinkenden Stichprobenumfänge kaum noch relevante Korrelationsanalysen zulassen. Der Juvenilholzanteil als indirekte Ausprägung des Alterseffektes soll jedoch an dieser Stelle im Zusammenhang mit der Rohdichte betrachtet werden (vgl. Abb. 27).

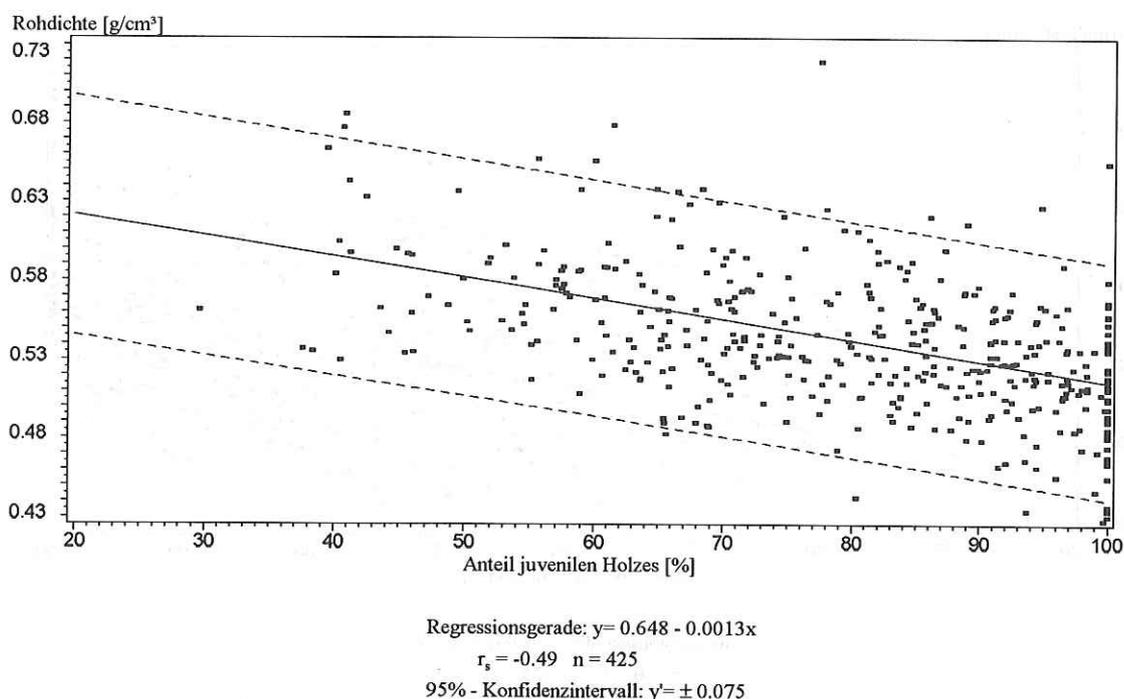


Abb. 27: Regression Rohdichte  $r_{12}$  über Anteil juvenilen Holzes

Der Koeffizient der linearen Korrelation beträgt  $-0,49$  und ist hochsignifikant. Mit steigendem Juvenilholzanteil sinken die Rohdichtewerte ab. Der geringe Regressionskoeffizient kennzeichnet den flachen Kurvenverlauf. Damit werden die von SAUTER (1992) gefundenen Beziehungen im wesentlichen bestätigt. Anschaulich wird einmal mehr die große Zahl der Kanthölzer mit hohen Anteilen jugendlichen Holzes beim Einschnitt von relativ jungen (und damit gering dimensionierten) Stammhölzern aus Durchforstung.

#### 5.3.4.2 Beziehungen zwischen Jahrringbreite und elastomechanischen Eigenschaften

Inwieweit der Jahrringbreite ein Erklärungswert für die elastomechanischen Eigenschaften zukommt, ist Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen. Die Diskussion, ob dem holzanatomischen Strukturmerkmal Jahrringbreite für sich genommen - ohne auf die zellulären Feinstrukturen einzugehen - überhaupt Erklärungspotential beispielsweise für Festigkeitseigenschaften zuzurechnen ist, würde den Rahmen dieser Untersuchung sprengen. In der holzwirtschaftlichen Praxis findet jedenfalls die Jahrringbreite als sortierwirksames Merkmal sowohl der Rundholz- als auch der Schnittholznormung Anwendung.

Im Laufe der Untersuchung wurden systematisch die elastomechanischen Kennwerte statischer und dynamischer Biegeelastizitätsmodul sowie Biegefestigkeit in ihrer Beziehung zueinander geprüft. In Bezug auf E-Modul statisch/dynamisch zeigte sich, daß die Korrelationsrechnungen zu nahezu identischen Ergebnissen führen. In der Folge wird daher neben der Biegefestigkeit auf den dynamischen E-Modul abgehoben, da dieser recht gut zerstörungsfrei und mit vergleichsweise geringem Prüfaufwand (vgl. Kap. 4.3.3.4) erhoben werden kann.

Inwieweit dynamischer bzw. statischer E-Modul als erklärende Variable in Bezug auf Dichte, Ästigkeit usw. besser geeignet ist, wird an entsprechender Stelle diskutiert.

Die SPEARMANschen Rangkorrelationskoeffizienten für die geprüften Beziehungen zwischen Jahrringbreite und dynamischem Biege-Elastizitätsmodul betragen  $-0,30$ , zwischen Jahrringbreite und statischem Biege-Elastizitätsmodul  $-0,31$  sowie zwischen Jahrringbreite und Biegefestigkeit  $-0,26$ . Die Regressionen des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls über der Jahrringbreite (vgl. Abb. 28) und der Biegefestigkeit über der Jahrringbreite (vgl. Abb. 29) sind nachfolgend dargestellt.

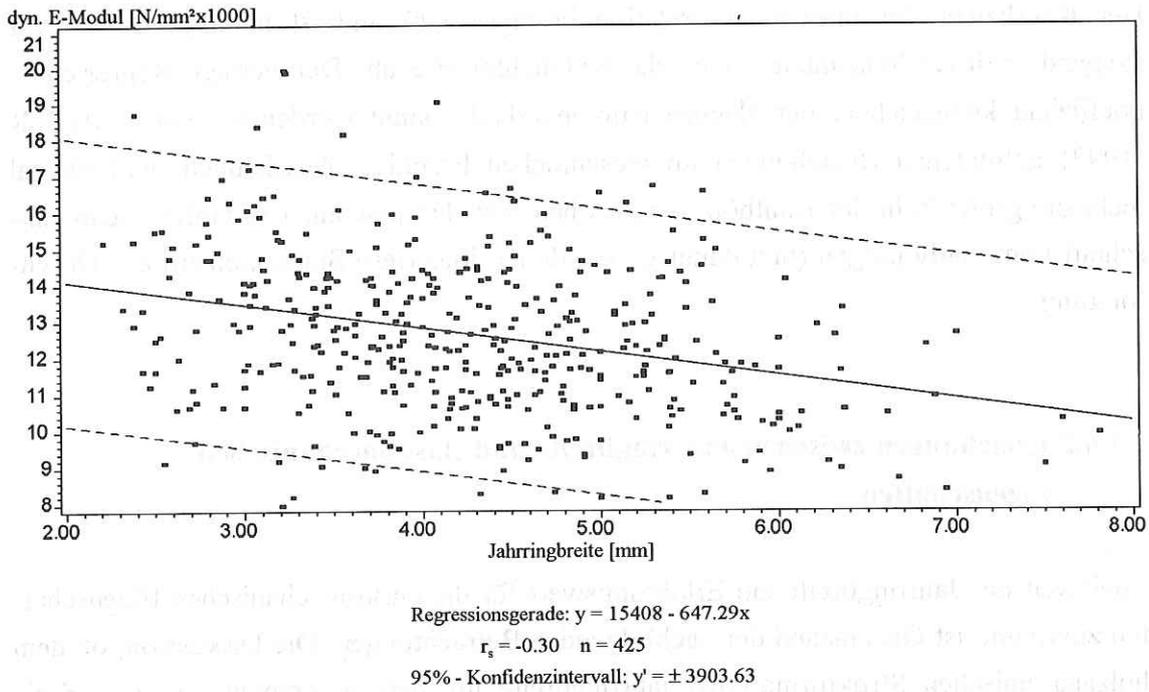


Abb. 28: Regression dynamischer Biege-E-Modul über Jahrringbreite

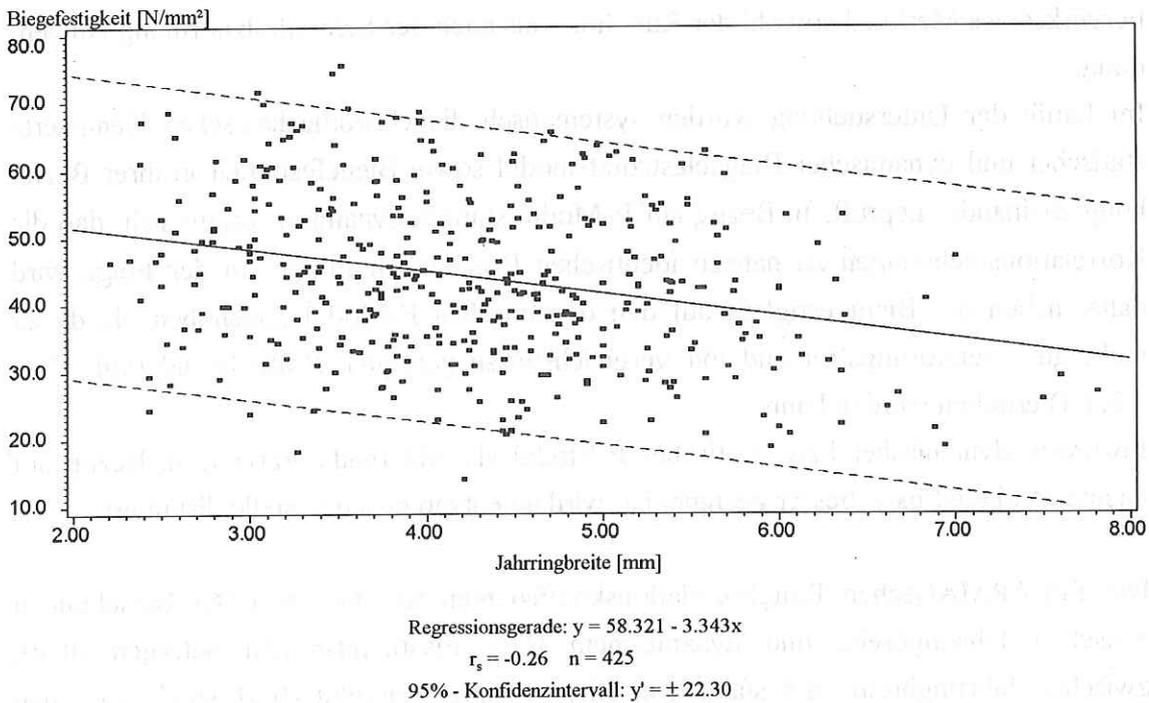


Abb. 29: Regression Biegefestigkeit über Jahrringbreite

Die geprüften Zusammenhänge sind nicht sehr straff, dennoch auf dem 95 %-Niveau signifikant. Die Biegefestigkeit ist mit der Jahrringbreite weniger korreliert als die Biege-

Elastizitätsmoduln, woraus geschlossen werden kann, daß besonders die Biegefestigkeit Einflüssen unterliegt, die durch die Jahrringbreite allein nicht repräsentiert werden.

Im Vergleich zu den von SAUTER 1992 für die gleichen Zusammenhänge ermittelten Korrelationskoeffizienten liegen die hier gefundenen Werte vergleichbar zueinander, jedoch auf etwas niedrigerem Niveau. Hier dürfte sich ebenfalls die "restriction of range", die in Kapitel 5.3.4.1 bereits angesprochen wurde, nivellierend und im Sinne erwarteter höherer Korrelationskoeffizienten negativ auswirken. Die Regressionsgeraden verdeutlichen dennoch den negativen Einfluß der Jahrringbreite auf die elastomechanischen Eigenschaften. Die Regressionsgeraden verlaufen nahezu parallel, was den engen Zusammenhang zwischen dynamischem Biege-Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit aufzeigt. Auffällig sind die höheren Streuungen im Bereich der niedrigeren Ringbreiten. Hier wirken sich also andere Einflußfaktoren stärker aus.

#### 5.3.4.3 Beziehungen zwischen Rohdichte und elastomechanischen Eigenschaften

Über den bedeutsamen Einfluß der Rohdichte auf die elastomechanischen Eigenschaften wurde bereits berichtet. Zwar fanden verschiedene Autoren (GLOS et al., 1988; SAUTER, 1992), daß die Darrdichte  $r_0$  mit den mechanischen Eigenschaften noch höher korreliert ist als die Rohdichte  $r_{12}$ , im Falle der Biegefestigkeit sind die Unterschiede jedoch vergleichsweise gering.

Die SPEARMANschen Korrelationskoeffizienten für die untersuchten Beziehungen zwischen Rohdichte und dynamischem Biege-Elastizitätsmodul betragen 0,63, zwischen Rohdichte und statischem Biege-Elastizitätsmodul 0,56 sowie zwischen Rohdichte und Biegefestigkeit 0,40. Damit sind die geprüften Zusammenhänge relativ straff. Deutlich ist, daß die Rohdichte mit den Elastizitätseigenschaften höher korreliert ist als mit der Biegefestigkeit. Die SAUTERschen Ergebnisse werden bestätigt, wenn auch die eigenen Werte insgesamt etwas schwächer korreliert sind.

Die Regression des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls über der Rohdichte ist in Abbildung 30, die der Biegefestigkeit über der Rohdichte in Abbildung 31 dargestellt.

Der Verlauf der Regressionsgeraden des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls über der Rohdichte ist steiler als der der Biegefestigkeit, wodurch die stärkere Reaktion der elastischen Eigenschaften auf Rohdichteschwankungen nochmals unterstrichen wird. Die Streuung der Biegefestigkeitswerte um die Regressionsgerade ist wesentlich größer als die der dynamischen Biege-E-Moduln. Die 95%-Konfidenzintervalle verlaufen beim

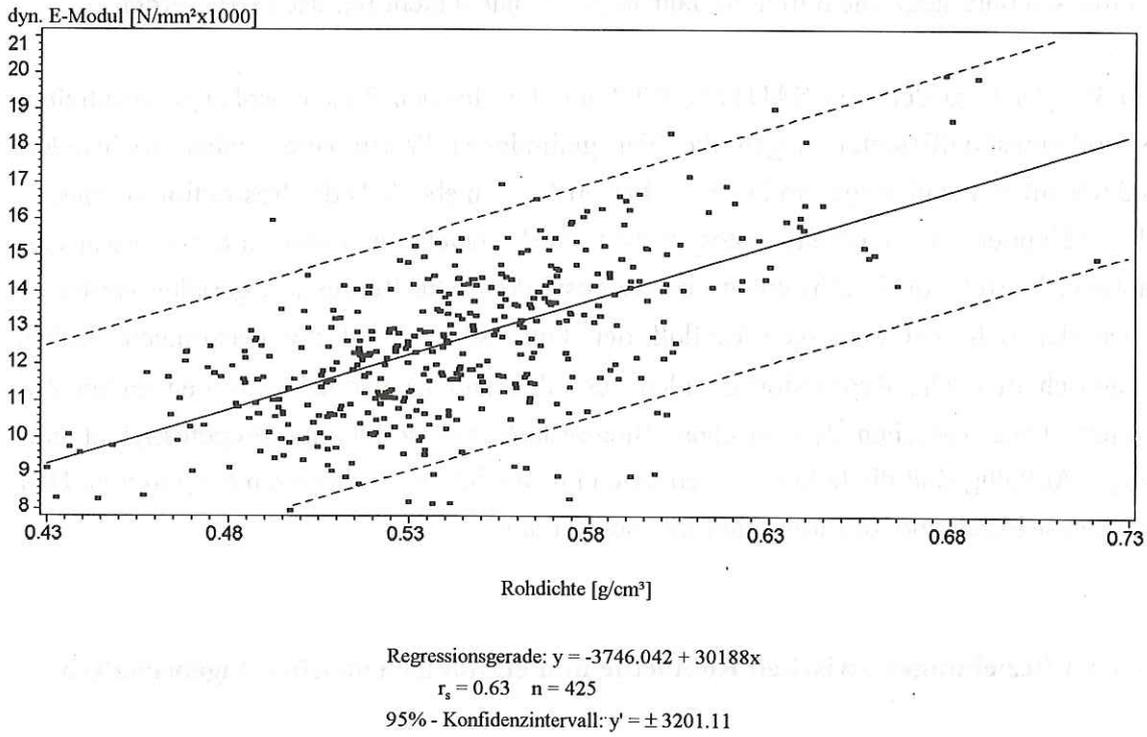


Abb. 30: Regression dynamischer Biege-E-Modul über Rohdichte  $r_{12}$

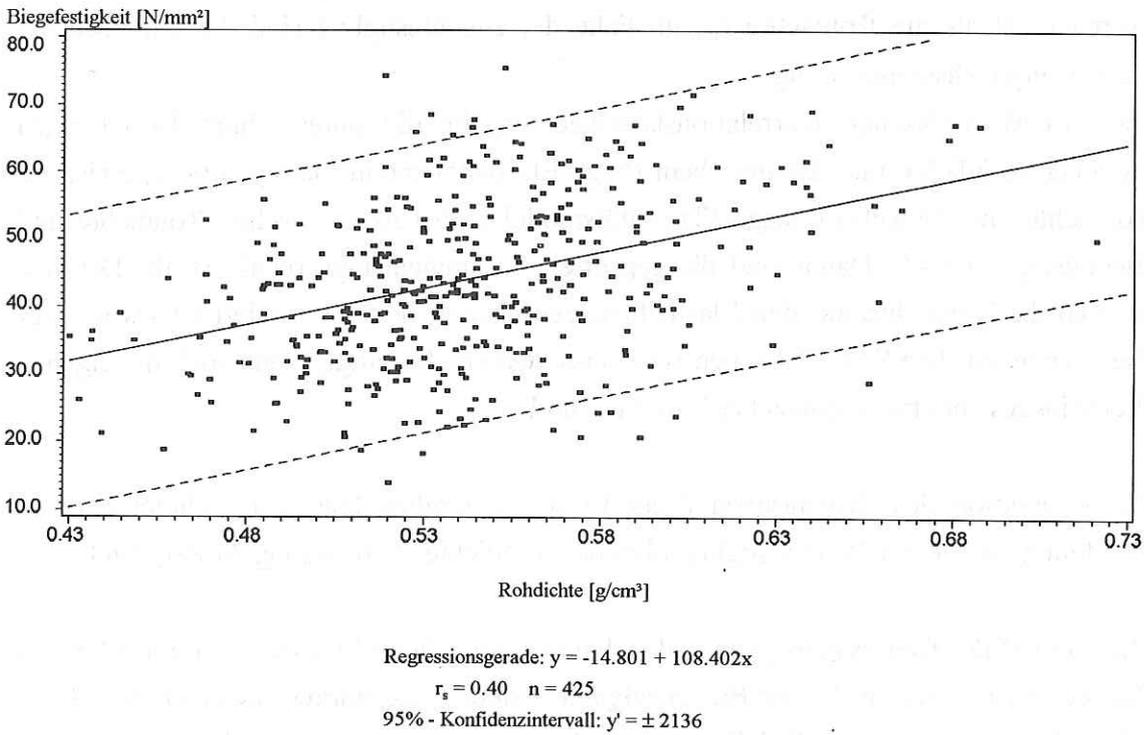


Abb. 31: Regression Biegefestigkeit über Rohdichte  $r_{12}$

dynamischen Biege-Elastizitätsmodul bei rund  $\pm 25\%$  um den Mittelwert, bei der Biegefestigkeit dagegen liegen sie fast doppelt so hoch bei  $\pm 50\%$  um den Mittelwert. Diese bei Festigkeitsprüfungen in Gebrauchsdimensionen typische Erscheinung zeigt, daß die Festigkeit der Kanthölzer durch weitere Variablen beeinflusst wird.

#### 5.3.4.4 Beziehungen zwischen Ästigkeit und elastomechanischen Eigenschaften

Die herausragende Bedeutung der Ästigkeit sowohl für die Rundholz- als auch die Schnittholzsortierung wurde bereits aufgezeigt. Deshalb waren die Zusammenhänge zwischen der Ästigkeit und den elastomechanischen Eigenschaften besonders intensiv zu untersuchen.

Folgende Ästigkeitskriterien wurden erhoben und überprüft:

- größter Einzelastdurchmesser
- größter Einzelastquotient (nach DIN 4074)
- kumulierte Astdurchmessersumme  
(Astdurchmesserklassenobergrenze x Astanzahl)
- Gesamtastanzahl
- durchschnittlicher Einzelastdurchmesser  
(kum. Astdurchmessersumme ÷ Astanzahl).

Diese Kriterien wurden zusätzlich unterschieden nach Lage in der 1 m-Bruchzone im mittleren Drittel des Kantholzes und Lage außerhalb dieser Bruchzone. Die Korrelationsanalysen zwischen der Gesamtastanzahl und dem durchschnittlichen Einzelastdurchmesser mit den elastomechanischen Eigenschaften ergaben erwartungsgemäß so niedrige Korrelationskoeffizienten, daß sie im folgenden nicht mehr berücksichtigt werden.

Tab. 38: Zusammenstellung der PEARSONSchen ( $r_p$ ) bzw. SPEARMANSchen ( $r_s$ ) Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Ästigkeit und elastomechanischen Eigenschaften.

	größter Einzelastdurchmesser		größter Einzelastquotient		kum. Astdurchmessersumme	
	innerhalb Bruchzone n = 159	außerhalb Bruchzone n = 266	innerhalb Bruchzone n = 150	Gesamt-kantholz n = 425	innerhalb Bruchzone n = 425	Gesamt-kantholz n = 425
dyn. E-Modul	$r_p = -0.52$	$r_p = -0.46$	$r_p = -0.52$	$r_p = -0.47$	$r_s = -0.40$	$r_s = -0.47$
stat. E-Modul	$r_p = -0.54$	$r_p = -0.46$	$r_p = -0.53$	$r_p = -0.47$	$r_s = -0.36$	$r_s = -0.42$
Biegefestigkeit	$r_p = -0.57$	$r_p = -0.45$	$r_p = -0.55$	$r_p = -0.52$	$r_s = -0.46$	$r_s = -0.48$

Für alle Beziehungen gilt  $P = 0.0001$ .

Die einfache Korrelationsanalyse konzentrierte sich damit auf die größten Einzelastdurchmesser, die größten Einzelastquotienten (nach DIN) und die kumulierten Astdurchmessersummen. Die Korrelationskoeffizienten dieser drei Ästigkeitskriterien mit den elastomechanischen Eigenschaften sind in Tabelle 38 dargestellt.

Die elastischen Eigenschaften zeigen für alle geprüften Beziehungen innerhalb der Bruchzone geringere Korrelationskoeffizienten als die Biegefestigkeit. Damit wird klar, daß die Biegefestigkeit stärker von der Ästigkeit abhängig ist als die Elastizitätsmoduln. In 159 Fällen lag der größte Einzelast innerhalb, in 266 Fällen außerhalb der Bruchzone. Die Beziehungen des größten Einzelastdurchmessers innerhalb der Bruchzone sind eindeutig straffer als die außerhalb der Bruchzone, der Unterschied ist statistisch gleichwohl nicht abzusichern.

Der größte Einzelastquotient, der in 150 Fällen innerhalb der Bruchzone zu finden war, weist innerhalb der Bruchzone nahezu identische Zusammenhänge auf wie der größte Einzelastdurchmesser. Bezogen auf die gesamte Kantholzlänge nimmt die Straffheit der Beziehung beim Einzelastquotienten geringfügig von -0.55 auf -0.52 ab, ist aber enger als beim größten Einzelastdurchmesser, bei dem die Korrelation mit der Biegefestigkeit innerhalb der Bruchzone von -0.57 auf einen Wert von -0.49 bezogen auf das Gesamtkantholz (alle 425 Kanthölzer) abnimmt.

Bei den kumulierten Astdurchmessersummen sind die Beziehungen bei Betrachtung der Gesamtkanthölzer gegenüber nur der Bruchzone erwartungsgemäß straffer, da mit den Ästen auf den beiden Kantholzdritteln außerhalb der Bruchzone nochmals theoretisch doppelt so viele Äste hinzukommen. Auch kommt hier zum Ausdruck, daß die elastischen Eigenschaften stärker auf die Ästigkeit des Gesamtkantholzes reagieren als die Biegefestigkeit. So wirken sich die zusätzlichen Äste auf den beiden Kantholzdritteln außerhalb der Bruchzone auf die Biegefestigkeit kaum noch aus, was durch den nur geringfügigen Anstieg des Korrelationskoeffizienten von -0.46 auf -0.48 dokumentiert wird.

Beim Vergleich der drei Ästigkeitskriterien "größter Einzelastdurchmesser", "größter Einzelastquotient" und "kumulierte Astdurchmessersumme" ist den beiden ersteren eindeutig der Vorrang als Erklärungsvariable für die Biegefestigkeit einzuräumen. Dabei haben der größte Einzelastdurchmesser bzw. der größte Einzelastquotient den Vorzug der etwas einfacheren Ermittlung unter Praxisbedingungen. Um der Sortierpaxis in DIN 4074, die den größten Einzelast immer im Bezug zum Querschnitt bewertet, zu entspre

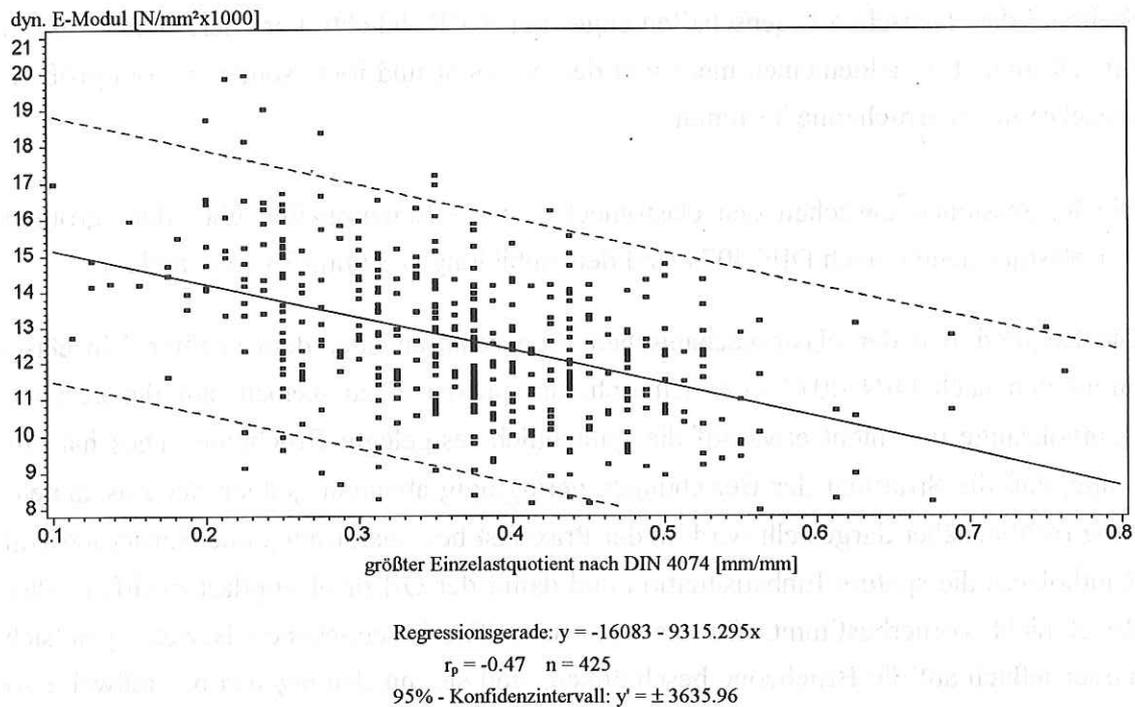


Abb. 32: **Regression dynamischer Elastizitätsmodul über größtem Einzelastquotienten (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)**

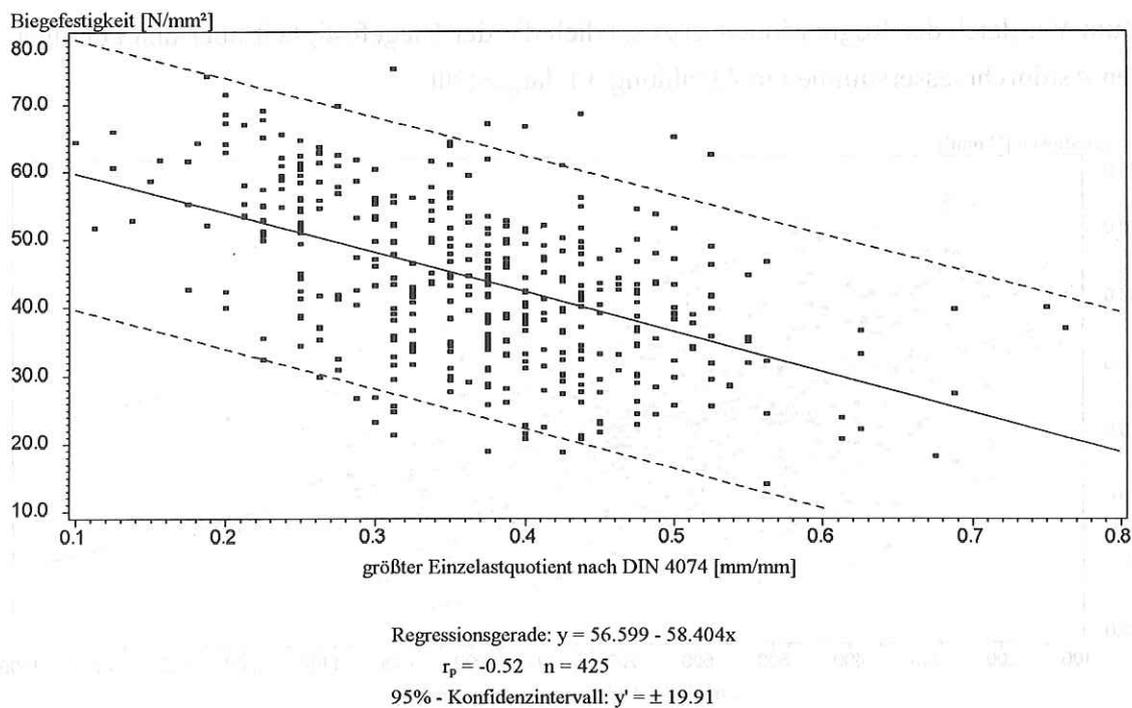


Abb. 33: **Regression Biegefestigkeit über größtem Einzelastquotienten (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)**

chen, sind jedoch im folgenden sowohl die einfachen als auch die multiplen Regressionen immer auf den größten Einzelastquotienten bezogen.

Während die elastischen Eigenschaften enger mit der Rohdichte korreliert sind, wird die Biegefestigkeit im allgemeinen mehr von der Ästigkeit und im besonderen vom größten Einzelast in der Bruchzone bestimmt.

Die Regressionen zwischen den elastomechanischen Eigenschaften über dem größten Einzelastquotienten nach DIN 4074 sind den Abbildungen 32 und 33 zu entnehmen.

Die Regressionen der elastomechanischen Eigenschaften über dem größten Einzelastquotienten nach DIN 4074 beziehen sich, um praxisnah zu bleiben, auf die gesamte Kantholzlänge und nicht etwa auf die gutachtlich festgelegte Bruchzone. Dies hat zur Folge, daß die Straffheit der Beziehungen geringfügig abnimmt, jedoch der Zusammenhang realitätsnäher dargestellt wird; in der Praxis ist bei Ausformung und Sortierung von Kanthölzern die spätere Einbausituation und damit der Ort des Hauptlastangriffs in aller Regel nicht vorherbestimmt. Da die von SAUTER beschriebenen Beziehungen sich ausschließlich auf die Bruchzone beschränken, sind sie mit den eigenen nur teilweise zu vergleichen. Aufgrund der größeren Astdurchmesserspreitung sind die SAUTERschen Beziehungen etwas straffer bei allerdings deutlich höheren Streuungen um die Regressionsgerade.

Zum Vergleich der Regressionen ist zusätzlich die der Biegefestigkeit über den kumulierten Astdurchmessersummen in Abbildung 34 dargestellt.

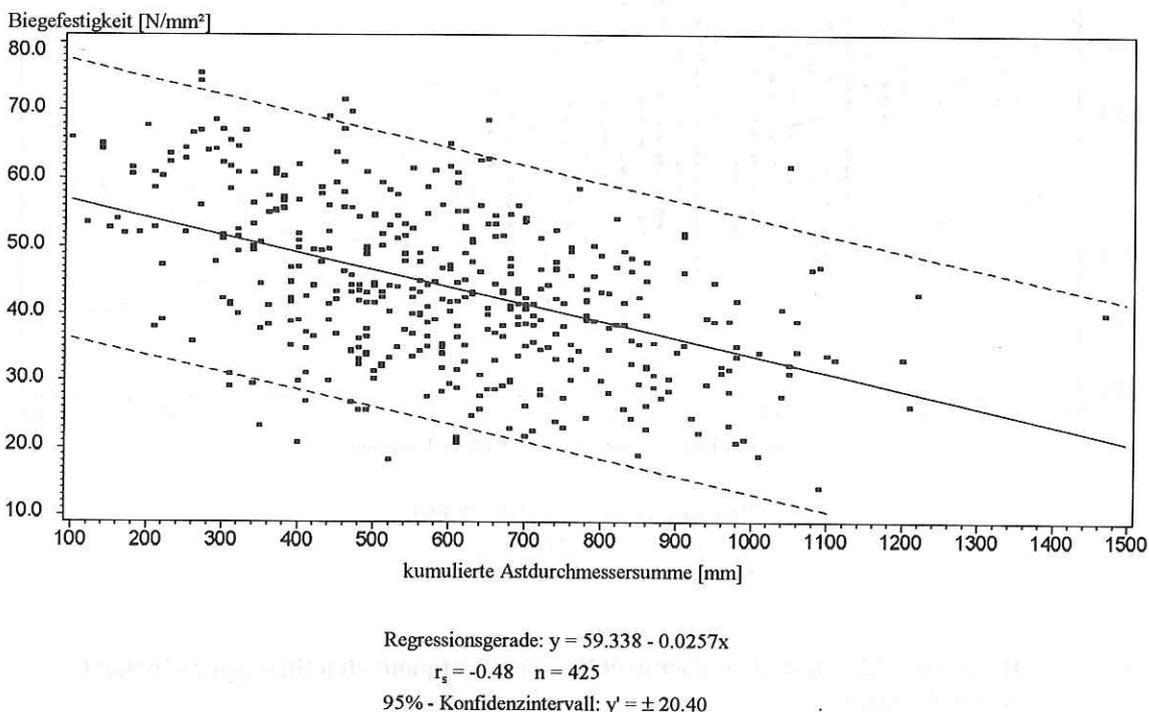


Abb. 34: **Regression Biegefestigkeit über kumulierten Astdurchmessersummen (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)**

Es wird nochmals deutlich, daß der größte Einzelastquotient zur Vorhersage der Biegefestigkeit die geeignetere Variable ist, aus der Sicht des Praktikers wie auch der angewandten Holzforschung ein arbeitserleichterndes Ergebnis.

#### 5.3.4.5 Beziehungen zwischen Anteil juvenilen Holzes und elastomechanischen Eigenschaften

Die Beziehungen zwischen Jahrringbreite und Rohdichte einerseits und dem Juvenilholzanteil andererseits wurden bereits in Kapitel 5.3.4.1 vorgestellt. Die Korrelationskoeffizienten zwischen Jahrringbreite und Juvenilholzanteil betragen rd. 0.5, zwischen Rohdichte und Juvenilholzanteil rd. -0.5 und sind somit relativ straff. Wie sich der Anteil juvenilen Holzes auf die elastomechanischen Eigenschaften auswirkt, ist nachfolgend zu diskutieren.

Die SPEARMANSchen Rangkorrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen Juvenilholzanteil und dynamischem Biege-Elastizitätsmodul betragen -0.29, zwischen Juvenilholzanteil und statischem Biege-Elastizitätsmodul -0.28 sowie zwischen Juvenilholzanteil und Biegefestigkeit -0.31.

Die Regressionen des dynamischen Biege-Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit über dem Anteil juvenilen Holzes sind den Abbildungen 35 bzw. 36 zu entnehmen.

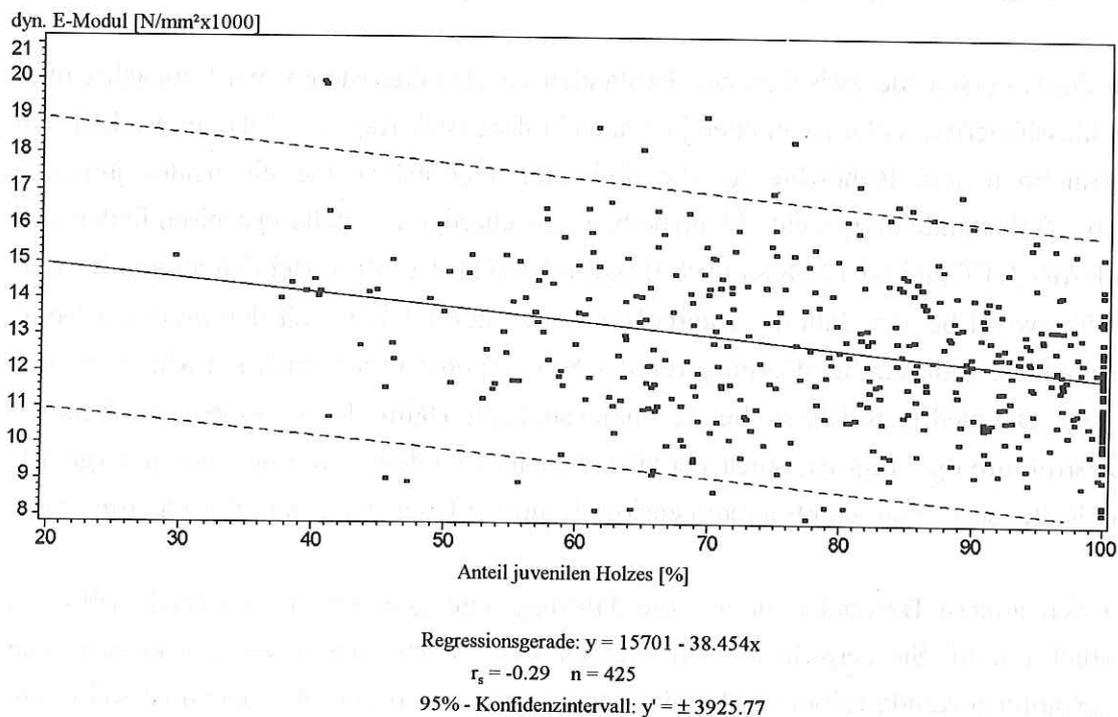


Abb.35: Regression dynamischer Biege-Elastizitätsmodul über Juvenilholzanteil

Die Regressionen sind zwar beide signifikant auf dem 95%-Niveau, jedoch einheitlich nicht sehr straff, d.h. das Bestimmtheitsmaß erklärt lediglich rd. 10% der Streuungen. Die Einflüsse des Juvenilholzanteiles wirken sich sowohl auf die elastischen als auch auf die Biegefestigkeiten in etwa gleichem Maße aus.

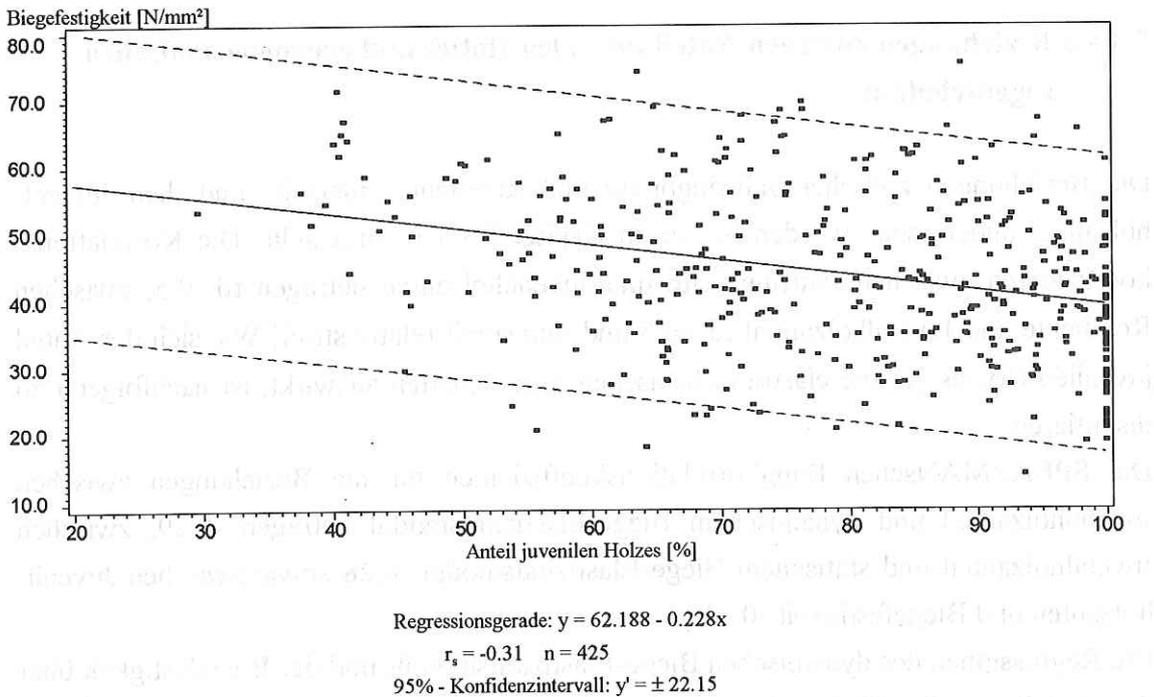
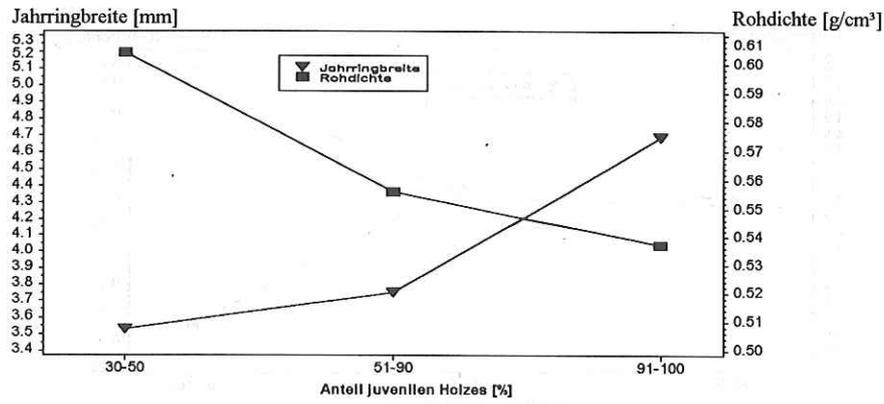


Abb. 36: **Regression Biegefestigkeit über Juvenilholzanteil**

Um die Unterschiede zwischen den Beständen zu charakterisieren, wird zunächst über den klassifizierten Volumenanteilen juvenilen Holzes (vgl. Kap. 5.3.1.4) der Verlauf von Jahrringbreite und Rohdichte für die drei älteren (Abb.37) und die beiden jüngeren (Abb.38) Bestände dargestellt. Ähnliche bzw. gleichartige Darstellungsweisen finden sich bei BARRETT und KELLOGG (1989) sowie SAUTER (1992). Bei den älteren Beständen überwiegt bei der Zahl der Kanthölzer eindeutig die Klasse mit den mittleren Volumenanteilen, während bei den jüngeren der Schwerpunkt in der höchsten Klasse 91-100 % liegt. Die niedrigste Klasse, bei der mindestens die Hälfte des Volumens durch adulte Holzstrukturen geprägt ist, spielt bei allen Beständen anteilmäßig nur eine untergeordnete Rolle, eine Folge von Baumdimension, Kantholz-Querschnitt und Einschnittmuster.

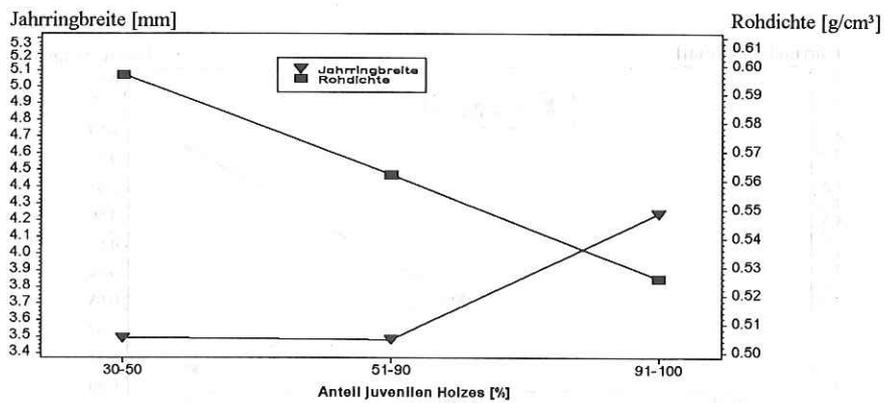
Bei den älteren Beständen nimmt die Jahrringbreite generell, bei Bestand AWS am deutlichsten zu. Sie zeigt hier einen linearen Verlauf über den Juvenilholzklassen. Die gegenläufig sinkende Rohdichte kommt deutlich zum Ausdruck. Auffallend ist weiterhin, daß bei den drei älteren Beständen bei hohen Anteilen juvenilen Holzes eine Rohdichte-

### AEG



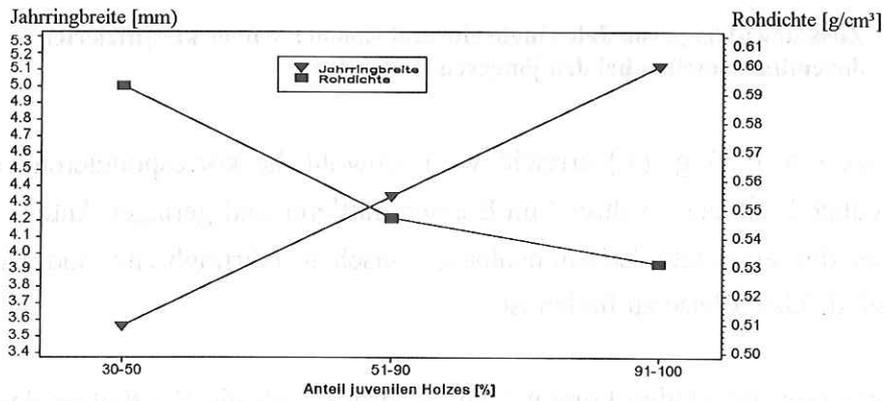
	30-50	51-90	91-100
N	9	59	9
Jahrringbreite	3.53	3.57	4.69
Rohdichte	0.604	0.556	0.537

### AES



	30-50	51-90	91-100
N	6	64	17
Jahrringbreite	3.49	3.48	4.42
Rohdichte	0.597	0.562	0.526

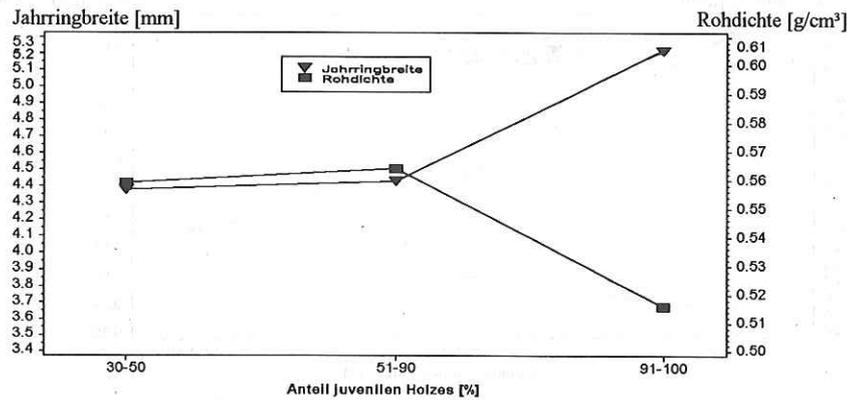
### AWS



	30-50	51-90	91-100
N	4	83	30
Jahrringbreite	3.56	4.34	5.12
Rohdichte	0.593	0.547	0.531

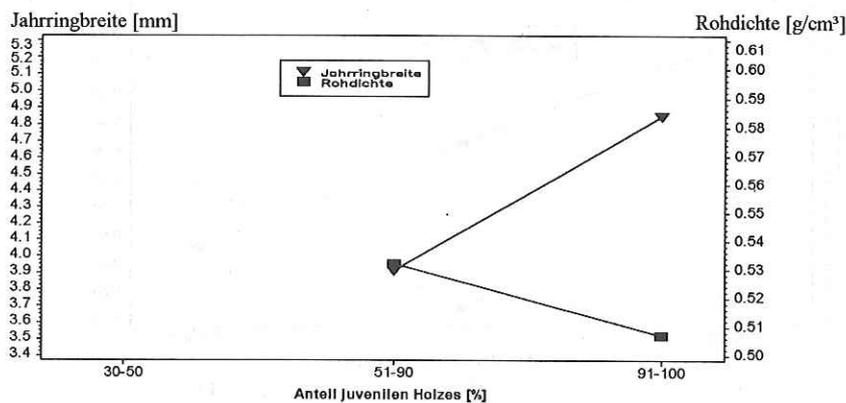
Abb. 37: Zusammenhänge von Jahrringbreite und Rohdichte über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den älteren Beständen

### JEG



N	5	23	35
Jahringbreite	4.38	4.43	5.22
Rohdichte	0.559	0.564	0.516

### JWG



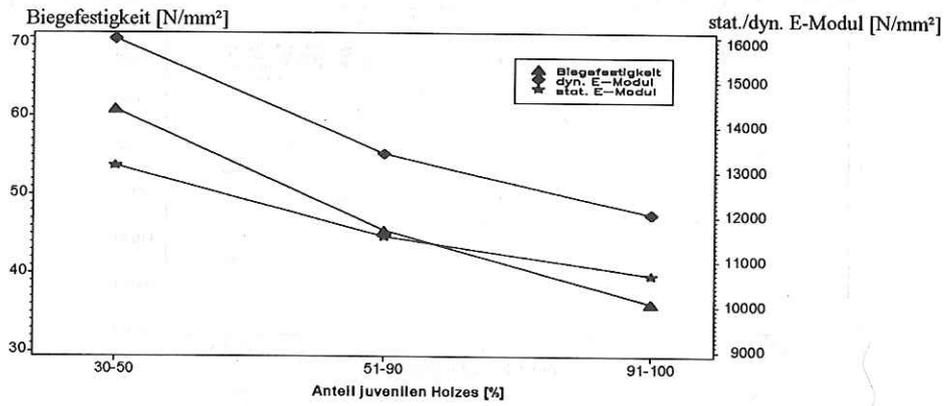
N	0	29	52
Jahringbreite		3.91	4.85
Rohdichte		0.532	0.507

Abb. 38: Zusammenhänge von Jahringbreite und Rohdichte über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den jüngeren Beständen

Untergrenze (ca. 0,53 g/cm<sup>3</sup>) erreicht wird, obwohl die korrespondierenden Jahrringe unterschiedlich breit sind, während im Bereich mittlerer und geringer Anteile des juvenilen Holzes der erwartete Zusammenhang zwischen Jahringbreite und Rohdichte in tendenziell gleicher Weise zu finden ist.

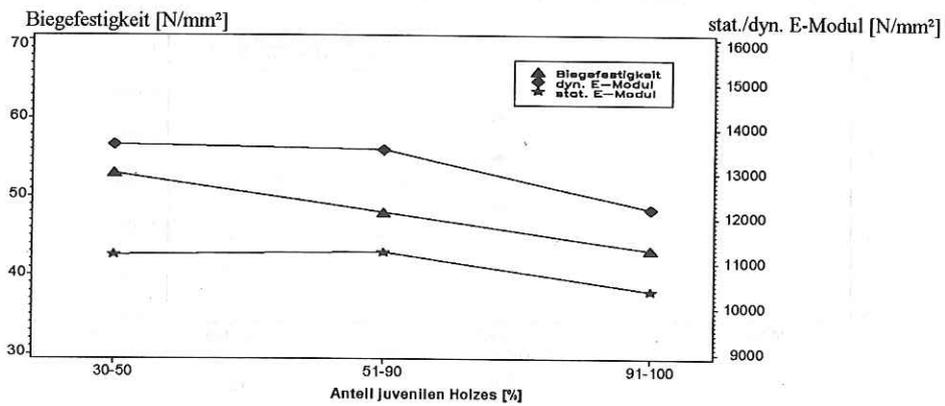
Bei den jüngeren Beständen kommt zum Ausdruck, daß die Kanthölzer des Bestandes JWG deutlich mehr von juvenilen Holzstrukturen beeinflusst werden; es kommt die niedrigste Klasse dort überhaupt nicht vor. Auch ist der von allen Beständen niedrigste Rohdichtewert zu beobachten. Die etwas größeren Jahringbreiten des Bestandes JEG, der auf besserem Standort stockt, korrespondieren mit im Vergleich zu JWG höheren Rohdichtewerten.

### AEG



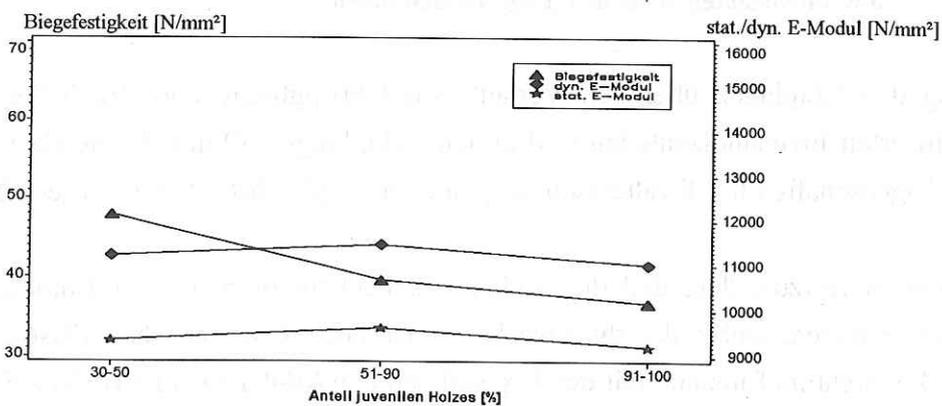
N	9	59	9
Biegefestigkeit	60.8	45.4	36.1
dyn. E-Modul	15973.6	13398.9	12052
stat. E-Modul	13141	11552.6	11069.4

### AES



N	6	64	17
Biegefestigkeit	53.0	47.9	43.1
dyn. E-Modul	13658.5	13536.2	12204.3
stat. E-Modul	11194.5	11244.6	10385.2

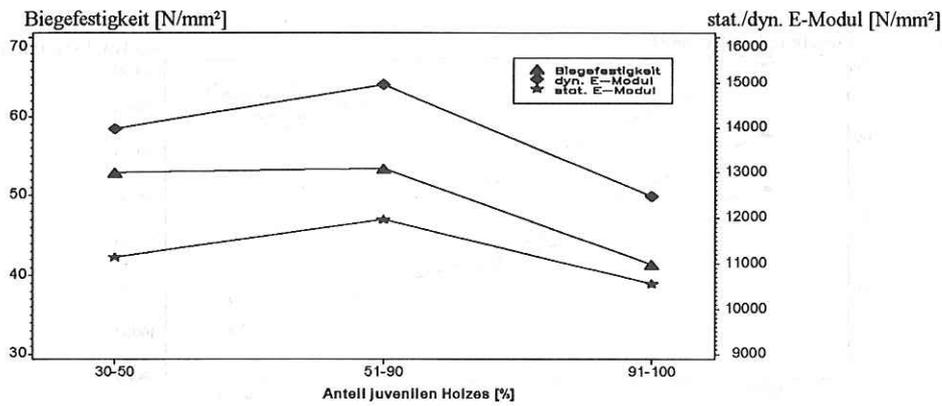
### AWS



N	4	83	30
Biegefestigkeit	47.9	39.6	36.7
dyn. E-Modul	11220.3	11463	11011.9
stat. E-Modul	9342.3	9616.8	9260.8

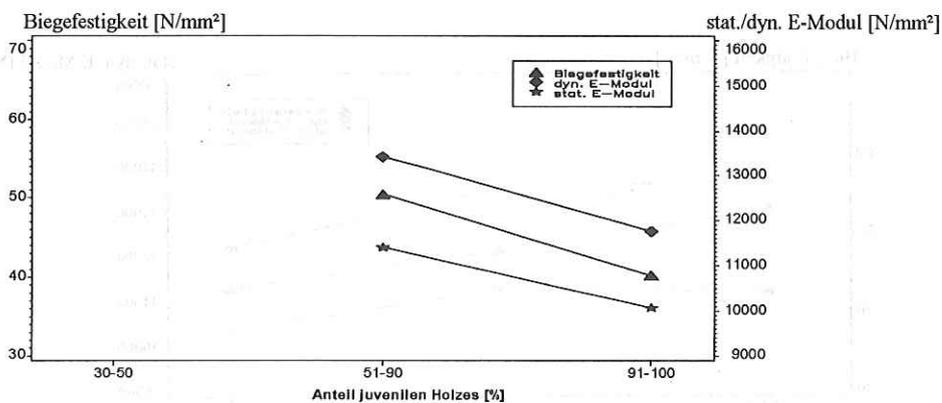
Abb. 39: Zusammenhänge der elastomechanischen Eigenschaften über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den älteren Beständen

## JEG



	30-50	51-90	91-100
N	5	23	35
Biegefestigkeit	52.9	53.3	41.3
dyn. E-Modul	13980.2	14959.8	12475.5
stat. E-Modul	11150.6	11963.6	10562

## JWG



	30-50	51-90	91-100
N	0	29	52
Biegefestigkeit		50.4	43.1
dyn. E-Modul		13423	11754.8
stat. E-Modul		11397.9	10074

Abb. 40: **Zusammenhänge der elastomechanischen Eigenschaften über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den jüngeren Beständen**

Analog den Graphiken über den Verlauf von Jahrringbreite und Rohdichte über den klassifizierten Juvenilholzanteilen sind in den Abbildungen 39 und 40 die elastomechanischen Eigenschaften für die älteren bzw. jüngeren Vergleichsbestände dargestellt.

Generell ist festzustellen, daß die beiden Elastizitätsmoduln in ihrer Entwicklung fast parallel verlaufen, wobei der dynamische immer über dem statischen Elastizitätsmodul liegt. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) sowie SAUTER (1992). Die Differenz zwischen beiden nimmt mit zunehmendem Juvenilholzanteil leicht ab. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von SAUTER (1992), der allerdings älteres Material mit anderer Klasseneinteilung untersuchte. Die Differenz beider Elastizitätskriterien resultiert offenbar aus der unterschiedlichen Meßmethodik. Der dynamische Biege-Elastizitätsmodul, der nach dem Eigenfrequenzprinzip

ermittelt wurde, ist das Ergebnis aller die Schwingungen beeinflussenden Faktoren auf der gesamten Kantholzlänge, während die konventionelle Messung des statischen Biege-Elastizitätsmoduls nach dem Kraft-Durchbiegungs-Prinzip mehr von den Verhältnissen im mittleren Biegedrittel und hier v. a. von den Ästen beeinflusst ist.

Die Biegefestigkeit nimmt bei allen Beständen mit zunehmendem Juvenilholzanteil ab, wobei dieser Verlauf in der Klasse 91-100 % Juvenilholz besonders deutlich ist. Bei Bestand AEG wird bei ausreichender Besetzung ( $n = 9$ ) dieser Festigkeitsabfall auch vom geringen zum mittleren Bereich des Juvenilholzanteiles sichtbar. Das marknahe Einschnittmuster kommt einmal mehr zum Ausdruck. Es wird darüberhinaus deutlich, daß sich die elastomechanischen Eigenschaften von Schnittholz merklich verbessern lassen, wenn es aus entsprechend alten und damit starken Douglasien erzeugt wird.

Zwischen den beiden jüngeren Beständen ist die Biegefestigkeit über klassifizierten Juvenilholzanteilen nur marginal verschieden.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß die elastomechanischen Eigenschaften der Kanthölzer aller Bestände zwar durch juveniles Holz beeinflusst werden, jedoch nicht in dem Maße, wie dies SAUTER (1992) gefunden hat. Die höheren Korrelationskoeffizienten jener Untersuchung werden bewirkt sowohl durch ein höheres Alter der untersuchten Douglasien, als auch durch das andersartige Einschnittmuster, welches mehr stammperiphere Holzzonen erfaßt.

#### 5.3.4.6 Beziehungen zwischen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften

Die Beziehungen der Elastizitätsmoduln als Maß der Steifigkeit und der Biegefestigkeit untereinander sind anwendungsbezogen von großem Gewicht. Neuartige zerstörungsfreie Schnittholzsortierungsverfahren bedienen sich des Elastizitätsmoduls, um auf die Tragfähigkeit des Schnittholzes für die Verwendung im Konstruktionsbereich schließen zu können.

Für die drei untersuchten elastomechanischen Eigenschaften - dynamischer und statischer Biege-Elastizitätsmodul sowie Biegefestigkeit - wurden folgende Korrelationskoeffizienten nach PEARSON bestimmt:

dyn. E-Modul : Biegefestigkeit  $r = 0,73$

stat. E-Modul : Biegefestigkeit  $r = 0,74$

dyn. E-Modul : stat. E-Modul  $r = 0,94$ .

Die Zusammenhänge zwischen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften sind damit sehr eng. Damit wird eine Schätzung der Festigkeiten nach vorheriger nicht zerstörender Bestimmung des E-Moduls möglich.

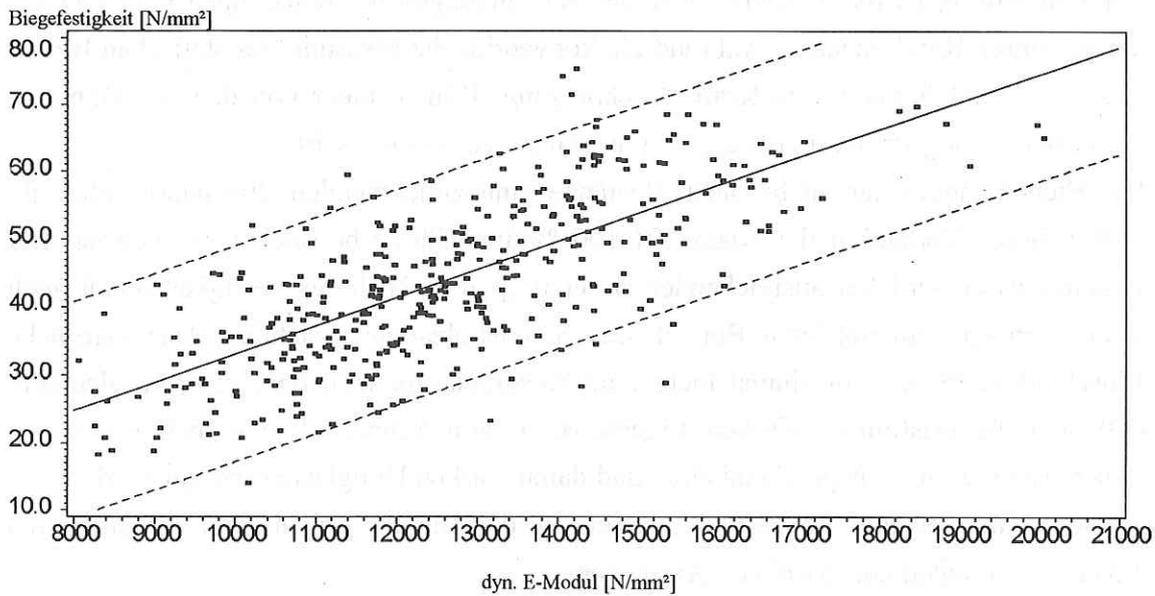


Abb. 41: **Regression Biegefestigkeit über dynamischem Biege-E-Modul**

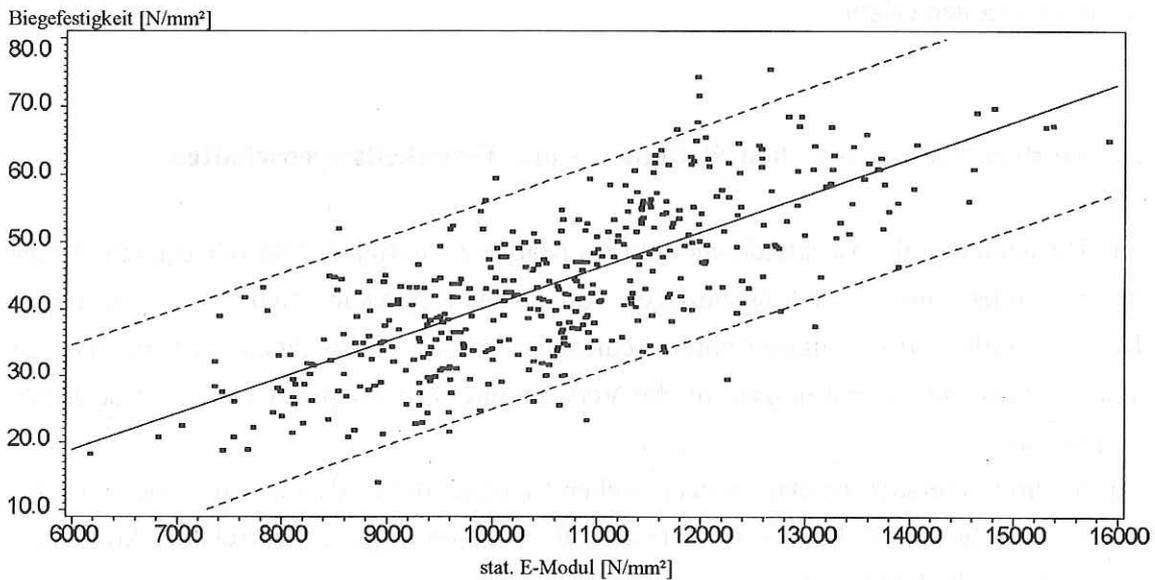


Abb. 42: **Regression Biegefestigkeit über statischem Biege-E-Modul**

Die sehr enge Beziehung zwischen dynamischem und statischem Biege-Elastizitätsmodul bzw. diesem und der Biegefestigkeit eröffnet die Möglichkeit, die konventionelle Bestimmung des statischen E-Moduls im Biegeversuch durch die wesentlich einfachere Bestimmung des dynamischen E-Moduls nach dem Eigenfrequenzprinzip abzulösen. Der Vergleich mit den von SAUTER (1992) gefundenen Korrelationskoeffizienten für dieselben von ihm untersuchten Beziehungen zeigt eine nahezu vollständige Übereinstimmung mit diesem Ergebnis.

In den Abbildungen 41 und 42 sind die Beziehungen zwischen Steifigkeits- und Festigkeitseigenschaften dargestellt.

Beide Regressionen sind hochsignifikant. Die 95%-Konfidenzintervalle beider Regressionen von  $\pm$  rd. 16 N/mm<sup>2</sup> liegen sehr eng um die Regressionsgeraden. Im Vergleich zu SAUTER zeigen die eigenen Regressionen weniger ausgeprägte Minima und Maxima, sind also Hinweis auf homogeneres Untersuchungsmaterial, was sich auch durch die engeren Konfidenzintervalle belegen läßt.

#### 5.3.4.7 Multiple Zusammenhänge

Die multiple Regressionsanalyse soll die Beziehungen zwischen einer Zielvariablen und mehreren Einflußvariablen aufzeigen. In den vorangehenden Kapiteln wurden bereits die Einflüsse einzelner Variablen auf die elastomechanischen Eigenschaften der Kanthölzer aufgezeigt. Die multiple Regression kann durch die Kombination mehrerer unabhängiger Variablen das Erklärungspotential für die Zielvariablen - die elastomechanischen Eigenschaften der Douglasien-Kanthölzer - verstärken. Dabei sind jedoch bestimmte Voraussetzungen zu berücksichtigen, die u. a. BACKHAUS et al. (1986) beschrieben haben. Die Erfüllung dieser Voraussetzungen wurde beachtet, wobei dem Aspekt der Interkorrelation der unabhängigen Variablen (Regressoren) auf die Zielvariablen (Regressand) nach Möglichkeit Rechnung getragen wurde. Interkorrelationen der Regressoren sind allerdings bei empirisch erhobenen Daten, um die es sich auch hier handelt, kaum zu vermeiden.

Neben der herkömmlichen multiplen linearen Regression wurden auch multiple lineare schrittweise Regressionsanalysen ("stepwise regression by forward selection" nach WEISBERG, 1985) vorgenommen. Das Rechenverfahren läuft folgendermaßen ab: Für jeden gewählten Regressor wird der F-Wert bestimmt. Aus den aufgelisteten F-Werten wird die Variable mit dem höchsten F-Wert ausgewählt und als erster Regressor in das

Modell eingeführt, wenn sie die vorgewählte Signifikanzschwelle von 95 % überschreitet. Die Vorgehensweise bei den weiteren Variablen erfolgt analog, d. h. immer die Variable mit dem höchsten F-Wert findet als nächster Regressor Eingang in das multiple Regressionsmodell. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis keine der einzubeziehenden Variablen das festgelegte Signifikanzniveau erreicht bzw. überschreitet.

Die multiple Regressionsanalyse bietet die Möglichkeit, durch eine Auswahl aus der großen Anzahl der erhobenen Variablen die Streuungen der Zielvariablen in möglichst hohem Maße aufzuklären, was durch hohe Bestimmtheitsmaße zum Ausdruck kommt. Allerdings muß die Auswahl der einbezogenen Erklärungsvariablen in einem logischen Zusammenhang zur Zielvariablen stehen, um die Ergebnisse interpretieren zu können.

In Tabelle 39 sind die wichtigsten Koeffizienten der Einzelkorrelationen nach Beständen und Stammhöhen zusammengestellt.

Die entscheidende Zielgröße bei der Schnittholzverwendung im Konstruktionsbereich ist die Biegefestigkeit, weshalb sich die darzustellenden Regressionsmodelle ausschließlich auf diese beziehen. In Tabelle 39 sind nur diejenigen Beziehungen aufgenommen, deren Erklärungspotential nach Prüfung für die multiple Regressionsrechnung von Bedeutung sind. Desweiteren werden multiple Regressionsmodelle nur für das gesamte Untersuchungskollektiv (425 Kanthölzer) und nicht etwa bestandesweise aufgestellt, um generelle Aussagen über die mehrfaktorielle Beeinflussung der Biegefestigkeit von in Rheinland-Pfalz gewachsenen Douglasien treffen zu können. Unterschiede der einzelnen Beziehungen zwischen den Beständen und Stammhöhen sind aus Tabelle 39 ersichtlich. Bei Stratifizierung der Gesamtstichproben nach Stammhöhen fällt beispielsweise auf, daß die Beziehung zwischen Biegefestigkeit und größtem Einzelastquotienten mit zunehmender Stammhöhe abnimmt ( $r = -0,53 \dots -0,24$ ). Die Korrelationskoeffizienten für dieselbe Beziehung schwanken auch zwischen den Beständen von  $r = -0,32$  bei Bestand AEG bis zu  $r = -0,55$  bei Bestand JWG bei einem Gesamtwert über alle Bestände von  $r = -0,52$ . Eine Stratifizierung der multiplen Regressionen nach Beständen und innerhalb der Bestände nach Stammhöhen verbietet sich schon wegen der niedrigen Stichprobenumfänge, die mit zunehmender Stammhöhe immer weniger signifikante Beziehungen zur Folge haben. Multiple Regressionen, über alle Bestände nach Stammhöhen stratifiziert, wurden überprüft und alle einbezogenen Variablen erwiesen sich als signifikant, jedoch ergab diese Stratifizierung nur marginale Unterschiede bei den multiplen Korrelationskoeffizienten, so daß auf eine Darstellung stammhöhenbezogener multipler Regressionsmodelle hier verzichtet werden soll.

Tab. 39: Beziehungen (r) zwischen elastomechanischen Eigenschaften, Ästigkeit, Rohdichte und Jahrringbreite nach Beständen und Stammhöhen (alle Kanthölzer, alle Bestände)

Gesamt	n = 425				ADG (n = 77)				ABS (n = 87)				AWS (n = 117)				JEG (n = 63)				JWG (n = 81)			
	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$
$E_{stat}$	0,74		0,94		0,65		0,96		0,68		0,96		0,75		0,84		0,75		0,88		0,88		0,91	
$E_{dyn}$	0,73				0,68				0,67				0,70				0,70		0,78		0,78			
EAQ <sub>DIN</sub>	-0,52	-0,47	-0,32	-0,33	-0,32	-0,39	-0,41	-0,27	-0,54	-0,40	-0,34	-0,02*	-0,46	-0,39	-0,40	-0,30	-0,46	-0,39	-0,49	-0,49	-0,55	-0,49	-0,49	-0,22*
$\rho_{12}$	0,40	0,56	0,63		0,50	0,77	0,82		0,47	0,70	0,75		0,19	0,44	0,48		0,52	0,66	0,76		0,48	0,52	0,63	
JB	-0,26	-0,30	-0,30	-0,33	0,38	-0,49	-0,35	-0,45	-0,14*	-0,17*	-0,22	-0,15*	-0,06*	-0,11*	-0,11*	-0,28	-0,51	-0,40	-0,41	-0,38	-0,39	-0,39	-0,37	-0,30
(n = 191)																								
Stammhöhe I	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$
$E_{stat}$	0,71		0,93		0,60		0,93		0,73		0,96		0,75		0,96		0,75		0,82		0,84		0,76	
$E_{dyn}$	0,67				0,67				0,73				0,75				0,56				0,63			
EAQ <sub>DIN</sub>	-0,53	-0,55	-0,52	-0,14*	-0,34	-0,32*	-0,32*	-0,15*	-0,55	-0,47	-0,50	-0,42	-0,05*	-0,38	-0,30*	-0,28*	-0,44	-0,41	-0,41	-0,35	-0,44	-0,41	-0,35	0,10*
$\rho_{12}$	0,33	0,50	0,59		0,43	0,76	0,81		0,43	0,67	0,72		0,28	0,44	0,51		0,38	0,66	0,69		0,34	0,27*	0,53	
JB	-0,31	-0,37	-0,35	-0,32	-0,35	-0,53	-0,38	-0,31	-0,33	-0,44	-0,53	-0,47	-0,12*	-0,09*	-0,08*	-0,18*	-0,52	-0,25*	-0,38	-0,44	-0,28*	-0,19*	-0,11*	-0,12*
(n = 150)																								
Stammhöhe II	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$
$E_{stat}$	0,76		0,95		0,69		0,98		0,76		0,95		0,65		0,94		0,72		0,79		0,83		0,93	
$E_{dyn}$	0,74				0,67				0,82				0,67				0,58				0,71			
EAQ <sub>DIN</sub>	-0,41	-0,39	-0,39	-0,14*	-0,46	-0,65	-0,64	-0,69	-0,41	-0,38	-0,53	-0,33*	-0,52	-0,29*	-0,27*	0,09*	-0,13*	-0,12*	-0,03*	-0,07*	0,02*	0,17*	0,12*	0,22*
$\rho_{12}$	0,41	0,64	0,69		0,54	0,85	0,87		0,57	0,73	0,77		0,11*	0,55	0,49		0,28*	0,48	0,72		0,23*	0,44	0,52	
JB	-0,43	-0,45	-0,43	-0,44	-0,40	-0,44	-0,45	-0,38*	-0,35	-0,21*	-0,22*	-0,03*	-0,41	-0,47	-0,43	-0,42	-0,49	-0,40*	-0,43*	-0,23*	-0,40	-0,43	-0,47	-0,41
(n = 84)																								
Stammhöhe III	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$	$\sigma_B$	$E_{stat}$	$E_{dyn}$	$\rho_{12}$
$E_{stat}$	0,69		0,94		0,69		0,92		0,47		0,97		0,62		0,95		0,64		0,82		0,73		0,92	
$E_{dyn}$	0,72				0,79				0,41				0,53				0,78				0,73			
EAQ <sub>DIN</sub>	-0,24	-0,22	-0,18*	0,30	-0,24*	-0,29*	-0,30*	0,02*	-0,36*	0,13*	0,20*	0,31*	-0,28*	-0,23*	-0,13*	0,03*	0,23*	0,03*	0,15*	0,73	-0,15*	-0,14*	-0,30*	-0,23*
$\rho_{12}$	0,32	0,42	0,52		0,58	0,73	0,75		0,07*	0,74	0,80		0,02*	0,25*	0,36*		0,40*	0,41*	0,53*		0,22*	0,35*	0,36*	
JB	-0,24	-0,16*	-0,22	-0,42	-0,42	-0,63	-0,63	-0,45*	-0,32*	0,12*	0,11*	0,18*	0,29*	0,27*	0,15*	-0,49	-0,09*	-0,31*	-0,01*	0,12*	-0,35*	-0,53*	-0,46*	-0,04*

$\sigma_B$  = Biegefestigkeit  
 $E_{stat}$  = statischer Biege-E-Modul  
 $E_{dyn}$  = dynamischer Biege-E-Modul  
 $\rho_{12}$  = Rohdichte bei u = 12%  
EAQ<sub>DIN</sub> = größter Einzelastquotient nach DIN 4074  
JB = Jahrringbreite

\* Korrelation nicht signifikant auf dem 5 %-Niveau

Von herausragender Bedeutung zur Vorhersage der Biegefestigkeit in vorliegender Untersuchung sind die beiden Elastizitätsmoduln, die in allen Fällen die engsten Beziehungen zur Biegefestigkeit aufweisen. Diese Beziehungen streuen sowohl zwischen den Beständen als auch zwischen den Stammhöhen am geringsten. Wegen des vergleichsweise geringen Meßaufwandes wird in der weiteren Darstellung der Beziehung zwischen dynamischem Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit der Vorrang eingeräumt.

Es wurden zwei Regressionsmodelle aufgestellt. Das Modell A beinhaltet als einfacheres Modell Regressoren, die ohne besondere Meßapparatur erhoben werden können. Dazu gehören der größte Einzelastquotient, die Rohdichte und die Jahrringbreite. Daß die Rohdichte z. B. in einem kleineren Sägewerk nicht ohne weiteres bestimmt werden kann, muß hierbei in Kauf genommen werden.

In Modell B wurden als Einflußvariablen der dynamische E-Modul, der größte Einzelastquotient sowie die Jahrringbreite gewählt. Rohdichte und Juvenilholzanteil wurden zunächst ebenfalls einbezogen. Im schrittweisen multiplen Regressionsmodell erreichten beide Variablen jedoch nicht die Signifikanzschwelle und schieden somit aus. Hierbei wirken sich die Interkorrelationen zwischen dynamischem E-Modul, Rohdichte und Juvenilholzanteil aus.

Das mathematische Modell für die lineare Beziehung zwischen Regressand und Regressoren lautet:

$$y = a_0 + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 \dots b_k * x_k + e$$

- y = abhängige Variable (Regressand)
- a<sub>0</sub> = konstantes Glied
- b<sub>1</sub> - b<sub>k</sub> = unbekannte Regressionskoeffizienten
- x<sub>1</sub> - x<sub>k</sub> = unabhängige Variablen (Regressoren)
- k = Zahl der unabhängigen Variablen
- e = Residualgröße (Anteil nicht aufgeklärter Varianz)

Wechselwirkungen zwischen den unabhängigen Variablen x<sub>k</sub> können durch einen multiplikativen Ansatz einbezogen werden, wobei gilt:

$$y = f_1(x_1) * f_2(x_2) \dots f_k(x_k)$$

Die möglichen Wechselwirkungen wurden für beide Modelle überprüft, in keinem Fall konnte jedoch der multiple Korrelationskoeffizient erhöht werden, weshalb auf eine Darstellung verzichtet wurde.

Die Ergebnisse für beide Modelle sind in nachfolgender Tabelle 40 zusammengestellt sowie in den Abbildungen 43 und 44 graphisch aufgetragen.

Tab. 40: **Kenngößen der multiplen Regressionsanalyse für die Biegefestigkeit der Kanthölzer**

Regressoren	partielles	multiples	Betawert *	
	Bestimmtheitsmaß	Bestimmtheitsmaß	Korrelationskoeffizient %	
Modell A	EAQ <sub>DIN</sub>	0,269	0,269	24,24
	ρ <sub>12</sub>	0,104	0,373	10,69
	JB	0,024	0,397	4,80
				39,73
Modell B	E <sub>dyn</sub>	0,539	0,539	43,88
	EAQ <sub>DIN</sub>	0,039	0,578	12,11
	JB	0,007	0,585	2,47
				58,46

Die zugehörigen Regressionsgleichungen lauten:

Modell A  $\sigma_B = 32,0862 - 52,6586 \text{ EAQ}_{\text{DIN}} + 72,9554\rho_{12} - 1,9313 \text{ JB}$   
(Standardfehler 9,245 N/mm<sup>2</sup>)

Modell B  $\sigma_B = 15,2173 + 0,0033 \text{ E}_{\text{dyn}} - 26,3223 \text{ EAQ}_{\text{DIN}} - 0,9942 \text{ JB}$   
(Standardfehler 7,675 N/mm<sup>2</sup>)

Das Produkt aus Beta-Wert und partiellem Korrelationskoeffizienten ergibt das prozentuale Gewicht der einzelnen Regressoren im Regressionsmodell.

Im Modell A werden rd. 40 % der Varianz aufgeklärt, im Modell B dagegen fast 60 %.

In Modell A kommt dem größten Einzelastquotienten der höchste Erklärungsanteil mit rd. 25 % Anteil an aufgeklärter Streuung zu. Die Rohdichte erklärt immerhin gut 10 %, die Jahrringbreite dagegen nur noch 5 % der Streuung. Damit kommt dem Einzelastquotienten eindeutig die höchste Bedeutung bei Modell A zu. SAUTER (1992) fand ein Bestimmtheitsmaß für die multiple Regression von rund 0,6, wobei als Regressoren die Darrdichte, der Einzelastquotient in der Bruchzone und die Jahrringbreite fungierten.

Bestimmtheitsmaß

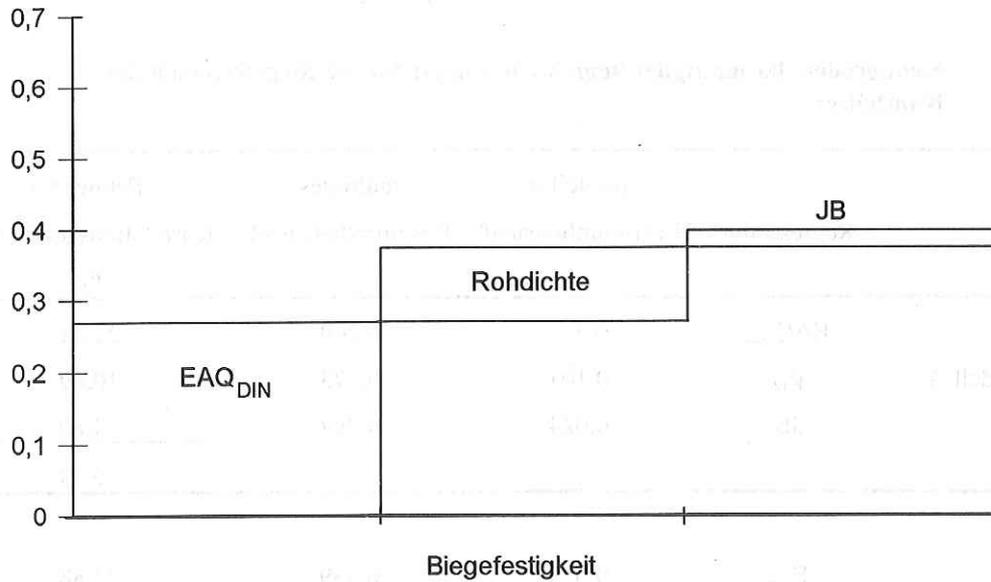


Abb.43: Partielle Bestimmtheitsmaße der signifikanten Variablen für die multiple Regression der Biegefestigkeit (Modell A;  $B = 0,397$ )

Bestimmtheitsmaß

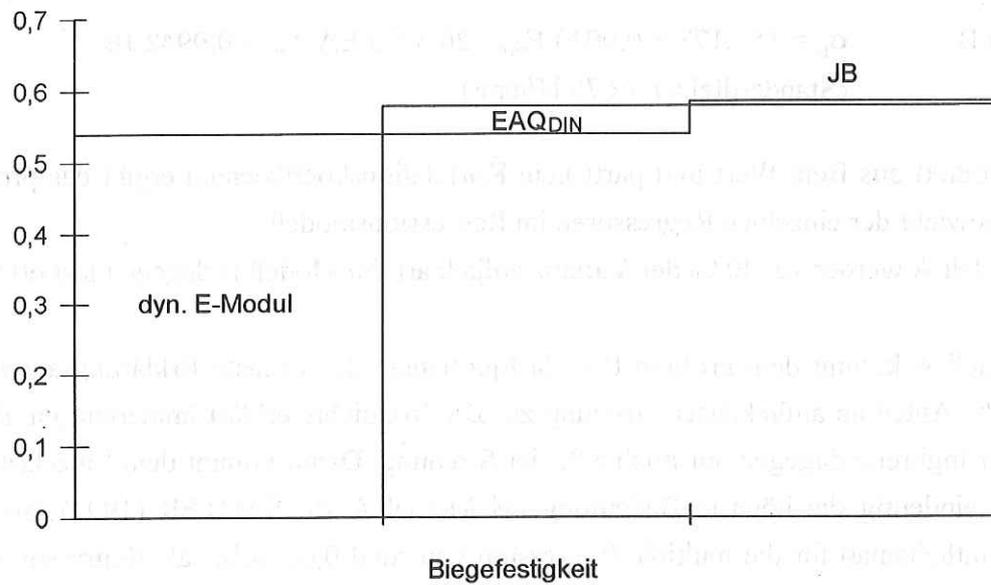


Abb.44: Partielle Bestimmtheitsmaße der signifikanten Variablen für die multiple Regression der Biegefestigkeit (Modell B;  $B = 0,585$ )

Sein höheres Bestimmtheitsmaß läßt sich insbesondere auf die höheren gefundenen Einzelkorrelationen zurückführen. Einmal mehr kommt bei der eigenen Untersuchung die schon bei den einfachen Regressionen beschriebene "restriction of range" zum Ausdruck. GROSS (1988) fand an Tanne ein Bestimmtheitsmaß von rund 0,5 für die Beziehungen zwischen Biegefestigkeit einerseits und den unabhängigen Variablen Einzelastquotient in der Bruchzone, Rohdichte und Jahrringbreite andererseits, wobei der Anteil des Einzelastquotienten mit vorliegender Untersuchung gut übereinstimmt, jedoch Rohdichte und Jahrringbreite bei GROSS jeweils um 5 % höhere Erklärungsanteile erbrachten. Die Güte der Beziehung nach Modell A liegt im für experimentelle Untersuchungen von Schnittholz in Gebrauchsabmessungen zu erwartenden Bereich.

In Modell B wirkt sich die hohe einfache Korrelation von Biegefestigkeit und dynamischem E-Modul aus, so daß immerhin annähernd 60 % der Gesamtstreuung aufgeklärt werden. Der Erklärungsanteil des dynamischen E-Moduls erreicht davon 44 %, der des Einzelastquotienten sinkt gegenüber Modell A auf 12 % und der der Jahrringbreite ist mit rd. 2,5 % noch geringer. SAUTER (1992) konnte an Douglasien-Kanthölzern 8 x 16 cm ein multiples Bestimmtheitsmaß von 0,69 (Biegefestigkeit =  $f(E_{\text{dyn}}, EAQ_{\text{DIN}}$  und Darrdichte)) nachweisen, wobei der Darrdichte kein signifikanter Einfluß zukam. GROSS (1988) fand an Tanne ein multiples Bestimmtheitsmaß von 0,62 zur Vorhersage der Biegefestigkeit in Abhängigkeit von statischem E-Modul und größtem Einzelastquotienten, wobei dessen Erklärungsanteile (E-Modul = 45,2 %,  $EAQ_{\text{DIN}}$  = 16,5 %) gut mit den eigenen übereinstimmen. GLOS (1988) gibt bei Fichte für die Beziehung Biegefestigkeit-Elastizitätsmodul einen multiplen Korrelationskoeffizienten von 0,8 an, was einem Bestimmtheitsmaß von 0,64 entspricht, der durch den Einzelastquotienten auf ca. 0,85 (bzw.  $B = 0,72$ ) zu steigern war, wobei Dichte und Jahrringbreite keinen signifikanten Einfluß mehr ausüben.

Damit ist festzustellen, daß das Regressionsmodell B, das eindeutig durch den dynamischen E-Modul geprägt ist, ziemlich gut mit den Ergebnissen multipler Regressionsmodelle anderer Autoren vergleichbar ist. Regressionsmodelle mit visuell relativ einfach erfaßbaren Parametern wie z. B. Ästigkeit und Jahrringbreite lassen dagegen nur begrenzte Schlüsse auf die Biegefestigkeit von Kanthölzern zu, was sowohl in niedrigen Bestimmtheitsmaßen der Modelle als auch - praxisrelevant - in der Qualität der visuellen Sortierung zum Ausdruck kommt. Die herausragende Bedeutung des Elastizitätsmoduls zur Vorhersage der Festigkeit zeigt sich durch eine wesentliche Steigerung des multiplen Bestimmtheitsmaßes, das durch die Hinzunahme der Ästigkeit noch gesteigert werden kann. Der Rohdichte kommt in diesem Modell kein signifikanter Einfluß mehr zu, während die Jahrringbreite zwar einen noch signifikanten, aber nur geringen Erklärungsbei-

trag leistet. In Kapitel 5.3.5 werden die Möglichkeiten einer Sortierung mittels der beiden Elastizitätsmoduln aufgezeigt.

### **5.3.5 Konsequenzen für eine der Douglasie angepaßte Sortierung**

Wie schon in Kapitel 5.3.3 zum Ausdruck kam, weisen die Douglasien-Kanthölzer - visuell sortiert nach DIN 4074 - sortierklassenbezogen erhebliche Festigkeitsreserven auf. Dominierender Sortierfaktor ist der Durchmesser des größten Einzelasts in Bezug zur jeweiligen Querschnittsfläche, was in 418 von 425 Fällen die Schmalseite war. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von GLOS et al. (1988) und SAUTER (1992). Da die Sortierregeln der DIN 4074 vorwiegend anhand von Schnittholzuntersuchungen an Fichte erstellt wurden, war zu prüfen, ob für die Baumart Douglasie das Sortierergebnis durch eine Modifikation der visuellen Sortierung bzw. durch eine maschinelle Sortierung zu verbessern ist. Dabei wurde ein globaler Sicherheitsfaktor von 2,5 auf die Mindestfestigkeiten nach DIN 1052 berücksichtigt.

#### **5.3.5.1 Vorschlag für eine modifizierte visuelle Sortierung nach DIN 4074**

Die Ästigkeit ist gerade für die zu Starkästigkeit neigende Douglasie der sortierrelevanteste Faktor, weshalb sich dieser Vorschlag für eine Modifizierung ausschließlich auf die Ästigkeit bezieht. Dabei wurden die Sortierklassengrenzwerte für den zulässigen Einzelastquotienten linear für alle Sortierklassen zunächst gutachtlich um den Betrag 0,1 erhöht ( $S 7 = 0,7$ ;  $S 10 = 0,5$ ;  $S 13 = 0,3$ ) und geprüft, ob dadurch ein besseres Sortierergebnis erzielt werden kann.

Die deskriptive Statistik für die gültige und diese modifizierte visuelle Sortierung ist in nachfolgender Tabelle 41 dargestellt.

Wie zu erwarten war, sinken sämtliche Mittelwerte und 5 %-Fraktilwerte gegenüber der Sortierung nach der gültigen DIN 4074 ab. Die Streuungen verhalten sich uneinheitlich. Die Ausbeute erhöht sich beträchtlich, ohne daß gravierende Einbußen an Festigkeitsreserven zu verzeichnen sind. Die auf die 5 %-Fraktile bezogenen Sicherheitsbeiwerte unterschreiten die 250 %-Marke in keinem Fall. Aussortiert werden nur noch zwei Kanthölzer, deren elastomechanische Eigenschaften jedoch erstaunlich gut sind.

Tab. 41: **Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierklassen - Vergleich der gültigen und einer modifizierten DIN 4074 - (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm<sup>2</sup>]**

DIN 4074												
Kenngröße	S 13 (n = 17)			S 10 (n = 240)			S 7 (n = 158)			Aussortiert (n = 10)		
	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s
Biegefestigkeit	59,0	40,5	10,5	46,6	29,2	11,0	39,4	23,3	10,6	30,4	18,8	8,3
stat. Biege-E-Modul	12 244	10 026	1288	10 998	8 512	1 559	10 045	7 816	1 436	8 937	6 177	1 709
dyn.-Biege-E-Modul	14 648	11 700	1 571	13 110	9 913	2 099	11 848	9 158	1 765	10 889	8 305	1 865
modifizierte DIN 4074												
Kenngröße	S 13 (n = 95)			S 10 (n = 262)			S 7 (n = 66)			Aussortiert (n = 2)		
	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s
Biegefestigkeit	53,9	34,9	10,4	41,8	26,1	10,4	39,0	22,1	11,8	39,0	37,5	2,1
stat. Biege-E-Modul	11 892	9 256	1 523	10 415	8 112	1 428	9 767	7 730	1 538	10 555	10 438	166
dyn.-Biege-E-Modul	14 294	10 808	2 140	12 319	9 461	1 790	11 607	9 025	1 919	12 446	11 820	885

In Tabelle 42 wird die Treffsicherheit bezüglich der tatsächlichen Biegefestigkeit zwischen gültiger und modifizierter DIN 4074 verglichen. Auch hierbei wird ein globaler Sicherheitsfaktor von 2,5 unterstellt.

Tab. 42: **Vergleich von Sortierqualität und Ausbeute bei gültiger und modifizierter Sortierung nach DIN 4074**

Sortierklasse	Anzahl Kanthölzer		Fehlsortiert	
	DIN (%)	DIN mod. (%)	DIN	DIN mod.
S 13	17 (4)	95 (22)	-	2
S 10	240 (57)	262 (62)	4	11
S 7	158 (37)	66 (16)	1	1
Aussortiert	10 (2)	2 (-)	10	2
$\Sigma$	425 (100)	425 (100)	15 (4 %)	15 (4 %)

Nach modifizierter Sortierung steigt die Ausbeute beträchtlich. Über 80 % der Kanthölzer fallen in die beiden höchsten Sortierklassen. Nur noch 16 % der Kanthölzer entsprechen der Sortierklasse S 7 und lediglich zwei Kanthölzer müssen aussortiert werden, obwohl deren Biegefestigkeit sogar den Anforderungen von S 13 genügen würde.

Die Anzahl der fehlerhaft einsortierten Kanthölzer verändert sich nach modifizierter Sortierweise insgesamt um ein Kantholz. Fehlerhaft einsortiert bedeutet, daß einerseits bei 14 Kanthölzern die geforderten Mindestfestigkeiten der jeweiligen Sortierklassen

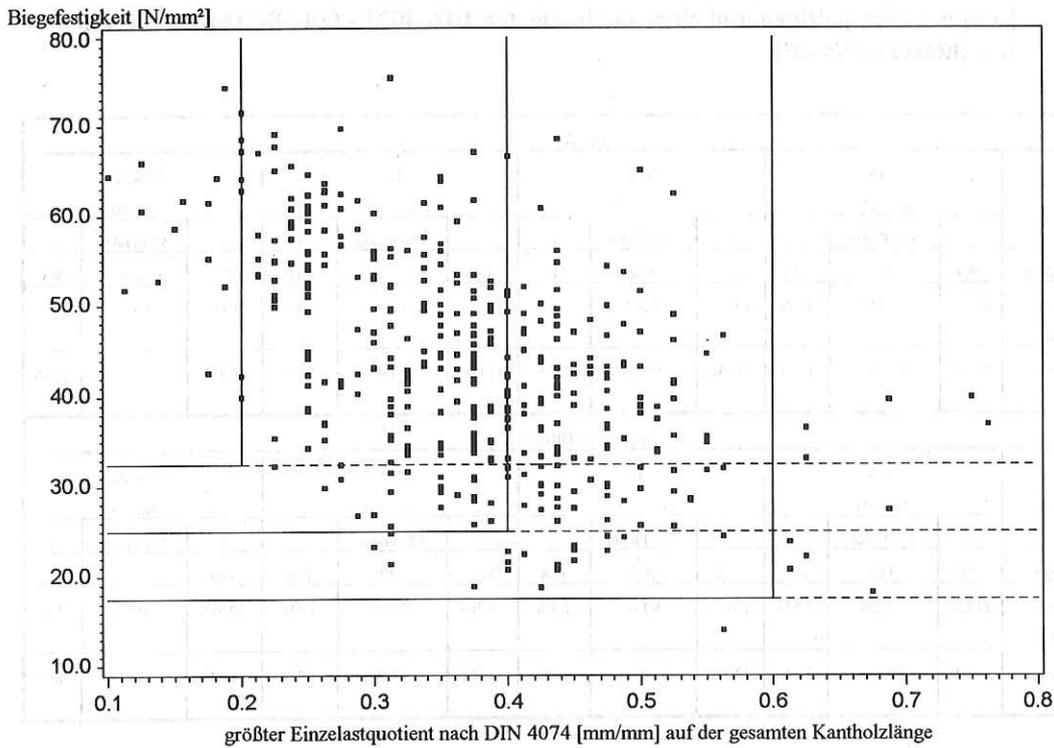


Abb. 45: **Sortierqualität bei Anwendung des Sortierparameters größter Einzelastquotient nach DIN 4074 bei Douglasien-Kanthölzern (8x16 cm)**

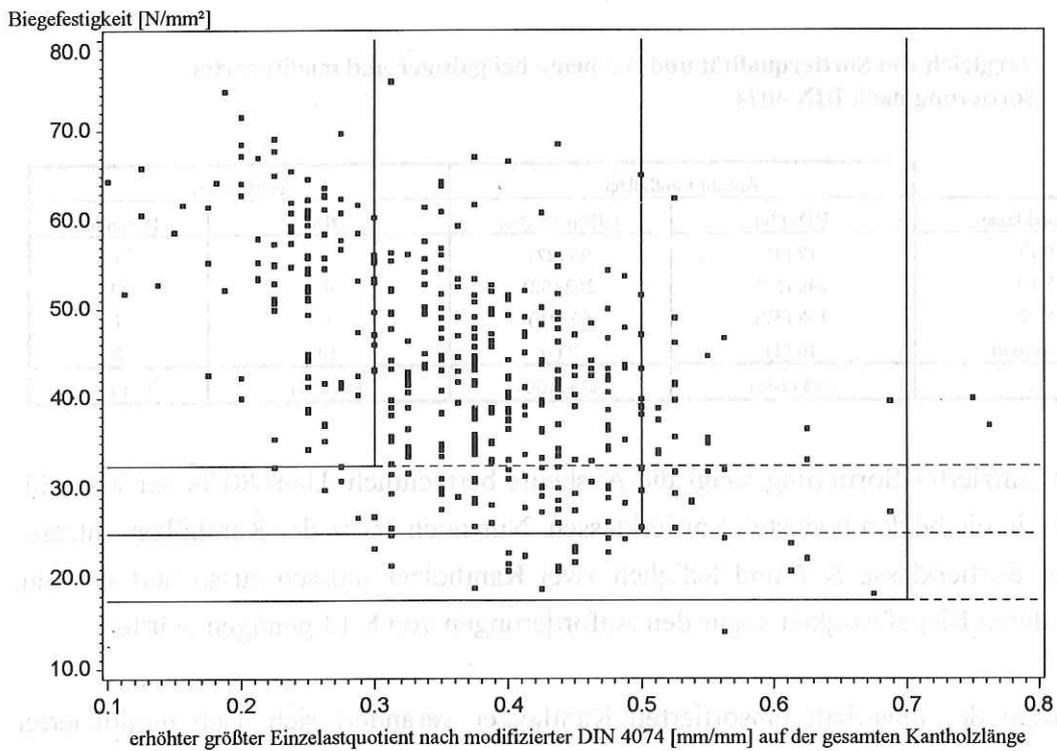


Abb. 46: **Sortierqualität bei Anwendung des Sortierparameters erhöhter größter Einzelastquotient nach modifizierter DIN 4074 bei Douglasien-Kanthölzern (8x16 cm)**

unterschritten werden und andererseits zwei Kanthölzer aussortiert werden, welche zwar die Festigkeitsbedingungen erfüllen, aber den zulässigen Astquotienten überschreiten. Die Zunahme des Anteils der Kanthölzer, welche die geforderten Mindestfestigkeiten unterschreiten, von 1 % (DIN) auf 3 % (DIN mod.) erscheint angesichts der Ausbeute-steigerung akzeptabel, insbesondere wenn man bedenkt, daß andere Autoren einen globalen Sicherheitsfaktor von 2,0 (GLOS et al., 1988) bzw. auf die 5 %-Fraktile bezogene Sicherheitsbeiwerte von 2,25 (MARCHAND, 1987) verwenden bzw. empfehlen. In den Abbildungen 45 und 46 ist die Qualität beider Sortiervarianten nochmals graphisch dargestellt. Anzumerken ist, daß hierbei der größte Einzelastquotient auf der gesamten Kanthölzlänge verwendet wird. Dies entspricht sowohl der DIN und erscheint zugleich auch praxisnäher als die Beschränkung auf eine gutachtlich festgelegte Bruchzone.

Abschließend bleibt festzuhalten, daß sich die visuelle Sortierqualität zumindest für die untersuchten 425 Kanthölzer durch die Erhöhung der maximal zulässigen Einzelastquotienten um 0,1 hinsichtlich der Sicherheit nur marginal verschlechtert, ausbeuteseitig jedoch wesentlich verbessert. Da die anderen Sortierparameter in vorliegender Untersuchung nur von untergeordneter Bedeutung sind, werden für sie keine Modifikationen vorgeschlagen.

### 5.3.5.2 Vorschläge für eine maschinelle Sortierung mittels der Biege-Elastizitätsmoduln

Bei Annahme einer absolut korrekten maschinellen Sortierung nach DIN 4074/I in Verbindung mit DIN 4074 Teil III und IV sowie einem globalen Sicherheitsfaktor von 2,5 ergäbe sich ein an der Biegefestigkeit ausgerichtetes "theoretisches" Sortierergebnis, das in Tabelle 43 zusammengestellt ist.

Tab. 43: **Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach simulierter maschineller Sortierung gemäß DIN 4074 (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm<sup>2</sup>]**

Kenngröße	MS 17 (n = 239)			MS 13 (n = 113)			MS 10 (n = 53)			MS 7 (n = 19)		
	$\bar{x}$	5 %- Fraktil	s	$\bar{x}$	5 %- Fraktil	s	$\bar{x}$	5 %- Fraktil	s	$\bar{x}$	5 %- Fraktil	s
Biegefestigkeit	52,5	42,4	7,9	37,2	32,9	2,7	29,3	25,3	2,1	22,2	18,8	1,7
stat. E-Modul	11 434	9 098	1 447	10 063	8 404	1 108	9 198	7 546	1 024	8 315	6 177	1 125
dyn.E-Modul	13 683	10 760	1 896	11 782	9 461	1 400	10 881	8 792	1 412	9 884	8 260	1 247

Die Ausbeute in den beiden höchsten Sortierklassen beliefe sich auf knapp 80 %. Lediglich ein Kantholz mit einer Biegefestigkeit von 14,6 N/mm<sup>2</sup> müßte aussortiert werden. Ganz deutlich ist die Abnahme der Streuungen gegenüber den beiden visuellen Sortiervarianten (vgl. Tab. 41).

An dieser theoretischen Sortierung werden nun zwei maschinelle Sortierverfahren gemessen, die von praktischer Relevanz sein können. Zum einen wird eine Sortiersimulation über den statischen Biege-E-Modul durchgeführt. Auf dem Kraft-Durchbiegungs-Prinzip beruhen die meisten vorhandenen Sortiermaschinen. Zum anderen wird eine Sortierung mittels des dynamischen E-Moduls nach dem Eigenfrequenzprinzip simuliert, wofür GÖRLACHER (1990) die Randbedingungen für eine Sortiermaschine zur Anwendung in der Holzindustrie formulierte. Für wissenschaftliche Zwecke genügt allerdings die Meßapparatur, wie sie in Kapitel 4.3.3.4 beschrieben ist. Beide E-Moduln weisen in vorliegender Untersuchung die höchsten, annähernd gleichen Korrelationskoeffizienten mit der Biegefestigkeit auf und erscheinen auch deshalb für eine maschinelle Sortierung besonders geeignet. Die Sortierklassengrenzen wurden für beide E-Modul-Sortiervarianten iterativ mit konstanten Abständen festgelegt. Die Sortierklassenbezeichnungen wurden im Anhalt an DIN 4074 gewählt.

Tab. 44: **Biegefestigkeiten der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierung mittels Biege-E-Modul (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm<sup>2</sup>]**

statischer E-Modul	MS 17 (n = 35) stat. E-Mod. > 13 000			MS 13 (n = 133) stat. E-Mod. 13 000 - 11 000			MS 10 (n = 189) stat. E-Mod. 11 000 - 9 000			MS 7 (n = 68) stat. E-Mod. < 9 000		
	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s
	59,6	45,4	7,1	52,4	36,3	9,2	39,8	26,2	7,7	31,8	19,4	8,2
dynamischer E-Modul	MS 17 (n = 26) dyn. E-Mod. > 16 000			MS 13 (n = 148) dyn. E-Mod. 16 000 - 13 000			MS 10 (n = 212) dyn. E-Mod. 13 000 - 10 000			MS 7 (n = 39) dyn. E-Mod. < 10 000		
	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s	$\bar{x}$	5 %-Fraktile	s
	59,3	45,4	6,9	51,2	35,4	10,1	39,3	25,3	8,2	30,3	19,3	7,4

Der Vergleich beider Sortiervarianten in Tabelle 44 zeigt, daß sich für beide Fälle alle drei statistischen Maßzahlen in allen Sortierklassen jeweils kaum unterscheiden, wobei die Mittelwerte bei Sortierung nach dynamischem E-Modul konstant minimal tiefer liegen. Die Streuungen sinken gegenüber den visuellen Sortierverfahren (vgl. Tab. 41). Die Ausbeute in den beiden höchsten Sortierklassen liegt bei Sortierung mittels dynamischem E-Modul etwas höher. Die Unterschiede sind in der niedrigsten Sortierklasse am höchsten. Offenbar ist die Sensitivität des statischen E-Moduls gegenüber Strukturstörungen (z.B. Äste) geringer als beim dynamischen E-Modul, der gemessen am theore-

tisch möglichen Sortiererergebnis (vgl. Tab. 43) wesentlich wirklichkeitsgetreuer Ergebnisse und damit höhere Ausbeuten zumindest bei der niedrigsten Sortierklasse MS 7 ermöglicht. In der Tendenz werden diese Aussagen durch Untersuchungen von SAMSON und BLANCHET (1992) an Fichtenschnittholz bestätigt. Diese stellten fest, daß die geringe Empfindlichkeit gegenüber Ästen bei herkömmlichen MSR-Anlagen, die auf dem statischen Biege-E-Modul basieren, teilweise für die nur mäßigen Korrelationen zwischen Biegefestigkeit und Steifigkeit verantwortlich ist, die wiederum Grundlage der maschinellen Sortierung sind. Die auf die 5 %-Fraktile bezogenen Sicherheitsbeiwerte liegen im Mittel bei Sortierung mittels statischem E-Modul bei 271 %, beim dynamischen E-Modul bei 267 %.

Zur Beurteilung der Sortierqualität beider maschineller Sortiervarianten dient Tabelle 45. Um die Vergleichbarkeit mit den bisher diskutierten Sortiervarianten zu gewährleisten, wurde der globale Sicherheitsfaktor von 2,5 beibehalten.

Tab. 45: **Vergleich von Sortierqualität und Ausbeute bei maschineller Sortierung mittels statischem bzw. dynamischem E-Modul**

Sortierklasse	Anzahl Kanthölzer		Fehlsortiert	
	stat. E-Mod. (%)	dyn. E-Mod. (%)	stat. E-Mod. (%)	dyn. E-Mod. (%)
MS 17	35 (8)	26 (6)	1	-
MS 13	133 (31)	148 (35)	1	4
MS 10	189 (45)	212 (50)	5	9
MS 7	68 (16)	39 (9)	1	-
Σ	425 (100)	425 (100)	8 (1,9)	13 (3,0)

Die Ausbeute ist bei der Sortierung mittels dynamischem Biege-E-Modul etwas günstiger, wobei eine geringfügig höhere Fehlsortierungsquote in Kauf genommen werden muß. Die Fehlsortierungsquote wäre möglicherweise noch unwesentlich zu senken, hätte man bei beiden Sortiervarianten für die Klasse MS 7 einen unteren Sortierklassengrenzwert definiert. Beide maschinelle Sortiervarianten steigern die Ausbeute gegenüber den beiden visuellen Sortierverfahren beträchtlich bei eindeutig geringeren Fehlsortierquoten, ohne allerdings die eingangs dieses Kapitels beschriebene maximal mögliche Ausbeute (vgl. Tab. 43) zu erreichen. Dies war bei den gegebenen Korrelationen zwischen den E-Moduln und der Biegefestigkeit jedoch nicht anders zu erwarten.

Zur graphischen Darstellung der beiden Sortierungsvarianten, die auf dem Biege-E-Modul beruhen, dienen die Abbildungen 47 und 48.

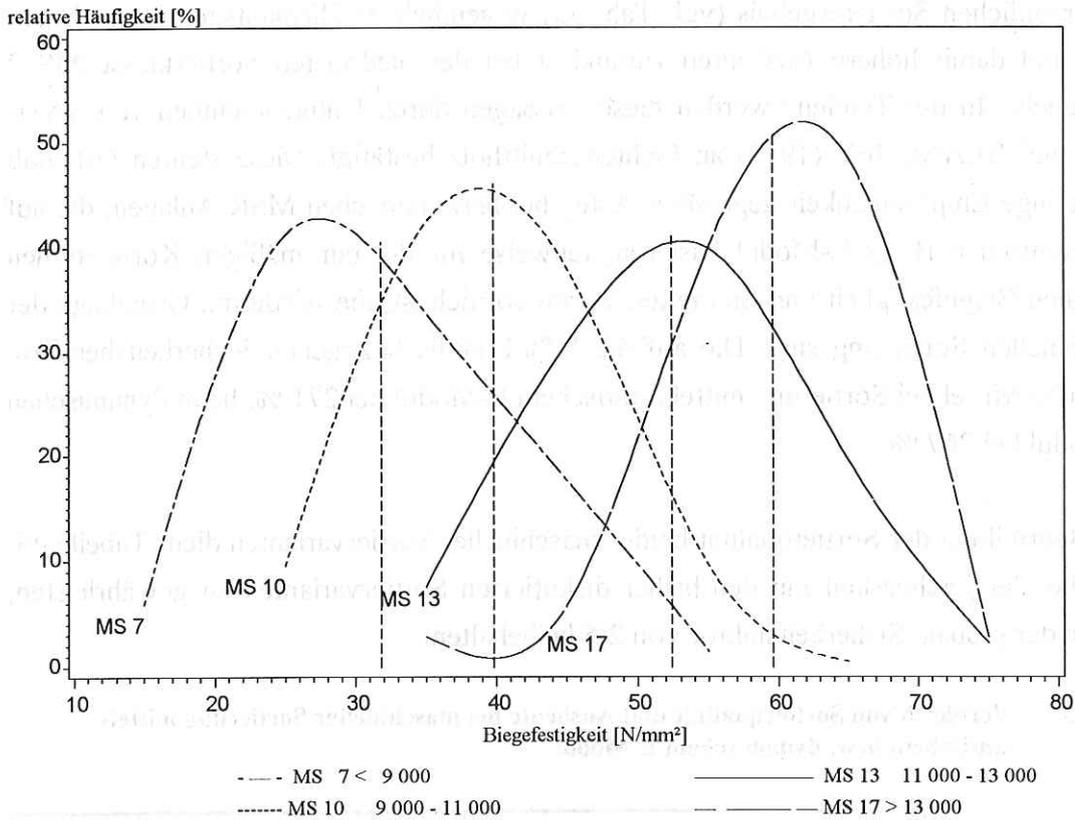


Abb. 47: Festigkeitsklassen einer Sortiersimulation mittels statischem E-Modul [N/mm<sup>2</sup>]

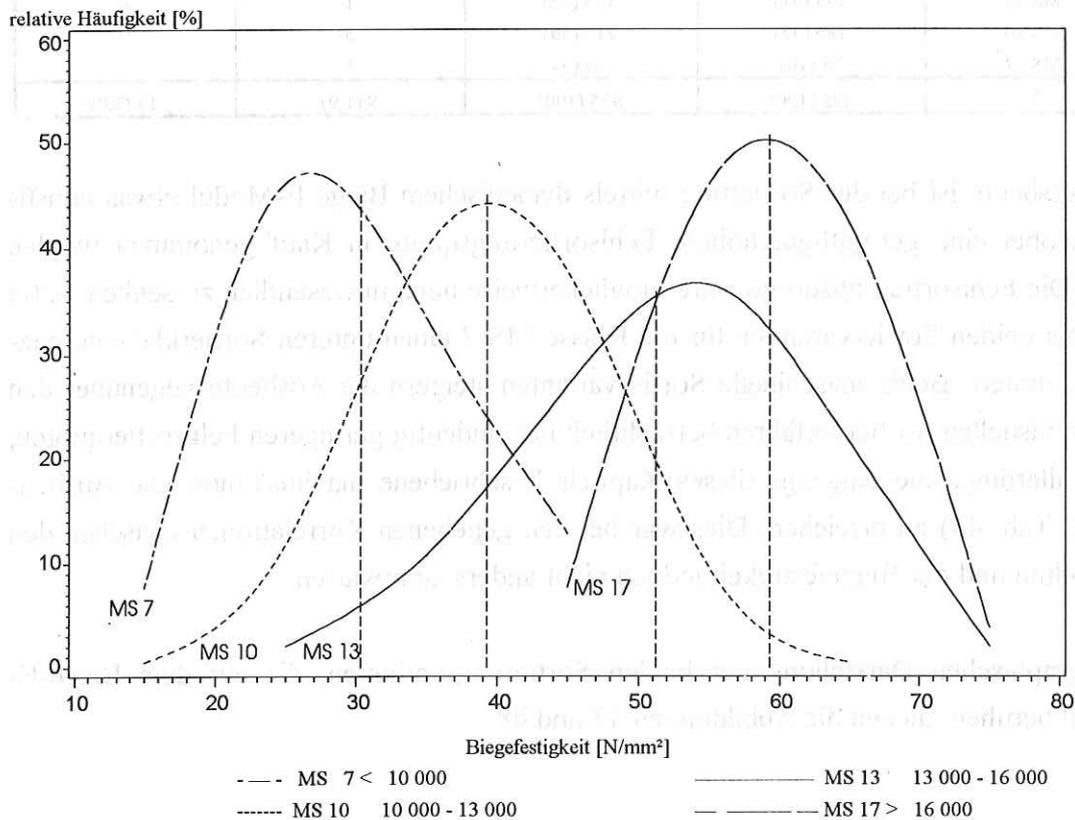


Abb. 48: Festigkeitsklassen einer Sortiersimulation mittels dynamischem E-Modul [N/mm<sup>2</sup>]

Die senkrechten gestrichelten Linien in den Graphiken kennzeichnen die jeweiligen Mittelwerte der Sortierklassen. Die Verteilungskurven der jeweiligen Sortierklassen sind über Biegefestigkeitsklassen in 10 N/mm<sup>2</sup>-Stufen dargestellt. Die Sortierung mittels statischem E-Modul ergibt geringere Überlappungsbereiche auf den linksseitigen Verteilungsästen bei den drei niedrigeren Sortierklassen, während die Sortierung über den dynamischen E-Modul geringfügig niedrigere Überlappungszonen auf den rechtsseitigen Verteilungsästen - d. h. im oberen Spektrum der Biegefestigkeit in den Sortierklassen - aufweist.

Abschließend ist festzuhalten, daß die maschinelle Sortierung mittels beider E-Moduln erhebliche Ausbeutesteigerungen bei gleichzeitig geringeren Fehlsortierungsquoten gegenüber der visuellen Sortierung ermöglicht, wobei lediglich ein Sortierkriterium benötigt wird. Damit sind die Bestrebungen um eine Ausweitung der maschinellen Sortierung zweifelsfrei gerechtfertigt.

Zum Vergleich der beiden maschinellen mit den beiden visuellen Sortierungsvarianten dienen die Abbildungen 49 und 50. Abbildung 49 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Sortierklassen nach gültiger DIN 4074, Abbildung 50 diejenige nach modifizierter DIN 4074. Die Überlappungsbereiche auf den rechtsseitigen Verteilungsästen unterscheiden sich bei den visuellen Sortierungsvarianten nicht. Auf den linksseitigen Verteilungsästen gibt es bei den Sortierklassen S 7 und S 10 ebenfalls keine Unterschiede in den Überlappungszonen. Bei Sortierklasse S 13 der modifizierten DIN 4074 wird die Überlappungszone gegenüber der gültigen DIN 4074 nach unten ausgeweitet, was als ein Verlust an Trennschärfe zu werten ist. Angesichts der enormen Ausbeutesteigerung bei modifizierter DIN 4074 bei gleichzeitig minimalem Anstieg der Fehlsortierungsquote erscheint der Trennschärfeverlust tolerierbar. Die Biegefestigkeitsmittelwerte der Sortierklassen nach modifizierter DIN 4074 werden insgesamt etwas nach unten verschoben, wobei der Mittelwert von Sortierklasse S 10 dem der Sortierklasse S 7 sehr nahe kommt, was ebenfalls als Trennschärfeverlust zu werten ist.

Ganz klar wird nochmals, daß die Trennschärfen der beiden maschinellen Sortierungsvarianten von beiden visuellen Sortierungsvarianten nicht erreicht werden und auch nicht erreicht werden können, beruhen doch die visuellen Sortierungsvarianten beide ganz überwiegend auf der vergleichsweise weniger straffen Beziehung zwischen größtem Einzelastquotienten und Biegefestigkeit (vgl. Tab. 39), während sich die beiden maschinellen Sortierungsvarianten auf die wesentlich engere Beziehung zwischen Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit stützen.

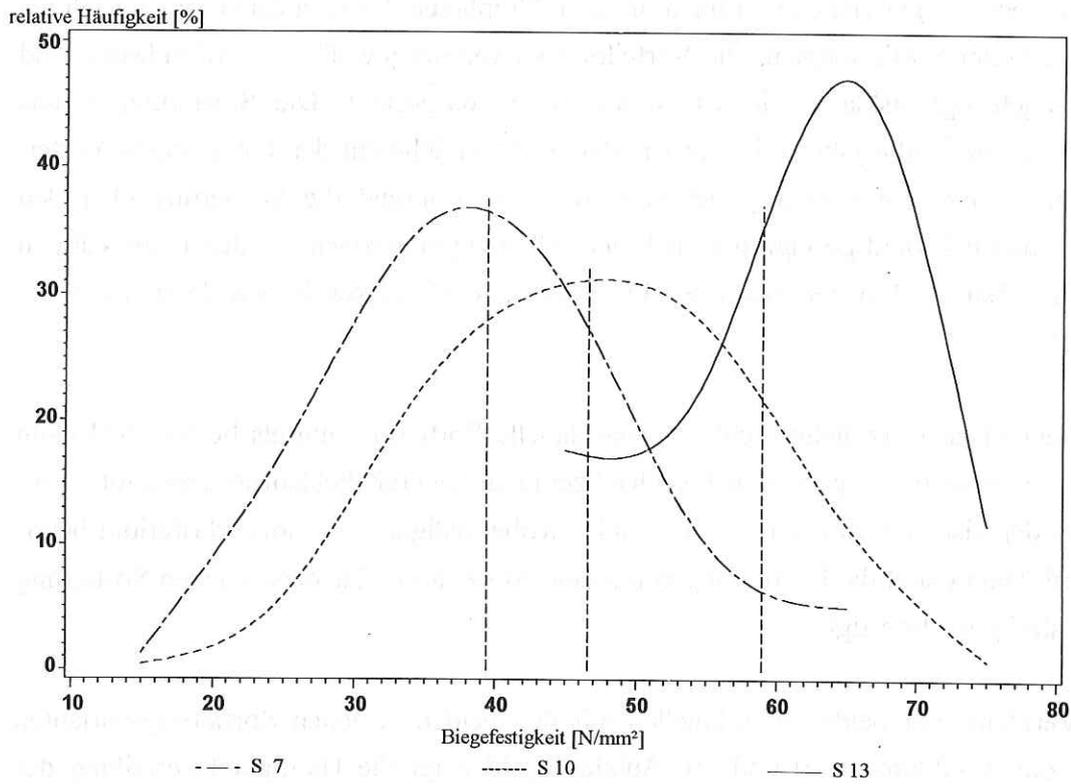


Abb. 49: Häufigkeitsverteilung der Sortierklassen nach DIN 4074

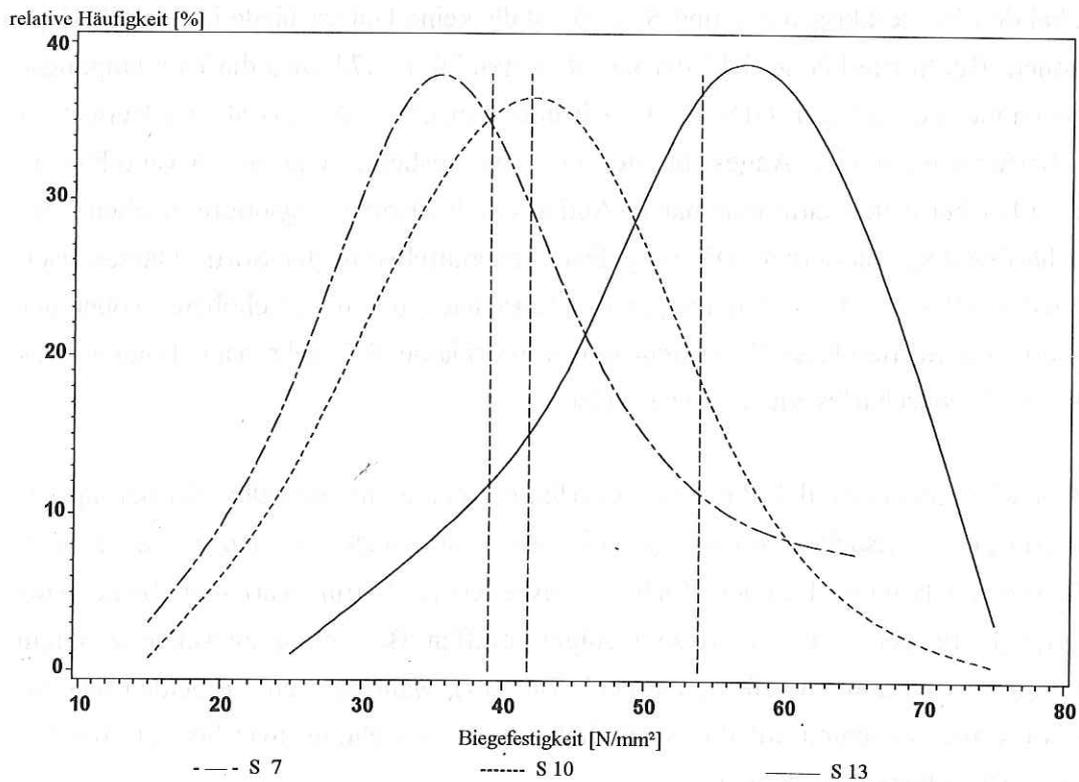


Abb. 50: Häufigkeitsverteilung der Sortierklassen nach modifizierter DIN 4074

Um die Unterschiede hinsichtlich der Schnittholzqualität zwischen den Beständen nochmals klar aufzuzeigen, sind die prozentualen Sortiererergebnisse der beiden visuellen Sortiervarianten in Tabelle 46 einander gegenübergestellt. Dem gleichen Zweck dient Tabelle 47, wo die prozentualen Sortiererergebnisse nach tatsächlicher Biegefestigkeit und nach maschineller Sortierung mittels der Biege-Elastizitätsmoduln ebenfalls bestandesweise verglichen werden.

Tab. 46: **Sortiererergebnis nach gültiger und modifizierter DIN 4074 im bestandesweisen Vergleich [%]**

Bestand	DIN 4074				mod. DIN 4074			
	S 13	S 10	S 7	aussortiert	S 13	S 10	S 7	aussortiert
AEG	1	70	28	1	27	65	7	1
AES	2	65	31	2	24	64	12	-
AWS	1	40	54	5	9	65	26	-
JEG	6	63	29	2	35	49	14	2
JWG	11	53	36	-	26	60	14	-

Nach gültiger DIN 4074 fällt Bestand AWS mit nur 41 % der Kanthölzer in den beiden höchsten Sortierklassen und dem höchsten Anteil aussortierter Kanthölzer deutlich negativ aus dem Rahmen. Bei Bestand JWG wirken sich die Ästungsmaßnahmen aus, so daß er den höchsten Anteil in Sortierklasse S 13 hat. Die beiden höchsten Sortierklassen zusammengenommen schneidet aber auch Bestand JWG schlechter ab als die drei eng begründeten Bestände AEG, AES und JEG.

Nach modifizierter DIN 4074 (erhöhter zulässiger Einzelastquotient) steigert sich die Ausbeute in den beiden höchsten Sortierklassen bei allen Beständen außer AWS auf über 80 %. Der Vorsprung von Bestand JWG bei Sortierklasse S 13 nach gültiger DIN 4074 wird von den drei eng begründeten Beständen ausgeglichen bzw. bei Bestand JEG sogar übertroffen, was auf den Dichtstand zurückzuführen sein dürfte.

Die anhand der visuellen Sortierungsvarianten gefundenen Unterschiede kommen bei der maschinellen Sortierung aufgrund der besseren Trennschärfe noch ausgeprägter zum Tragen (vgl. Tab. 47). Während aus den drei eng begründeten Beständen durchweg zwischen 46 und 62 % der Kanthölzer in die beiden höchsten Sortierklassen MS 17 und MS 13 fallen, liegt dieser Anteil bei Bestand JWG noch bei rd. 40 %, bei Bestand AWS dagegen nur noch bei 11 bzw. 17 %. In der Konsequenz weisen beide Weitbestände auch die höchsten Anteile an der niedrigsten Sortierklasse MS 7 auf.

Tab. 47: **Sortierergebnis nach tatsächlicher Biegefestigkeit und nach maschineller Sortierung mittels der E-Moduln im bestandesweisen Vergleich [%]**

Bestand	tatsächliche Biegefestigkeit				stat. Biege-E-Modul				dyn. Biege-E-Modul			
	MS 17	MS 13	MS 10	MS 7	MS 17	MS 13	MS 10	MS 7	MS 17	MS 13	MS 10	MS 7
AEG	61	26	10	3	18	44	35	3	9	51	39	1
AES	70	25	4	1	10	36	47	7	10	39	49	2
AWS	41	29	22	8	1	10	52	37	-	17	61	22
JEG	65	22	11	2	10	44	41	5	13	46	41	-
JWG	52	28	12	8	6	35	42	17	4	32	52	12

Im linken Drittel der Tabelle 47 ist zum Vergleich das Sortierergebnis nach der tatsächlichen Biegefestigkeit dargestellt. Auch diese optimale, wenn auch nur theoretisch mögliche Sortiervariante unterstreicht die gefundenen Unterschiede zwischen den Beständen in abgeschwächter Form auf höherem Niveau.

Damit ist der Schluß zu ziehen, daß die Schnittholzqualität von Durchforstungsmaterial aus rheinland-pfälzischen Douglasienbeständen ganz wesentlich vom Standraum geprägt ist. Alter und Standortverhältnisse wirken sich nicht entscheidend aus. Die Schnittholzqualität von Bestand JWG (4 x 4 m Verband) erscheint aufgrund der vielfältigen Vorteile weiterer Standraumgestaltung noch akzeptabel. Werden jedoch extreme Pflanzverbände wie bei Bestand AWS gewählt, müssen beim daraus erzeugten Schnittholz empfindliche Qualitätseinbußen in Kauf genommen werden.

### 5.3.6 Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften von Kanthölzern und fehlerfreien Kleinproben

GROSS (1988) und RIEBEL (1993) wiesen in ihren Untersuchungen an Weißtanne bzw. Großer Küstentanne nach, daß von den elastomechanischen Eigenschaften kleiner, fehlerfreier Normproben keineswegs direkt auf die Ausprägung dieser Eigenschaften bei Großproben geschlossen werden kann. Gleiches fanden bereits MARCHAND (1982) und GLOS (1983) bei Fichte. In Kenntnis dieser Zusammenhänge wurde in der eigenen Untersuchung auf die Prüfung fehlerfreier Normproben, die Versuchsumfang und -aufwand beträchtlich ausgeweitet hätte, verzichtet. Auch SAUTER (1992) untersuchte ausschließlich Douglasien-Schnittholz in Gebrauchsdimensionen.

Um dennoch Aussagen über die Größenordnung des Zusammenhangs zwischen den Festigkeitswerten von Groß- und Kleinproben machen zu können, wird auf die diesbe-

züglichen Ergebnisse von MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) zurückgegriffen. Diese Autoren untersuchten mehrere Kantholzquerschnitte aus acht südwestdeutschen Douglasienstämmen, von denen die Dimension 14 x 20 cm bezüglich des Einschnittmusters am ehesten mit den eigenen Kanthölzern der Abmessungen 8 x 16 cm vergleichbar erscheint. Auch die Mittelwerte der Biegefestigkeit in den einzelnen Güte- bzw. Sortierklassen stimmen verhältnismäßig gut überein (vgl. Tab. 35). Aus den Kanthölzern formten MÖHLER und BEYERSDORFER auch Kleinproben aus, so daß ein unmittelbarer Bezug zwischen beiden herzustellen war. Für den Querschnitt 14 x 20 cm ergaben sich Werte des statischen Biege-Elastizitätsmoduls, die in den beiden höheren Güteklassen sogar geringfügig über den Werten der Normproben lagen. In Güteklasse III lag der E-Modul der Kanthölzer geringfügig unter dem der Normproben. Insgesamt erreichte der mittlere Biege-E-Modul aller geprüften Kanthölzer (20 KH 12 x 14 cm und 37 KH 14 x 20 cm) 98 % des Wertes aller geprüften Normproben (n = 133). Offenbar reagieren die E-Moduln der Kanthölzer kaum auf Strukturstörungen wie z. B. Ästigkeit.

Bei der Biegefestigkeit hingegen werden die Unterschiede deutlicher. Bei den Kanthölzern des Querschnitts 14 x 20 cm sanken die mittleren Biegefestigkeiten der Kanthölzer in Güteklasse I auf 69 %, in Güteklasse II auf 63 % und in Güteklasse III auf 46 % der Werte der entsprechenden fehlerfreien Kleinproben, die nahezu konstant bei etwa 85 N/mm<sup>2</sup> lagen. Am deutlichsten tritt der Abfall der Biegefestigkeit bei der niedrigsten Güteklasse hervor, bei der sich die festigkeitsmindernden Strukturstörungen am stärksten auswirken. Mittels den von MARCHAND (1982) vorgeschlagenen Strukturstörungsfaktoren (Quotient Kleinprobe/Großprobe) bzw. den von NOACK (1971) vorgeschlagenen güteklassenbezogenen Reduktionsfaktoren für Kleinproben wurde zwar schon versucht, auf Basis von kleinen Proben auf Großproben zu schließen, doch konnte GROSS (1988) nachweisen, daß die Streuung dieser Strukturstörungsfaktoren nur sehr grobe bzw. mit Fehlern behaftete Schätzungen der Biegefestigkeit von Großproben zulassen. Auch Variationen der Rohdichte und Jahrringbreite wirken sich bei Kleinproben wesentlich stärker aus, womit zusätzliche Probleme der Repräsentativität auftreten.

Daraus ist zu folgern, daß die eingangs dieses Kapitels zitierten Untersuchungsergebnisse in der Tendenz wohl auch für das Douglasienholz dieser Untersuchung zutreffen dürften. Sichere Ergebnisse für die Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von Bauholz lassen sich indessen nur auf Basis von Schnittholzprüfungen in Gebrauchsabmessungen erzielen.

### 5.3.7 Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften von Schnittholz aus Fichte und Douglasie

Bereits in Kapitel 5.3.3 wurde ein umfassender, globaler Vergleich auf der Basis von Literaturangaben für die Biegefestigkeiten von Schnittholz in Gebrauchsabmessungen der einheimischen und eingebürgerter Nadelhölzer angestellt (vgl. Tab. 35). An dieser Stelle soll ergänzend ein detaillierter Vergleich zwischen den elastomechanischen Eigenschaften des Douglasien-Schnittholzes aus der eigenen Untersuchung und dem "Brotbaum" der mitteleuropäischen Forstwirtschaft, der Fichte, als wichtigstem Konkurrenten im Bau-schnittholzbereich vorgenommen werden. Dazu sollten die Rahmenbedingungen möglichst übereinstimmen. Dieser Voraussetzung kam die Arbeit von GLOS und DIEBOLD (1987), die u. a. auf frühere, in nachfolgende Betrachtung eingehende Ergebnisse von GLOS und SPENGLER (1985) Bezug nimmt, am nächsten. Diese Untersuchung umfasste 100 Fichtenkanthölzer der Dimension 8 x 16 cm aus zwei bayerischen Forstämtern. Die Kanthölzer entstammten jeweils aus einem unteren und einem oberen Stammabschnitt. Der mittlere Rohdichtewert lag bei für Fichte hohen  $0,483 \text{ g/cm}^3$ , was auf relativ enge Jahrringbreiten, über die ebenso wie für das Alter keine Angaben vorliegen, schließen läßt. In der Arbeit von GLOS und SPENGLER befand sich wie in der eigenen Untersuchung die Querschnittseite mit der maximalen Ästigkeit im Zugbereich. Auch die Rohdichte, bestimmt als Normal-Rohdichte, bezog sich in beiden Untersuchungen auf das Gesamtkantholz. Die Biegeprüfung führten GLOS und SPENGLER in Anlehnung an DIN 52186 und ISO 8375 (Stützweite = 18fache Probenhöhe) durch und ist damit mit der eigenen Prüfgeometrie, die der DIN 52186 entspricht (Stützweite = 15fache Probenhöhe), nicht voll vergleichbar. Der statische Biege-E-Modul wurde in beiden Untersuchungen nach DIN 52186 bestimmt. Ein Unterschied, der vermutlich zugunsten der Fichte ins Gewicht fällt, aber nicht quantifizierbar ist, ist das Einschnittmuster: Entstammen die Douglasien-Kanthölzer der eigenen Untersuchung dem marknahen Bereich, wurden die Fichten-Kanthölzer aus sog. Kernbohlen möglichst weit außen aus dem splintnahen Bereich eingeschnitten.

In Tabelle 48 sind die wichtigsten Kenngrößen aus beiden Untersuchungen einander gegenübergestellt.

Betrachtet man zunächst die güte- bzw. sortierklassenbezogenen elastomechanischen Eigenschaften, so zeigt sich hinsichtlich der E-Moduln eine weitgehende Übereinstimmung, die auch bei der Biegefestigkeit der beiden niedrigeren Güte-/Sortierklassen zu finden ist. In der höchsten Klasse jedoch zeigt die Douglasie jedoch eine deutliche, um rd. 10 % höhere Biegefestigkeit, was auch durch die Ergebnisse von SAUTER (1992)

Tab. 48: Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften und anderer wichtiger Kenngrößen von Kanthölzern 8 x 16 cm aus Fichte und Douglasie (N/mm<sup>2</sup>; u = 12 %)

		GKI. I/ S13			GKI. II/ S10			GKI. III/ S7			EAQ (DIN)	p <sub>12</sub>	Korrelationskoeffizienten		
		n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s			$\sigma_B$ : EAQ	$\sigma_B$ : p <sub>12</sub>	$\sigma_B$ : E-Mod.
													r	r	r
Fichte	$\sigma_B$	21	53,8	12,1	53	47,8	9,9	25	40,4	9,1	0,28	0,48	-0,53	0,23	0,71
	stat. E-Mod.		12 100	-		11 300	-		10 000	-					
Douglasie	$\sigma_B$	17	59,0	10,5	240	46,6	11,0	158	39,4	10,6	0,37	0,54	-0,52	0,40	0,74
	stat. E-Mod.		12 244	1 571		10 998	2 099		10 045	1 865					

und mit Einschränkungen durch diese von GÖHRE (1958 a) sowie MÖHLER und BEYERSDORFER (1987) bestätigt wird (vgl. Tab. 35).

Der mittlere Einzelastquotient nach DIN 4074 liegt bei den Fichtenkanthölzern eindeutig niedriger, was ein Hinweis auf geringere Astdurchmesser ist und sich in einer deutlich günstigeren visuell ermittelten Güteklassenverteilung auswirkt. Die höheren Einzelastquotienten der Douglasie führen nur zu unwesentlichen Festigkeitseinbußen. Damit wird der Bedarf für eine eigene Sortiernorm für die Douglasie bestätigt, was auch SAUTER (1992) andeutet. Vorschläge hierzu finden sich in Kapitel 5.3.5. Im übrigen war zum Zeitpunkt der Fichtenuntersuchung noch die DIN 4074 in der Fassung von 1958 in Kraft, in der die maximal zulässigen Einzelastquotienten für Güteklasse II nur ein Drittel und für Güteklasse III nur die Hälfte des Querschnitts betragen. Dies bedeutet, daß die Douglasien-Kanthölzer der eigenen Untersuchung sortierklassenbezogen größere Äste aufweisen dürfen, was in der Tat auch zutrifft. Die Beziehungen zwischen Einzelastquotienten und Biegefestigkeit sind bei beiden Holzarten nahezu identisch, erklären jedoch lediglich rd. 25 % der Gesamtstreuung der Biegefestigkeitswerte. Die Rohdichte der Douglasie, deren Mittelwert deutlich über der mittleren Rohdichte der Fichte liegt, korreliert auch besser mit der Biegefestigkeit, was vermutlich wiederum eine etwas bessere Beziehung zwischen E-Modul und Biegefestigkeit zur Folge hat.

Der Vergleich der multiplen Zusammenhänge zwischen Biegefestigkeit und Einzelastquotient sowie Rohdichte zeigt für die Fichte einen multiplen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,58$ , während die Douglasie für dieselben Beziehungen einen geringfügig höheren Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,61$  aufweist. Auf die Qualität dieser Merkmale als Prädiktorvariablen der Biegefestigkeit wurde bereits in Kapitel 5.5.4.7 hingewiesen. Wesentlich geeigneter v. a. im Hinblick auf maschinelle Sortierverfahren sind multiple Regressionsmodelle, die den E-Modul beinhalten. Für die Beziehung zwischen Biegefe-

stigkeit einerseits und E-Modul sowie Einzelastquotient andererseits wurde für Fichte wie Douglasie ein identischer multipler Korrelationskoeffizient von  $r = 0,76$  bestimmt, wobei in beiden Untersuchungen die Rohdichte keinen zusätzlichen Erklärungsanteil liefern konnte.

Damit zeigen beide Untersuchungen weitgehende Übereinstimmungen der elastomechanischen Eigenschaften. Die Douglasie weist in der höchsten Sortierklasse gegenüber Fichte leichte Vorteile auf, was sich auch durch Untersuchungen anderer Autoren belegen läßt. Eine absolute Vergleichbarkeit des Schnittholzes zweier Baumarten wird kaum jemals gegeben sein, weichen doch die Randbedingungen wie Repräsentativität, Umfang, Herkunft, Prüfanordnung, Prüffeuchte, um nur einige zu nennen, oft mehr oder weniger voneinander ab. Insbesondere auch die Querschnittsgrößen wirken sich auf die elastomechanischen Eigenschaften aus, so daß bei Gleichheit dieser Eigenschaften bei einem bestimmten Querschnitt keinesfalls der Schluß gezogen werden kann, bei einem anderen Querschnitt wären ebenfalls gleiche Ergebnisse zu erwarten. Umso mehr Vorsicht ist bei der vergleichenden Interpretation von verschiedenen Untersuchungsergebnissen geboten.

### 5.3.8 Gegenüberstellung von Rund- und Schnittholzqualität

Um die Frage zu beantworten, ob und wie trennscharf von der Rundholz- auf die Schnittholzqualität geschlossen werden kann, werden im folgenden die Zusammenhänge zwischen der Rundholzqualität und dem daraus erzeugten Schnittholz dargestellt. Als Vergleichsgrundlage der Rundholzsortierung dient der CEN-Vornorm-Entwurf (vgl. Kap. 5.1.3.1), dem bestandesweise die Ergebnisse der Schnittholzsortierung nach geltender DIN 4074 gegenübergestellt werden (Abb. 51). Darüberhinaus wird ein summarischer Vergleich zwischen CEN-Sortierung und gültiger DIN 4074 sowie modifizierter DIN 4074 (erhöhter zulässiger Einzelastquotient) geführt (Abb. 52).

Beim bestandesweisen Vergleich wurden über den Rundholzgüteklassen A bis D (vgl. Tab. 9) die relativen Häufigkeiten des daraus erzeugten Schnittholzes aufgetragen. Einschränkend muß vorangestellt werden, daß die Güteklasse A insgesamt nur mit 13, die Güteklasse D nur mit 8 Abschnitten vertreten ist. Aus den Beständen AEG und AWS wurden überhaupt keine Abschnitte in Güteklasse A sortiert, da sie aufgrund fehlender Ästung die Bedingung äußerer Astreinheit nicht erfüllten. Andererseits ist Bestand AEG in Güteklasse D nicht vertreten. Die Bedingungen der Schnittholzsortierklasse S 13 erfüllen insgesamt nur 17 Kanthölzer (vgl. Tab. 30), was bei der Interpretation der Ergebnisse nach relativen Häufigkeiten bedacht werden muß. Die aussortierten

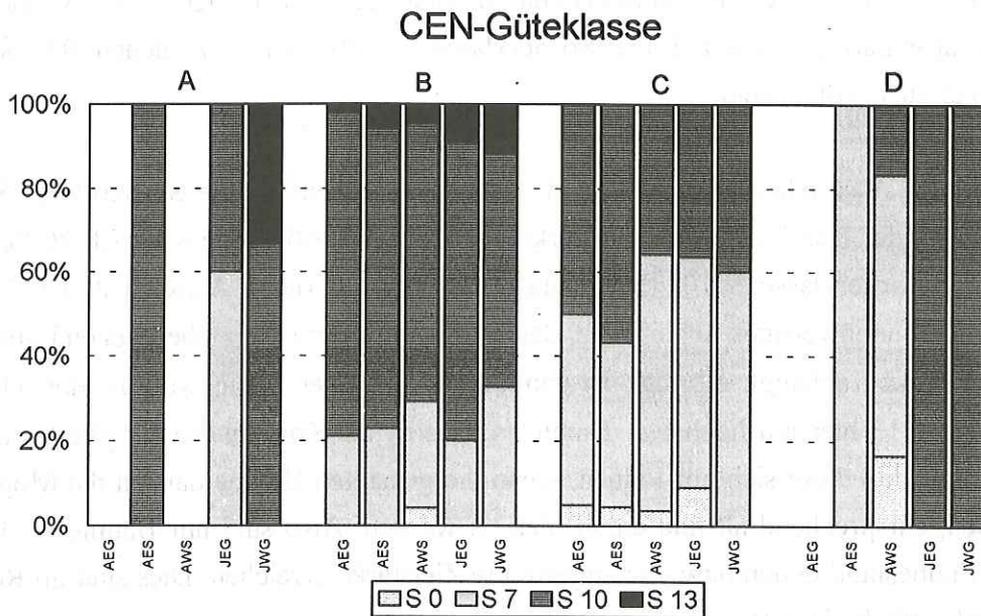


Abb. 51: Bestandesweiser Vergleich von Rundholzsortierung (CEN-Vornorm-Entwurf) und visueller Schnittholzsortierung nach DIN 4074 [%]

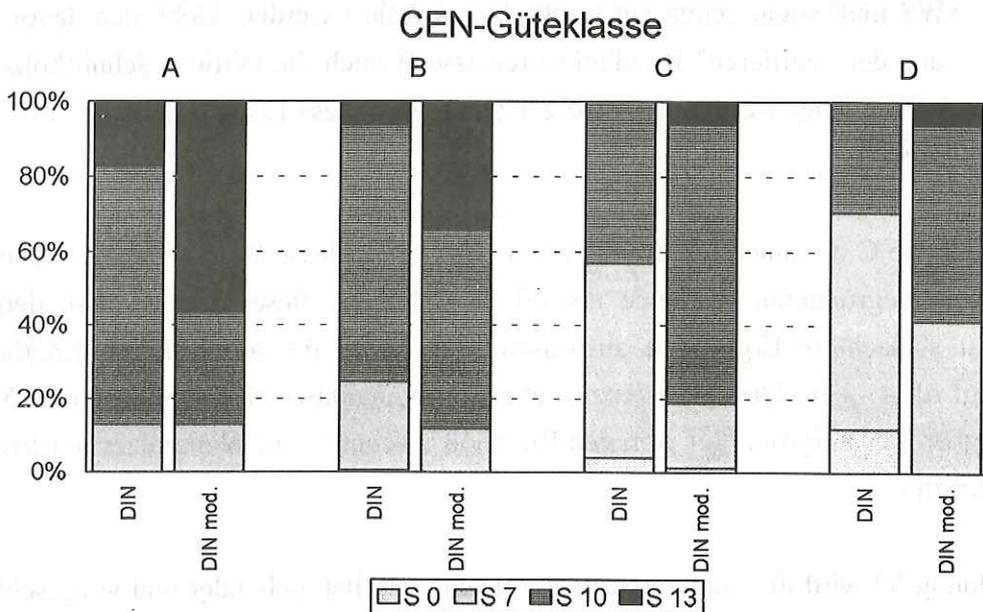


Abb. 52: Vergleich von Rundholzsortierung (CEN-Vornorm-Entwurf) und visueller Schnittholzsortierung nach DIN 4074 bzw. modifizierter DIN 4074 (erhöhter zulässiger Einzelastquotient) - alle Bestände, alle Kanthölzer[%]

Kanthölzer sind in den Abbildungen 51 und 52 als S 0 bezeichnet. Somit konzentriert sich der Vergleich auf die Güteklassen B und C, denen mehr als 90 % der Rundholzabschnitte, sowie auf die Sortierklassen S 10 und S 7, denen 94 % der Kanthölzer zuzuordnen sind.

In Güteklasse A entfallen lediglich rd. 17 % der Kanthölzer auf die Sortierklasse S 13, bereits 13 % der Kanthölzer sind Sortierklasse S 7, die große Masse mit rd. 70 % entspricht der Sortierklasse S 10. Der Schluß, daß die äußerliche Astreinheit der A-Abschnitte auch hochwertiges Schnittholz, dessen Einsortierung ganz überwiegend von der inneren Ästigkeit abhängt, erbringt, ist damit nicht zu ziehen, gleichwohl ist der relative Anteil von S 13 hier am höchsten. Damit ergibt sich als Konsequenz für Wertästungsmaßnahmen, daß diese sich nur lohnen, wenn die geästeten Bäume danach die Möglichkeit haben, entsprechend alt und damit dick zu werden. Also sind nur Bäume zu ästen, die den Endbestand bilden bzw. die angestrebte Zielstärke erreichen. Dies sind im Regelfall ausschließlich die Z-Bäume.

Auch aus Güteklasse B fallen rund 70 % der Kanthölzer in Sortierklasse S 10, aber noch über 6 % entsprechen der Sortierklasse S 13. 24 % der Kanthölzer genügen nur noch den Anforderungen von Sortierklasse S 7, wobei die beiden weit begründeten Bestände AWS und JWG schon deutlich höhere Anteile an dieser niedrigsten Sortierklasse haben. Bei Bestand AWS muß sogar schon ein Kantholz aussortiert werden. Geht man davon aus, daß i.d.R. aus der "mittleren" Rundholzgüteklasse B auch die mittlere Schnittholz-Sortierklasse S 10 erzeugt werden kann, so zeigt sich, daß diese Erwartung in ca. 30 % der Fälle nicht zutrifft.

Bei Güteklasse C dominieren die Kanthölzer der Sortierklasse S 7 mit 53 %, wobei die beiden weit begründeten Bestände mit 60 % Anteil an dieser Sortierklasse deutlich erkennbar schlechtere Ergebnisse aufweisen. Der Anteil der aussortierten Kanthölzer nimmt auf rd. 4 % zu. Diese Tendenz setzt sich in Güteklasse D in zunehmenden Maße fort, ist aber hier aufgrund der wenigen Rundholzabschnitte und Kanthölzer nur bedingt aussagekräftig.

In Abbildung 52 wird der summarische Vergleich zwischen geltender und vorgeschlagener modifizierter Schnittholzsortierung (erhöhter zulässiger Einzelastquotient; vgl. Kap. 5.3.5.1) angestellt. Auf den ersten Blick ist die bessere Übereinstimmung zwischen Rundholz-Güteklassen und Schnittholz-Sortierklassen bei modifizierter DIN 4074 erkennbar:

In Güteklasse A sind rd. 60 % der Kanthölzer Sortierklasse S 13. Sortierklasse S 7 ist anteilmäßig identisch. Aus Güteklasse B kommen rd. 35 % der Kanthölzer in S 13, knapp 55 % in S 10 und Kanthölzer der Sortierklasse S 7 nehmen einen Anteil von rd. 10 % ein. In Güteklasse C nimmt die Sortierklasse S 13 auf rd. 6 % des erzeugten Schnittholzes ab, aber rund drei Viertel der Kanthölzer sind noch S 10. Selbst in Güteklasse D ist die Sortierklasse S 13 noch vertreten. Über die Hälfte sind Sortierklasse S 10. Ausortiert werden nach modifizierter DIN 4074 lediglich zwei Kanthölzer aus Güteklasse C.

Damit zeigt sich zum einen, daß bei gleichen Rundholz-Güteklassen die Sortierklassenanteile des Schnittholzes bei den verschiedenen Beständen unterschiedlich hoch sind (vgl. Abb. 51). Insbesondere in der volumenbezogen bedeutendsten Güteklasse B weichen die beiden weit begründeten Bestände im Sortierergebnis negativ ab. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von BECKER et al. (1990), welche die Rund- und Schnittholzqualität aus zwei unterschiedlich weit begründeten Eichenbeständen untersuchten. Augenscheinlich läßt sich mit den praxisüblichen Rundholzsortiermethoden, die nur einen vertretbaren Aufwand zulassen, auch bei der Eiche nicht von der äußeren auf die innere Qualität schließen. Zum anderen lassen die am Rundholz äußerlich aufgenommenen Merkmale der Rundholzsortierung kaum eine differenzierte Abschätzung der anfallenden Schnittholzsortierklassen nach DIN 4074 zu. Offenbar ist der Schluß zwischen äußeren und inneren Holzeigenschaften, die sich im vorliegenden Fall auf Jahrringbreite und Ästigkeit beschränken, nicht mit hinreichender Sicherheit möglich. Die Jahrringbreite war weder beim Rund- noch beim Schnittholz sortierwirksam und die äußerlich erkennbare Ästigkeit ließ sich nicht in die innere Ästigkeit überführen. Die Korrelationsanalyse zwischen den maximalen Astdurchmessern aller 425 Kanthölzer mit den maximalen Astdurchmessern der zugehörigen Rundholzabschnitte ergab einen Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,71$ , womit lediglich 50 % der Gesamtstreuung dieser Beziehung erklärt wird. Desweiteren wirken sich Rundholzsortierparameter wie z. B. Exzentrizität der Markröhre allenfalls mittelbar auf die Schnittholzqualität aus.

Eine bessere Übereinstimmung zwischen Rund- und Schnittholzqualität zumindest in den Güteklassen A und B zeigt die in dieser Arbeit vorgeschlagene modifizierte DIN-Schnittholz-Sortierung, bei der die Ausbeute in den höheren Sortierklassen wesentlich höher ist, ohne dabei Festigkeitseinbußen oder größere Risiken von Fehleinschätzungen in Kauf nehmen zu müssen (vgl. Kap. 5.3.5.1). Die Festigkeits- und damit die Sortierreserven des Schnittholzes aus Güteklasse C und D werden durch die modifizierte Schnittholzsortierung besser ausgeschöpft. Noch weitaus mehr öffnet sich die Schere zwischen visueller Rundholzansprache und maschineller Schnittholzsortierung, auf deren Darstellung ver-

zichtet wird, was sich aber anhand der Ergebnisse in Kapitel 5.3.5.2 unschwer nachvollziehen läßt. Je besser eine maschinelle Sortierung v. a. mittels des die Festigkeit am besten erklärenden Elastizitätsmoduls auf die Tragfähigkeit des erzeugten Schnittholzes schließen läßt, um so weniger wird der indirekte Schluß über die herkömmliche visuelle Rundholzansprache von Bedeutung sein. Die Konsequenz könnte entweder in einem Verzicht auf die Güteklassenausscheidung bei Massensortimenten liegen oder auch in neuartigen Methoden der Rundholzbewertung, die am noch stehenden (NAKAMURA et al., 1992) bzw. am liegenden Stamm (SANDOZ, 1992) eine bessere Abschätzung der Festigkeitseigenschaften ermöglichen.

#### **5.4 Diskussion der Versuchsplanung im Rückblick**

Ziel der retrospektiven Betrachtung ist es, zu überprüfen, ob die vorliegenden Stichprobenumfänge (Kanthölzer) aus den einzelnen Beständen getrennt nach Stammhöhen beim bestandesweisen Vergleich mittels Varianzanalyse und nachfolgenden Mittelwertsvergleichen nach SIDAK bzw. SCHEFFE bezüglich der Hauptzielvariablen BIEGEFESTIGKEIT ausreichen, um eine befriedigende Teststärke ( $1-\beta = 0,8$ ) zu gewährleisten (HAPLA und SABOROWSKI, 1987) sowie den mittels der tatsächlichen Stichproben detektierbaren Unterschied  $\delta$  zu bestimmen. Die Güte des varianzanalytischen Verfahrens ist eine Funktion der nicht-zentral-verteilter F-Verteilung, die über den Nichtzentralitätsparameter  $nc$  mit der F-Verteilung zusammenhängt, der wiederum von den Mittelwertsunterschieden  $\delta$  und der Restvarianz  $\sigma^2$  abhängt (Statistik mit SAS, S. 196). Die Ergebnisse dieser Überprüfung (vgl. Tab. 49) zeigen, daß die erzielten Stichprobenumfänge von  $N \geq 30$  in Stammhöhe I ausreichen, um einen Unterschied  $\delta = 10$  [N/mm<sup>2</sup>] bei einer Gütevorgabe von  $1-\beta = 0,8$  zu detektieren. Eine Verdoppelung der Stichprobenanzahl auf  $N = 60$  hätte bei gleichem  $\delta$  den  $\beta$ -Fehler sehr klein werden lassen ( $1-\beta = 0,99$ ), es hätte sich jedoch bei beibehaltenem  $1-\beta = 0,8$  ein Unterschied  $\delta = 7$  [N/mm<sup>2</sup>] detektieren lassen. Eine Halbierung des beim vorliegenden Stichprobenumfang und der Gütevorgabe  $1-\beta = 0,8$  erzielten  $\delta$  auf 5 [N/mm<sup>2</sup>] hätte jedoch einen fast vier Mal so großen Stichprobenumfang erfordert. Die Analyse bei Stammhöhe II erbrachte nahezu das gleiche Ergebnis, während bei Stammhöhe III wegen der geringeren Restvarianz ein gegenüber den anderen Stammhöhen um 30 % reduzierter Stichprobenumfang zur Erzielung der gleichen Ergebnisse genügt hätte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die vorliegenden Stichprobenumfänge hinsichtlich der angestrebten Teststärke ausreichend waren, um deutliche Unterschiede

Tab. 49: **Stichprobenumfang (Anzahl Kanthölzer) in Abhängigkeit von Teststärke und Genauigkeit bei vorgegebenem Signifikanzniveau und Anzahl zu vergleichender Gruppen (Bestände) für den Vergleich der mittleren Biegefestigkeiten zwischen den Beständen stratifiziert nach Stammhöhen**

Stammhöhe	Anzahl Bestände k	Signifikanzniveau $\alpha$	Fehlervarianz [N/mm <sup>2</sup> ] MSE	Teststärke 1- $\beta$	Genauigkeit $\delta$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Anzahl Kanthölzer N
I	5	0,05	119	0,8	10	30
	5	0,05	119	0,8	7	59
	5	0,05	119	0,8	5	115
	5	0,05	119	0,99	10	60
II	5	0,05	117	0,8	10	29
	5	0,05	117	0,8	12	21
	5	0,05	117	0,8	7	58
	5	0,05	117	0,8	5	113
	5	0,05	117	0,99	10	58
III	5	0,05	80	0,8	10	20
	5	0,05	80	0,8	12	15
	5	0,05	80	0,8	7	40
	5	0,05	80	0,8	5	77
	5	0,05	80	0,99	10	40

bezüglich der BIEGEFESTIGKEIT der Kanthölzer aus unterschiedlichen Beständen und unterschiedlichen Stammhöhen zu entdecken. Zur Detektion feinerer Unterschiede bei gleicher Teststärke hätte jedoch die Stichprobenanzahl deutlich erhöht werden müssen, d. h. es hätten deutlich mehr Probebäume gefällt werden müssen, was aus versuchsökonomischen Gründen nicht darzustellen gewesen wäre.

## 6. Wertung und Schlußfolgerungen

Der dieser vorliegenden Untersuchung zugrunde gelegte Forschungsansatz soll Beiträge leisten zur Klärung der Frage, welche Qualitäts- und insbesondere Festigkeitseigenschaften Bauschnittholz aus nicht-wertgeästetem Douglasienstammholz aufweist. Im Rahmen eines bestandesbezogenen methodischen Ansatzes sollen insbesondere die Einflüsse von waldbaulicher Behandlung und Standort, aber auch des Alters auf die anatomischen und physikalisch-technologischen Holzeigenschaften (Mittelwerte und Verteilungen) sowie deren Abhängigkeiten und Interdependenzen dargestellt werden. Anhand von Schnittholz, das aus jeweils 18 Bäumen aus fünf Beständen, die sich in mindestens einem Merkmal der gewählten unabhängigen Variablen "ALTER, STANDRAUM, STANDORT" unterschieden, hergestellt wurde, waren die Auswirkungen dieser unterschiedlichen Wachstumsbedingungen auf die Rund- und Schnittholzqualität aufzuzeigen.

Die Merkmale Baum- bzw. Stammorphologie zeigen die erwarteten Zusammenhänge zwischen den Mittelwerten von Brusthöhen-, Mittendurchmesser und Gesamtlänge. Die H/D-Verhältnisse lagen mit rd. 70 % durchweg im waldbaulich erwünschten Bereich, wobei lediglich der ältere Bestand aus Weitverband mit rd. 50 % aus dem Rahmen fällt. Dieser ältere, vermutlich extrem weit begründete Bestand auf mäßigem Standort zeigte auch das höchste Kronenprozent sowie die größte Abholzigkeit.

Die größten gefundenen Astdurchmesser am Rundholz liegen bei allen Beständen im Bereich von 71 bis 80 mm. Diese Werte werden nur bei den mittleren und oberen Stammabschnitten erreicht. Der ältere Bestand aus Weitverband als Ausnahme zeigt dieses Maximum bereits im Erdstammabschnitt. Auch die mittleren Asthäufigkeiten (3.1 ... 12.3 je lfm) der Abschnitte nehmen mit den drei verwendungstypischen Stammhöhen (Erdstamm-, Mittel-, Zopfblock) erwartungsgemäß tendenziell zu. Nur für den älteren Bestand aus Weitverband jedoch lassen sich deutlich negative Abweichungen statistisch absichern, was augenscheinlich auf dessen weitständige Begründung zurückzuführen ist.

Die Rundholzsortierung nach CEN-Vornorm-Entwurf und den derzeit auch auf Douglasie anzuwendenden baden-württembergischen HKS-Sortiermerkblättern für Fichte/Tanne ermöglichten eine vergleichsweise differenzierte Qualitätsansprache des Rundholzes mit annähernd gleichen Ergebnissen, wobei ausschlaggebend für beide Sortiervarianten der größte Astdurchmesser war. Volumenbezogen fielen etwa 5 % der Abschnitte in Güteklasse A, etwas über 50 % in Güteklasse B und bei HKS ca. 40 % in Güteklasse C, nach CEN-Sortierung fielen davon rd. 4 % in Güteklasse D. Der hohe Anteil von C- bzw. D-Abschnitten dürfte sich je nach Kronenlänge durch den Durchmesserzuwachs bis zur

Nutzung noch etwas verringern, im übrigen wäre die Rundholzqualität durch Wertstümpfmaßnahmen auch in den oberen Stammbereichen noch erheblich steigerungsfähig. Hierbei muß allerdings das Erreichen entsprechender Stammdimensionen vorausgesetzt werden. Insgesamt zeigt sich die Rundholzqualität also als deutlich von der Stammhöhe abhängig. Der Vergleich zwischen den Beständen dagegen zeigt keine klare Altersabhängigkeit, auch Einflüsse des Standortes sind nicht eindeutig und werden vermutlich vom entscheidendsten Faktor, dem Standraum, überlagert. Das deutlich schlechteste Sortierergebnis wird bei dem älteren Bestand aus Weitverband erzielt: Hier fallen keine A-Abschnitte an, lediglich 10 % der Abschnitte erreichen Güteklasse B und rd. 50 % aller Abschnitte entfallen auf Güteklasse C (und D bei CEN). Damit wird die unbedingte Notwendigkeit der Wertstümpfung bei weit begründeten Beständen auch auf schwachem Standort offenkundig. Stellt die waldbauliche Behandlung, wie bisher üblich, auf die Zielgröße "Rundholz-Qualität" ab, bedeuten also sehr weite Verbände einen deutlichen Qualitätsabfall, der nur durch Wertstümpfung auch der im Zuge der Durchforstung zu entnehmenden Bäume (und erst recht der den Endbestand bildenden Z-Bäume) begrenzt werden kann. Die Rundholzsortierung ist jedoch kein Selbstzweck, sondern soll neben der Preisfindung für Rundholz auch die erwartete Schnittholzqualität hinreichend genau beschreiben. Ob dies mittels der überprüften Rundholz-Sortierungsvarianten realisierbar ist, wird beim Vergleich Rundholz-Schnittholz weiter unten aufzuzeigen sein.

Um grundlegende holzanatomische und -physikalische Unterschiede zwischen den Beständen und innerhalb der Bestände zwischen den Stammhöhen zu erkennen und bewerten zu können, wurde an Stammscheiben als "Bindeglied zwischen Rund- und Schnittholzqualität" die Kenngrößen Jahrringbreite, Spätholzanteil, Verkernung sowie als physikalische Kenngröße die Darrdichte bestimmt.

Die mittleren Jahrringbreiten variierten zwischen den Beständen und Stammhöhen von minimal 2,5 mm bis maximal 4,3 mm, wobei es sich um über den gesamten Stammquerschnitt gemittelte Werte handelt. Diese Werte können als vergleichsweise "moderat" gelten und weisen darauf hin, daß die einbezogenen Standorte für die Douglasienwirtschaft durchaus geeignet sind. Das Alter ist dabei der hervorragendste Einflußfaktor auf die durchschnittliche Jahrringbreitenentwicklung. Standörtliche Unterschiede sind statistisch nicht abzusichern. Bei den älteren Beständen weist der Weitverband statistisch abgesichert weitere Jahrringe auf als der standörtlich vergleichbare Engverband. Zwischen den beiden jüngeren Beständen ergaben sich geringe, jedoch nicht signifikante Unterschiede. Der vertikale Jahrringbreitenvergleich führt zu dem bekannten Ergebnis: bei den drei älteren Beständen sinken die Jahrringbreiten mit zunehmender Stammhöhe, bei den jüngeren dagegen steigen sie noch an.

Die absoluten mittleren Spätholzbreiten wie auch die relativen Spätholzanteile verringern sich mit zunehmender Stammhöhe; Unterschiede zwischen den Beständen lassen sich nur im oberen Stammbereich (Stammhöhe III) absichern.

Die Verkernung ist im wesentlichen eine Funktion des Alters. Die älteren Bestände zeigen in allen Stammhöhen die höchsten Kernanteile. Die Abnahme des Kernanteils mit zunehmender Stammhöhe ist nahezu ausnahmslos abzusichern. Pflanzverband oder Standortqualität spielen bei der Verkernung des Materials aus der vorliegenden Untersuchung kaum eine Rolle.

Die Darrdichtemittelwerte können als durchschnittlich gelten ( $r_0 = 0,48 \dots 0,63$ ). Sie nehmen mit zunehmender Stammhöhe ab. Alter und Pflanzverband beeinflussen die Darrdichte offensichtlich weniger als die Standortqualität.

Als Ergebnis der Auswertung der Stammscheibenparameter ist festzustellen, daß vor allem Einflüsse des Baumalters von Bedeutung sind. Pflanzverband und Standortgüte wirken sich - offenbar aufgrund der innerhalb der Versuchsbestände vergleichsweise geringen Bandbreite dieser Einflußvariablen - nicht entscheidend aus. Neben nicht qualifizierbaren und quantifizierbaren Faktoren wie z. B. Konkurrenzbeziehungen bzw. Wuchsraum des Einzelbaums kann der globale Ansatz von Stammscheibenmittelwerten Unterschiede verwischen, die bei einer Zuwachszonenbezogenen Auswertung möglicherweise aufzudecken gewesen wären. In begleitenden Diplomarbeiten für drei Bestände konnten daher lediglich in den oberen Stammbereichen hinreichend signifikante Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen Darrdichte und Spätholzanteil gefunden werden. Zwischen Jahrringbreite und Darrdichte ergab die zuwachszonenbezogene Korrelationsanalyse mit Ausnahme des älteren Bestandes aus Weitverband einen recht straffen negativen Einfluß weiter Jahrringe auf die Darrdichte. Um jedoch praxisbezogen eine Aussage über die Schnittholzqualität aus einem Stammabschnitt treffen zu können, wurde auf die generelle Anwendung dieser verfeinerten Analysemethoden bewußt verzichtet.

Die mittleren Jahrringbreiten an den Kanthölzern - ermittelt nach DIN 4074 - liegen generell über den an den Stammscheiben ermittelten Jahrringbreiten, sind aber gleichfalls im Rahmen (3,0 ... 5,5 mm), und die mittleren Rohdichtewerte ( $r_{12} = 0,50 \dots 0,57$ ) der Gesamtprüfkörper liegen in der Mehrzahl der Fälle unter den mittleren Darrdichten der Stammscheibenanalyse. Ursache dafür ist das Einschnittmuster, das zu überproportionalen Anteilen von marknahem Holz im Schnittholzquerschnitt führte, wo die weitesten Jahrringe und die geringsten Holzdichten zu finden sind. Hier wird der wesentliche Ein-

fluß der Prüfkörperlage nicht nur in vertikaler, sondern auch in horizontaler Richtung deutlich.

Die Ästigkeit des Schnittholzes zeichnet die Entwicklung beim Rundholz nach: mit zunehmender Stammhöhe steigen die Astdurchmesser bis zu einem Maximum von 61 mm an. Dieser Wert ist innerhalb der möglichen Variationsbreite von in Mitteleuropa erwachsenen Douglasien eher gemäßigt. Der Einfluß des Standraums wirkt sich sowohl bei den älteren als auch bei den jüngeren Beständen durch deutlich höhere Asthäufigkeiten und größere Astdurchmesser auf.

Mit mittleren Anteilen an den Kantholzvolumina von über 60 bis fast 100 % ist das Schnittholz aller Bestände v. a. aufgrund des Einschnittmusters stark geprägt von juvenilen Holzstrukturen. Die Juvenilholzanteile nehmen bis auf eine einschnittbedingte Ausnahme mit der Stammhöhe zu. Die Kanthölzer der jüngeren Bestände beinhalten deutlich höhere Juvenilholzanteile. Dies führt zu Festigkeitsminderungen, insbesondere wegen geringer Dichte und abweichenden Feinstrukturen des Holzes.

Die elastomechanischen Kennwerte der Kanthölzer nehmen tendenziell mit der Stammhöhe ab, wobei zugleich die Streuungen abnehmen. Signifikante Unterschiede innerhalb der Stammlängsachse lassen sich allerdings nur zwischen Stammhöhe I und II absichern. Der Vergleich zwischen den Beständen ergibt höhere Mittelwerte der elastomechanischen Kennwerte bei den drei eng begründeten Beständen. Statistisch abzusichern ist jedoch nur der negative Einfluß des Weitverbandes bei dem älteren Bestand, der die niedrigsten Werte aller geprüften Parameter aufweist. Alter und Standortqualität wirken sich offenbar allenfalls nicht signifikant aus.

Sortierklassenbezogen liegen die ermittelten elastomechanischen Kennwerte der Kanthölzer in der höchsten Sortierklasse über den Literaturwerten für heimisches Fichten- und Tannenschnittholz. In der mittleren und unteren Sortierklasse sind die Werte der untersuchten Douglasien-Kanthölzer mit denjenigen von Fichte und Tanne vergleichbar. Hierbei ist zu bedenken, daß die Prüfkörperanordnung so gewählt wurde, daß stets die schlechtere Kantholzseite dem Hauptlastangriff ausgesetzt war, was bei den in den Vergleich einbezogenen Untersuchungen nur teilweise der Fall war.

Der Gesamtmittelwert aller Kanthölzer von 44,1 N/mm<sup>2</sup> besitzt nur beschränkte Aussagekraft, da er durch die Sortierklassenanteile geprägt ist. Im direkten Vergleich mit dimensionsgleichen Kanthölzern aus Fichte, dem "Brotbaum" der deutschen Forstwirtschaft und im Bauschnittholzsektor direkter Konkurrent der Douglasie, zeigen die Douglasien-Kanthölzer der höchsten Sortierklasse eine um ca. 10 % höhere Biegefestig-

keit, während sie in den niedrigeren Sortierklassen in etwa ebenbürtige Werte aufweisen. Die Douglasien-Kanthölzer erreichen diese Werte bei gegenüber den Fichten-Kanthölzern deutlich höheren Einzelastquotienten. Damit wird belegt, daß die größeren Äste der Douglasie in einem bestimmten Rahmen deutlich geringere Festigkeitseinbußen zur Folge haben. Wie sich dies auf die Schnittholzsortierung auswirkt, wird noch darzustellen sein. Im übrigen ist ein Literaturvergleich Beleg dafür, daß für die Bestimmung der Biegefestigkeit von Bau-schnittholz nur die Prüfung dieser Eigenschaft in Gebrauchsabmessungen aussagekräftige Resultate ermöglicht.

Die wichtigsten Ergebnisse der schließenden Statistik, die der Analyse der Zusammenhänge zwischen Einfluß- und Zielvariablen dienen, werden im folgenden zusammengefaßt. Zur Verallgemeinerung erfolgt eine gesamthafte Betrachtung der Kanthölzer aus allen Beständen und Stammhöhen.

Zwischen Jahrringbreite, Rohdichte und Juvenilholzanteil bestehen statistisch absicherbare Beziehungen, deren Korrelationskoeffizienten von 0,33 bis 0,49 streuen. Diese teilweise nur mäßig straffen Zusammenhänge resultieren im wesentlichen aus der relativ geringen Bandbreite dieser Merkmale.

Die Beziehungen zwischen Jahrringbreite und den elastomechanischen Eigenschaften sind nur mäßig straff ( $r = -0,26 \dots -0,31$ ), jedoch signifikant. In der Praxis von Rund- und Schnittholzsortierung gilt die Jahrringbreite jedoch als Hinweis auf die elastomechanischen Eigenschaften, dem aber angesichts der gefundenen Beziehungen zumindest für das untersuchte Douglasienholz eine eher begrenzte Bedeutung zukommt.

Deutlich enger korreliert mit den elastomechanischen Eigenschaften ist die Rohdichte und zwar insbesondere mit dem dynamischen E-Modul ( $r = 0,63$ ). Dadurch wird die stärkere Reaktion der elastischen Eigenschaften auf Dichteunterschiede unterstrichen. Eine Abnahme der Dichtewerte bedingt empfindliche Einbußen an Festigkeit und v. a. Steifigkeit. Dieses Ergebnis verlangt besondere Beachtung bei künftigen stammzahlar-men Behandlungskonzepten für die Douglasie, in denen zur Sicherung der Holzqualität lediglich Ästungsmaßnahmen vorgesehen sind.

Die Ästigkeit ist sowohl für Rundholz- als auch Schnittholzsortierung von herausragender Bedeutung. Ihr kausaler Einfluß auf die Biegefestigkeit ist durch die höchsten gefundenen Korrelationskoeffizienten von je nach Kriterium  $-0,46 \dots -0,57$  evident, der Einfluß auf die elastischen Eigenschaften ist etwas geringer. Um praxisnah zu bleiben und gleichzeitig der DIN 4074 zu entsprechen, sind sowohl einfache als auch multiple Regressionen

immer auf den größten Einzelastquotienten auf der gesamten Kantholzlänge bezogen. Die elastischen Eigenschaften reagieren geringer auf die Ästigkeit als die Biegefestigkeit, während sich Rohdichteunterschiede auf die Steifigkeit deutlicher ( $r = 0,56$  bzw.  $0,63$ ), auf die Biegefestigkeit dagegen schwächer ( $r = 0,40$ ) auswirken.

Das juvenile Holz, festgelegt als erste 20 Jahrringe vom Mark aus, übt einen nur mäßigen Einfluß bei den elastomechanischen Eigenschaften ( $r = -0,28 \dots -0,31$ ) aus. Klassifiziert man die Juvenilholzanteile, wird der Einfluß deutlicher. Bei den älteren Beständen ist generell eine Zunahme der Jahrringbreiten mit steigendem Juvenilholzanteil bei gleichzeitig sinkenden Rohdichtewerten zu beobachten. Das gleiche gilt für die jüngeren Bestände, deren Holz noch stärker von juvenilen Holzstrukturen beeinflusst wird. Der jüngere Bestand aus Weitverband markiert dabei die Rohdichteuntergrenze dieser Untersuchung. Die elastomechanischen Eigenschaften aller Bestände sinken mit zunehmendem Juvenilholzanteil. Dies hat zur Folge, daß Schnittholz aus entsprechend alten und damit starken Douglasien günstigere elastomechanische Eigenschaften besitzt, eine im Sinne der angestrebten Zielstärkennutzung positive Erscheinung. Zwischen Rohdichte und Juvenilholzanteil bestehen Interkorrelationen, was sich bei der multiplen Regressionsanalyse zeigen wird.

Die Beziehungen zwischen Steifigkeit und Biegefestigkeit sind anwendungsbezogen von großem Gewicht. Zerstörungsfreie Holzprüfungen in Gebrauchsabmessungen basieren sowohl in der Holzindustrie als auch in der angewandten Holzforschung auf der Bestimmung des statischen bzw. dynamischen Elastizitätsmoduls. Zwischen der Biegefestigkeit und dem statischen bzw. dynamischen Elastizitätsmodul bestehen die in dieser Untersuchung engsten gefundenen Beziehungen ( $r = 0,74$  bzw.  $0,73$ ). Untereinander sind die elastischen Eigenschaften sehr hoch korreliert ( $r = 0,94$ ). Eine Schätzung der Festigkeit auf Basis der Elastizitätsmoduln wird damit möglich und hinsichtlich ihrer Genauigkeit bei einer simulierten maschinellen Sortierung verifiziert. Das GRINDO-SONIC-Meßsystem, beruhend auf dem Eigenfrequenzprinzip, hat sich zur Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls bewährt und stellt eine vorteilhafte Alternative gegenüber dem herkömmlichen Meßverfahren dar.

Zur Abschätzung der Biegefestigkeit als der entscheidenden Zielgröße im Holzkonstruktionsbereich dienen zwei multiple lineare Regressionsmodelle, die jeweils für das gesamte Untersuchungskollektiv (425 Kanthölzer) aufgestellt wurden, um die mehrfaktorielle Abhängigkeit der Biegefestigkeit des Schnittholzes von in Rheinland-Pfalz gewachsenen Douglasien aufzuzeigen. Im einfacheren Regressionsmodell A mit Regressoren, die ohne besonderen Meßaufwand zu erheben sind, werden lediglich rd. 40 % der Festigkeits-

streuungen aufgeklärt, wobei die Ästigkeit rd. 25 %, die Rohdichte rd. 10 % und die Jahrringbreite nur rd. 5 % Erklärungsanteil erbringen. Im Regressionsmodell B mit den Regressoren dynamischer Elastizitätsmodul, Ästigkeit sowie Jahrringbreite werden knapp 60 % der Festigkeitsstreuungen aufgeklärt, wobei der E-Modul mit fast 44 % Erklärungsanteil herausragt, was seine Bedeutung für eine maschinelle Sortierung nochmals betont. Die Ästigkeit erklärt rd. 12 % und die Jahrringbreite nur noch rd. 2,5 % der Biegefestigkeitsstreuungen. Bedingt durch Interkorrelationen mit dem dynamischen E-Modul erreichten Rohdichte und Juvenilholzanteil im schrittweisen multiplen Regressionsmodell B die Signifikanzschwelle nicht. Damit wird klar, daß visuell einfache Parameter wie Ästigkeit und Jahrringbreite nur begrenzt Schlüsse auf die Biegefestigkeit zulassen, was sich auf die Qualität visueller Sortierverfahren auswirken muß. Dagegen wird die Bedeutung des E-Moduls zur Vorhersage der Biegefestigkeit mehrfach bestätigt: bei der einfachen Regression erklärt er über 50 % der Festigkeitsstreuungen, und auch im multiplen Regressionsmodell gehen die weitaus höchsten Erklärungsanteile auf ihn zurück. Einflüsse von Rohdichte und Juvenilholzanteil gehen in ihm auf und entfallen damit im multiplen Regressionsmodell B.

Von welchen unterschiedlichen und in ihrer synergistischen Wirkung nur unvollkommen (s. o.) erklärbaren Faktoren die Biegefestigkeit im Einzelfall abhängt, ergab eine Sichtung der erhobenen Einflußgrößen bei den 20 Kanthölzern mit den höchsten Biegefestigkeiten. Keineswegs hatte beispielsweise das Kantholz mit der höchsten Biegefestigkeit etwa die höchsten E-Modul-Werte, eine auffallend hohe Rohdichte, eine geringe mittlere Jahrringbreite oder etwa besonders kleine Äste. Es entsprach lediglich der visuellen Sortierklasse S 10. Auch waren unter diesen 20 "besten" Kanthölzern zwei Kanthölzer der niedrigsten visuellen Sortierklasse S 7. Um noch ein Beispiel hinsichtlich der Variabilität der Biegefestigkeit anzuführen: zwei Kanthölzer - unmittelbar benachbart aus einem Stammabschnitt - lagen mit ihrer Biegefestigkeit im einen Fall bei den 20 "besten", im anderen Fall bei den 20 "schlechtesten" Kanthölzern. Diese Betrachtung ließe sich fortführen, soll aber nur die Grenzen der gefundenen statistischen Beziehungen zur Vorhersage der Biegefestigkeit des einzelnen Kantholzes aufzeigen.

Die Ergebnisse der visuellen Schnittholzsortierung nach DIN 4074 verdeutlichen wieder die Unterschiede zwischen den Beständen. Während von den eng begründeten Beständen rund 70 % der Kanthölzer in die beiden höchsten Sortierklassen fallen, zeigt der jüngere Bestand aus Weitverband eine Abnahme in diesen Klassen um rund 5 %, aus dem älteren Bestand aus Weitverband dagegen sind nur noch rd. 40 % der Kanthölzer in den beiden höchsten Sortierklassen vertreten. Einflüsse von Alter und Standort werden damit nicht offenbar, der mutmaßlich extrem weite Pflanzverband bei dem älteren Bestand auf mäßi-

gem Standort wirkt sich dagegen deutlich negativ aus. Der Trend abnehmender Qualität mit zunehmender Stammhöhe ist bei der Schnittholzsortierung bei allen Beständen unverkennbar. In 95 % aller Fälle führte der größte Astdurchmesser zur Absortierung der Kanthölzer aus der höchsten Sortierklasse. Von nachgeordneter Bedeutung waren in absteigender Reihenfolge die Sortierkriterien Krümmung, Jahrringbreite und Faserneigung. Weitere Kriterien waren nicht sortierwirksam. Zu betonen ist die Abhängigkeit des Sortierergebnisses vom Kantholzquerschnitt, werden nach DIN 4074 die zulässigen Astdurchmesser doch immer auf die zugehörige Querschnittseite bezogen. Dies führt bei schlanken Querschnitten zu deutlich schlechteren Sortierergebnissen. Die zentrale Bedeutung der Ästigkeit für die visuelle Schnittholzsortierung wird nicht zuletzt dadurch unterstrichen, daß alle zehn aussortierten Kanthölzer aufgrund ihrer Ästigkeit nicht einmal mehr den Anforderungen der niedrigsten Sortierklasse genügten.

Die Sortierqualität der gültigen DIN 4074 ist durch einen sortierklassenbezogenen Mittelwertsvergleich der Biegefestigkeiten statistisch abzusichern. Gemäß den DIN-Kriterien waren insgesamt nur fünf Kanthölzer als hinsichtlich der geforderten Mindestfestigkeiten fehlsortiert zu bezeichnen. Dagegen kann jedoch die Trennschärfe der gültigen DIN 4074 hinsichtlich der Biegefestigkeit zur Sortierung der untersuchten Douglasien-Kanthölzer nicht befriedigen. Sortierklassenbezogen weisen die Douglasien-Kanthölzer erhebliche Festigkeitsreserven auf. Beim direkten Vergleich von dimensionsgleichen Kanthölzern aus Fichte und Douglasie kam zum Ausdruck, daß die Douglasien-Kanthölzer bei höheren Astdurchmessern durchaus mit den Fichtenkanthölzern vergleichbare, wenn nicht gar höhere Biegefestigkeiten aufweisen. Deshalb wird vorgeschlagen, für die Douglasie sortierklassenbezogen die zulässigen Einzelastquotienten jeweils linear um den Betrag von 0,1 zu erhöhen. Diese für die Douglasie modifizierte visuelle Sortierung erbrächte eine wirtschaftlich bedeutsame Ausbeutesteigerung (23 % mehr Kanthölzer in den beiden höchsten Sortierklassen), ohne gravierende Einbußen an Festigkeitsreserven bei tolerierbar höherem Fehlsortierungsrisiko in Kauf nehmen zu müssen.

Im Hinblick auf die weiter zunehmende maschinelle Festigkeitssortierung im Konstruktionsholzbereich werden zwei Sortierungsvarianten auf Basis des statischen bzw. dynamischen E-Moduls simuliert. Beide Sortiersimulationen - eine korrekte Meßtechnik vorausgesetzt - ermöglichen eine gegenüber den visuellen Sortierungsvarianten deutliche Ausbeutesteigerung. Lediglich 16 % (stat. E-Modul) bzw. 9 % (dyn. E-Modul) der Kanthölzer fallen in die niedrigste Sortierklasse, während jeweils rd. 40 % der Kanthölzer den beiden höchsten "maschinellen Sortierklassen" zuzuordnen sind. Die Fehlsortierungsquote ist gegenüber den visuellen Sortierungsvarianten deutlich vermindert bei gleichzeitig höheren Trennschärfen.

Die Unterschiede zwischen den Beständen treten anhand der Ergebnisse der verschiedenen Sortierungsvarianten einmal mehr deutlich hervor. Alle vorgestellten Sortierungsvarianten belegen einheitlich, daß die Schnittholzqualität von Durchforstungsmaterial aus rheinland-pfälzischen Douglasienbeständen in vorliegender Untersuchung ganz wesentlich vom Standraum geprägt wird. Die Einflußfaktoren Alter und Standort wirken sich zumindest innerhalb der untersuchten Bandbreite nicht entscheidend aus. Extreme Pflanzverbände wie bei dem älteren Bestand auf mäßigem Standort haben empfindliche Qualitätseinbußen sowohl beim Rund- als auch beim Schnittholz zur Folge.

Der bestandesweise Vergleich zwischen der Rundholzsartierung nach CEN und der visuellen Schnittholzsortierung nach DIN 4074 zeigt bei gleichen Rundholz-Güteklassen eine schlechtere Schnittholzausbeute bei beiden Beständen aus Weitverband. Generell jedoch ist der Schluß von den äußeren auf die inneren Holzeigenschaften in vorliegender Untersuchung nicht mit hinreichender Sicherheit möglich. Eine bessere Übereinstimmung zwischen Rund- und Schnittholzqualität ergibt sich bei Anwendung der vorgeschlagenen modifizierten DIN 4074. Damit würde insbesondere den größeren Astdurchmessern der Douglasie Rechnung getragen und gleichzeitig könnte mit etwas größerer Sicherheit von der Rund- auf die Schnittholzqualität geschlossen werden. Die Divergenz zwischen visueller Rundholzansprache und maschineller Schnittholzsortierung ist noch größer. Je genauer eine maschinelle Sortierung auf die Tragfähigkeit des Schnittholzes schließen läßt, desto weniger kann die herkömmliche Rundholzansprache befriedigen. Neuartige Methoden der Rundholzbewertung könnten hier Abhilfe schaffen. Ansprüche an die optische Qualität des Rund- und Schnittholzes dürfen auch bei ausschließlich festigkeitsorientierten Sortiermethoden allerdings nicht vernachlässigt werden.

Abschließend sind nachstehende Folgerungen für die Forstwirtschaft abzuleiten:

Das Schnittholz aus ungeästetem Durchforstungsmaterial von in Rheinland-Pfalz auf geeigneten Standorten gewachsenen Douglasien ist uneingeschränkt für die Verwendung im Holzkonstruktionsbereich einsetzbar. Der Vergleich des Rund- und Schnittholzes aus fünf Beständen, die sich in mindestens einem der Einflußfaktoren "ALTER, STANDRAUM, STANDORT" unterscheiden, zeigt die herausragende Bedeutung der Standortgestaltung für die Holzqualität auf. Alters- und Standortsunterschiede in der untersuchten Bandbreite wirken sich auf die Holzqualität nicht entscheidend aus. Auch die Holzqualität des Bestandes aus 4 x 4 m Verband ist gemessen an den konventionell begründeten Beständen noch akzeptabel. Extreme Weitverbände bedingen insbesondere durch die Ästigkeit hervorgerufene Einbußen der Rund- und Schnittholzqualität. Hebt die waldbauliche Zielsetzung auf die Zielgröße "Rundholz-Qualität" ab, so sind auch -

wie für Z-Bäume obligatorisch - Wertstümpfmaßnahmen bei den im Zuge der Durchforstung zu entnehmenden Bestandegliedern in Erwägung zu ziehen. Ob allein Wertstümpfmaßnahmen die erwünschte Holzqualität auf wüchsigen Standorten im Hinblick auf Jahrringbreitenentwicklung und Holzdichte zu sichern vermögen, bedarf weiterer Forschung. Das Produktionsziel "Wertholz" (Furnier-, Schneideholz) kann bei der Douglasie ohnehin nur auf geeigneten Standorten mittels einer Standraumgestaltung bzw. Überschirmung, die ihr ungezügelter Jugendwachstum dämpft, erreicht werden. Dabei sind Wertstümpfmaßnahmen und entsprechende Dimensionen Voraussetzung. Das hierbei anfallende ungeästete Durchforstungsmaterial läßt eine Schnittholzqualität erwarten, die etwa der aus den drei konventionell begründeten Beständen vorliegender Untersuchung entspricht. Extreme Behandlungskonzepte mit dem Produktionsziel "normales" Stammholz für Bauzwecke lassen zwar noch die Produktion von Rundholzqualitäten mit hohen Anteilen der Güteklasse C zu, woraus jedoch auch hohe Anteile des Schnittholzes in die niedrigsten Sortierklassen fallen. Ob die waldbaulichen-ertragskundlichen Vorteile dieser stammzahlarmer Behandlungskonzepte den Verlust an Holzqualität wettmachen, bleibt abzuwarten bzw. einer Bewertung am Markt vorbehalten.

Die visuelle Bewertung des Schnittholzes nach gültiger DIN 4074 läßt zwar sichere Schlüsse auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften der untersuchten Douglasien-Kanthölzer zu. Die im Vergleich zu anderen Nadelhölzern höheren Festigkeitsreserven der Douglasien-Kanthölzer lassen sich durch die vorgeschlagene Erhöhung des Astquotienten für Douglasien-Schnittholz auch wirtschaftlich nutzen. (Die besonderen Wuchsmerkmale der eigenständigen Baumart Douglasie fanden in der DIN 4074 hinsichtlich der zulässigen Jahrringbreiten schon einmal Berücksichtigung.)

Die Vorteile der maschinellen Sortierung für eine trennscharfe qualitätsbezogene Ausnutzung des Rohstoffes Holz werden offenkundig. Besonders die einfache Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls nach dem Eigenfrequenzprinzip hat sich in vorliegender Untersuchung einmal mehr bewährt. Investitionsanreize für die Sägeindustrie könnten einer weiteren Verbreitung der maschinellen Sortierung Vorschub leisten. Die günstigen Festigkeitseigenschaften rheinland-pfälzischen Douglasienschnittholzes zu Konstruktionszwecken kämen damit im Wortsinn zum Tragen und etwaige Unsicherheiten bei Planern, Holzbearbeitern und Bauherren können ausgeräumt werden. Die so seitens der Anbieter objektivierte Qualität des Douglasienschnittholzes wird die Nachfrage nach dem Holz dieser besonders schönen und waldbaulich ausnehmend attraktiven, weil vielseitigen Baumart steigern.

## 7. Zusammenfassung

Das Holz der Douglasie steht im Konstruktionsbereich im Wettbewerb mit den bei Planern und Verwendern eingeführten und marktgängigen Nadelholzarten Kiefer, Tanne und insbesondere Fichte sowie Substitutionsprodukten wie Beton, Stahl und Verbundwerkstoffen. Obgleich Douglasienholz in Deutschland als aus Nordamerika importiertes "Oregon-Pine" hohe Wertschätzung genießt, bestehen hinsichtlich der Holzqualität heimischen Douglasienholzes Informationsdefizite, welche die erwünschte Nachfrage behindern. Dem steht auf der Angebotsseite ein in den nächsten Jahrzehnten stark zunehmendes Potential an sägefähigem Douglasienholz gegenüber. Um ein vergleichsweise unbekanntes Produkt am Markt plazieren zu können, müssen dessen Eigenschaften - im vorliegenden Fall die Eignung und Qualität ungeästeten Douglasien-Stammholzes zur Schnittholzerzeugung - objektiviert und offengelegt werden. Gerade bei der Verwendung im konstruktiven Bereich sind Steifigkeit und insbesondere die Tragfähigkeit des eingesetzten Materials von entscheidender Bedeutung. Diese Eigenschaften lassen sich nur mittels Prüfung der elastomechanischen Kenngrößen Elastizitätsmodul und Biegefestigkeit in Gebrauchsabmessungen bestimmen, für die bei der Douglasie im Vergleich zu den gängigen Nadelholzarten in Mitteleuropa bislang wenige Großzahluntersuchungen vorliegen.

Die rheinland-pfälzische Douglasienwirtschaft, bisher waldbaulich eher traditionell ausgerichtet, benötigt für künftige, mindestens in Erwägung befindliche, stammzahlärmere Waldbaustrategien Hinweise auf die zu erwartende Rund- und Schnittholzqualität der beim Produktionsziel "Wertholz" (Furnier-, Schneideware) zwangsläufig mit anfallenden ungeästeten Durchforstungsbäume.

Die Zielsetzung vorliegender Arbeit versucht diesen Fragen nachzugehen, indem insbesondere die elastomechanischen Eigenschaften von Douglasien-Kanthölzern aus ungeästeten Durchforstungsstämmen von fünf Beständen, die sich in mindestens einer der gewählten unabhängigen Einflußvariablen "ALTER, STANDRAUM, STANDORT" unterscheiden, bestimmt wurden. Ausschließlich die Prüfung von Schnittholz in Gebrauchsabmessungen läßt eine verwendungsbezogene und damit praxisnahe Beurteilung von Schnittholz im Holzbaubereich zu. Der bestandesweise Forschungsansatz soll einen Überblick über das bestehende Potential und Hinweise für künftiges waldbauliches Handeln geben.

Die fünf Versuchsbestände aus vier Forstamtsbereichen stocken auf für die Douglasie typischen Standorten, womit die potentielle Standortpalette für die Douglasie in Rhein-

land-Pfalz befriedigend, wenn auch nicht vollständig abgedeckt wird. Die Bestände waren zum Zeitpunkt der Probenahme zwischen 58 und 83 Jahre alt. Aus jedem Bestand wurden jeweils 18 Versuchsbäume aus dem soziologischen Kollektiv der "mitherrschenden" Bestandesglieder nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Aus jedem Probebaum wurden drei qualitätstypische Abschnitte von vier Metern Länge (Erdstamm-, Mittel-, Zopfblock) ausgeformt, wonach die daraus resultierenden insgesamt 270 Abschnitte einer intensiven Rundholzbewertung nach HKS und CEN-Vornorm-Entwurf unterzogen wurden. Am stärkeren Ende eines jeden Abschnitts wurden in gleicher Anzahl (270) Stammscheiben gewonnen, an denen die holzanatomischen Basiseigenschaften (Jahrringstruktur, Früh-/Spätholzbreite, Kern-/Splintanteile) sowie als holzphysikalische Kenngröße die Darrdichte ermittelt wurden. Die Stammscheibenanalyse sollte als "Bindeglied zwischen Rund- und Schnittholzqualität" dienen. Aus den Abschnitten wurden in maximaler Anzahl scharfkantige Kanthölzer der "klassischen" Dachsparrendimension 8 x 16 cm erzeugt, insgesamt 425. Die Kanthölzer wurden visuell nach DIN 4074 sortiert. Ergänzend wurden alle Äste an den Kantholzoberflächen nach Anzahl und Dimension erfaßt. Auch die Juvenilholzanteile (20 innerste Jahrringe) wurden ermittelt.

Der Bestimmung des dynamischen Elastizitätsmoduls mittels des auf dem Eigenfrequenzprinzip basierenden GRINDO-SONIC-Meßsystems ging die Rohdichteermittlung  $r_{12}$  am Gesamtprüfkörper (Kantholz) voraus. Vor der anschließenden zerstörenden Biegeprüfung der Kanthölzer nach DIN 52186 wurde in einem Arbeitsgang als konventionelles Maß der Steifigkeit der statische Elastizitätsmodul bestimmt.

Nach der Rundholzsorrtierung nach CEN-Vornorm-Entwurf und ebenso nach den die Douglasie einbeziehenden baden-württembergischen, die HKS präzisierenden Sortiermerkblättern wird die Rundholzqualität maßgeblich von der Ästigkeit bestimmt. Sie sinkt erwartungsgemäß mit zunehmender Stammhöhe. Der Vergleich zwischen den Beständen weist als bestimmenden Einflußfaktor im Bereich der untersuchten Bandbreite die Standortgestaltung aus. Der ältere, mutmaßlich extrem weit begründete Bestand auf mäßigem Standort hebt sich nach beiden Sortiervorschriften als einziger deutlich negativ von den anderen Beständen ab. Alters- und standörtlich bedingte Unterschiede treten bei der Rundholzsorrtierung nicht zutage. Damit wird die Notwendigkeit der Wertästung bei weit begründeten Beständen auch auf schwachem Standort offenkundig.

Aus den Ergebnissen der Stammscheibenauswertung bleibt zu folgern, daß vor allem Einflüsse des Baumalters von Bedeutung sind. Ausgangspflanzenverband und Standortgüte wirken sich - offenbar aufgrund der innerhalb der Versuchsbestände vergleichsweise

geringen Bandbreite dieser Einflußvariablen - auf die holzanatomischen und -physikalischen Basiseigenschaften nicht entscheidend aus. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß dieser globale Ansatz - beruhend auf Mittelwertsvergleichen über den gesamten Stammquerschnitt - zuwachszonebezogene Unterschiede, die u. a. Gegenstand von begleitenden Diplomarbeiten waren, überdeckt. Für praxisbezogene Aussagen über die mittlere Schnittholzqualität eines Stammabschnittes können diese verfeinerten Analysemethoden jedoch keinen Beitrag leisten.

Die an den Kanthölzern nach DIN 4074 ermittelten durchschnittlichen Jahrringbreiten wie auch die mittleren Rohdichtewerte können als durchschnittlich gelten. Die Ästigkeit des Schnittholzes zeichnet die Entwicklung beim Rundholz nach: mit zunehmender Stammhöhe steigen die Astdurchmesser bis zu einem Maximum von 61 mm an. Mit mittleren Anteilen an den Kantholzvolumina von über 60 % bei den älteren und bis fast 100 % bei den jüngeren Beständen ist das Schnittholz aus allen Beständen einschneidend stark von festigkeitsmindernden juvenilen Holzstrukturen geprägt.

Die elastomechanischen Eigenschaften der Kanthölzer nehmen tendenziell mit der Stammhöhe ab. Bestandesbezogen sind negative Abweichungen der elastomechanischen Kennwerte nur bei dem älteren Bestand aus Weitverband statistisch abzusichern. Alter und Standortqualität wirken sich nicht signifikant aus. Der Vergleich der elastomechanischen Kennwerte der Douglasie mit denjenigen für Fichte und Tanne aus der Literatur ergibt eine beachtliche Überlegenheit der Douglasie in der höchsten Sortierklasse. In der mittleren und unteren Sortierklasse ist das Douglasien-Schnittholz dem aus Fichte und Tanne ebenbürtig. Der direkte Vergleich der elastomechanischen Kennwerte zwischen dimensionsgleichen Kanthölzern von Douglasie und Fichte belegt, daß bei den Douglasien-Kanthölzern bei gegenüber den Fichten-Kanthölzern deutlich größeren Astdurchmessern keine entsprechenden Festigkeitsverluste auftreten. Damit ist auf eine überlegene Tragfähigkeit bei Holzkonstruktionen zu schließen.

Mittels der schließenden Statistik lassen sich die Einflüsse auf die elastomechanischen Kenngrößen bewerten; es wurden alle 425 Kanthölzer in diese Analyse einbezogen. Jahrringbreite, Rohdichte und Juvenilholzanteil zeigen aufgrund der im Versuchsmaterial gegebenen, vergleichsweise geringen Bandbreite dieser Merkmale teilweise nur mäßig straffe Zusammenhänge. Aus dem gleichen Grund sind auch die Beziehungen zwischen Jahrringbreite und den elastomechanischen Kenngrößen nur mäßig straff. Damit wird die begrenzte Bedeutung des in der Sortierpraxis von Rund- und Schnittholz geläufigen Sortiermerkmals Jahrringbreite zumindest für vorliegende Untersuchung offenbar. Rohdichte und Ästigkeit sind mit den elastomechanischen Kenngrößen deutlich enger korreliert.

Während sinkende Rohdichtewerte v.a. die Steifigkeit vermindern, wirkt sich die Ästigkeit mehr auf die Festigkeit aus. Die zentrale Bedeutung der Ästigkeit für die Rund- und Schnittholzbewertung wird durch die relativ straffe Beziehung zur Biegefestigkeit unterstrichen.

Die auf hohem Niveau geringe Bandbreite der Juvenilholzanteile im Versuchsmaterial lassen zunächst nur mäßig straffe Beziehungen zu den elastomechanischen Kenngrößen erkennen. Klassifizierte Juvenilholzanteile machen ihren negativen Einfluß deutlicher. In der Konsequenz dürfte Schnittholz aus älteren und damit stärkeren Douglasien diesbezüglich günstigere Holzeigenschaften aufweisen, ein zugkräftiges Argument für die Zielstärkennutzung.

Anwendungsbezogen von herausragender Bedeutung sind die engen Beziehungen zwischen Steifigkeit und Festigkeit. Statischer wie auch dynamischer Elastizitätsmodul stehen in enger Beziehung zur Biegefestigkeit. Beide Elastizitätsmoduln machen damit Festigkeitsschätzungen möglich, was anhand simulierter maschineller Sortierungen nachgewiesen wird. Das nach dem Eigenfrequenzprinzip arbeitende GRINDO-SONIC-Meßsystem zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls hat sich bewährt und besitzt gegenüber dem konventionellen Meßverfahren in der Anwendungspraxis Vorteile.

Zwei multiple lineare Regressionsmodelle wurden aufgestellt, um die mehrfaktorielle Beeinflussung der entscheidenden Zielgröße Biegefestigkeit aufzuzeigen. Ein erstes multiples Regressionsmodell, dessen Variablen ohne aufwendiges Meßgerät bestimmt werden können, erklärt rd. 40 % der Festigkeitsstreuungen, wobei in absteigender Reihenfolge der Ästigkeit rd. 25 %, der Rohdichte rd. 10 % und der Jahrringbreite noch etwa 5 % Erklärungsanteil zukommen. Das zweite Regressionsmodell mit dem maschinell zu ermittelnden dynamischen Elastizitätsmodul sowie Ästigkeit und Jahrringbreite als Regressoren vermag insgesamt rd. 60 % der Varianz aufzuklären, wovon fast 44 % auf den dynamischen E-Modul, rd. 12 % auf die Ästigkeit und nur noch rd. 2,5 % auf die Jahrringbreite entfallen. Rohdichte und Juvenilholzanteil erreichen in diesem multiplen schrittweisen Regressionsmodell die Signifikanzschwelle nicht. Diese Ergebnisse legen Schlußfolgerungen für die Gestaltung der Sortierpraxis nahe: Visuell einfach zu bestimmende Wuchsmerkmale wie Ästigkeit und Jahrringbreite erlauben nur begrenzte Schlüsse auf die Biegefestigkeit. Im Vergleich dazu wird sich durch die Berücksichtigung der E-Moduln, gleich ob statisch oder dynamisch bestimmt, die Qualität der Vorhersage der Biegefestigkeit erheblich steigern lassen.

Auch in den Ergebnissen der visuellen Schnittholzsortierung nach DIN 4074 zeichnen sich die Unterschiede zwischen den Beständen deutlich ab. Aus den konventionell begründeten Beständen fallen rd. 70 % der Kanthölzer in die beiden höchsten Sortierklassen. Bei dem jüngeren Bestand aus 4 x 4 m Verband sinkt diese Ausbeute um rd. 5 %. Ein deutlicher Ausbeuteabfall ist bei dem älteren Bestand aus Weitverband mit einem Anteil von nur rd. 40 % zu verzeichnen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der Stammscheibenauswertung, bei der sich das Alter von dominierendem Einfluß auf die anatomischen und physikalischen Holzeigenschaften zeigt, wirkt sich bei der visuellen Schnittholzsortierung offensichtlich nur der extrem weite Pflanzverband negativ aus, ein Befund, der sich mit dem Ergebnis der Rundholzsortierung deckt. Daß mit zunehmender Stammhöhe eine Qualitätsabnahme einhergeht, ist wie beim Rundholz unverkennbar. Wirksamstes Kriterium der visuellen Schnittholzsortierung ist, wie bei der Analyse der die Biegefestigkeit bestimmenden Einflußvariablen deutlich wird, die Ästigkeit. Der größte Astdurchmesser führte in 95 % aller Fälle zur Absortierung aus der höchsten Sortierklasse. Krümmungen, Jahrringbreiten und Faserneigungen beeinflussten das Sortierergebnis vorliegender Untersuchung der Reihenfolge nach nicht wesentlich, andere Sortierkriterien überhaupt nicht.

Ein sortierklassenweiser Mittelwertvergleich zeigt statistisch gesicherte Unterschiede. Der hinsichtlich der geforderten Mindestfestigkeiten zu vernachlässigenden Fehlsortierungsquote der DIN 4074 stehen bei geringer sortierklassenbezogener Trennschärfe erhebliche Festigkeitsreserven der Douglasien-Kanthölzer besonders in der höchsten Sortierklasse gegenüber, woraus der Vorschlag für eine Anhebung des zulässigen Einzelastquotienten für Douglasienschnittholz abgeleitet wird. Diese für die Douglasie vorgeschlagene modifizierte visuelle Sortierung auf Basis einer sortierklassenweisen linearen Erhöhung des maximal zulässigen Einzelastquotienten um den Betrag von 0,1 hätte ökonomisch ins Gewicht fallende Vorteile, ohne gravierende Festigkeitseinbußen bei akzeptabel höherem Fehlsortierungsrisiko nach sich zu ziehen.

Wie sich bei der Korrelations- und Regressionsanalyse zeigt, sind beide Elastizitätsmoduln zur Vorhersage der Biegefestigkeit prädestiniert. Auf dieser Basis zeigen zwei Sortiersimulationen erhebliche Ausbeutesteigerungen bei gegenüber den visuellen Sortierungsvarianten deutlich geringeren Fehlsortierungsquoten und gleichzeitig höheren Trennschärfen.

Die Schnittholzqualität von ungeästetem Durchforstungsmaterial aus rheinland-pfälzischen Douglasienbeständen in vorliegender Arbeit ist ganz wesentlich vom Standraum geprägt. Alters- und Standortseinflüsse wirken sich auf die Holzqualität zumindest inner-

halb der untersuchten Bandbreite nicht entscheidend aus. Der Vergleich zwischen den Versuchsbeständen zeigt, daß extreme Pflanzverbände empfindliche Qualitätseinbußen beim Rundholz, und aus Sicht der Holzverwendung bedeutsamer noch, auch beim Schnittholz zur Folge haben.

Mit dieser Untersuchung wird die gute Eignung von Douglasien-Schnittholz für Konstruktionszwecke nach objektiven Maßstäben belegt. Der Einfluß der Standraumgestaltung auf die Holzqualität wird deutlich und kann bei waldbaulichen Behandlungskonzepten Berücksichtigung finden.

## 8. Summary

In Western Germany, lack of information regarding the wood quality of non-pruned Douglas firs may be one of the factors that contribute to low demand for this timber. Opposed to that Rhineland-Palatinate, with an abundance (about 38.000 hectares) of Douglas fir stands, offers permanently increasing supplies of Douglas fir sawlogs. Therefore the quality of the "non-pruned material" inevitably obtained in thinnings was to be investigated. The investigation focussed especially the suitability of non-pruned stems for construction timber principally defined by stiffness and strength.

The investigation included 425 beams (8 x 16 x 288 cm) produced from 270 logs of 90 non-pruned stems from thinnings in five stands which differ at least in one of the chosen independent characteristics "AGE, INITIAL SPACING, SITE". The main emphasis of the investigation was put on the destructive bending tests of the beams in accordance with DIN 52 186.

The round logs were graded in accordance with the European pre-norm draft (CEN TC 175 WG 4) and the special grading rules for Norway spruce and silver fir used in Baden-Württemberg. The grading result according to both grading rules was decisively determined by the branchiness. Cause to this, the round log quality of the older stand, with presumed extremely wide initial spacing, was clearly disadvantageous.

The visual grading of the beams in accordance with DIN 4074/I showed that knots had the most important influence on the grading result. In the stand with extremely wide initial spacing the yield in the higher grading classes dropped, compared to conventional initial spacing, about 40 percent.

The elastic-mechanical properties - stiffness (MOE) and strength (MOR) - of the beams from the stands with conventional initial spacing are significantly higher in comparison with those from the stand with extremely wide initial spacing. Altogether, Douglas fir timber of the highest visual grading class shows a superior bending strength in comparison with timber from Norway spruce and silver fir. The reserves in strength of Douglas fir timber may be utilized by modifying the current DIN 4074, respectively by machine stress grading. As a consequence the yield in the higher grading classes would increase substantially without serious losses to strength regarding the grading classes with almost the same rate of errors in grading.

The conclusion is that Douglas fir timber from non-pruned stems is suitable for construction timber in principle. Spacing is decisive for the size of the knots and consequently for timber quality (strength). As a result of extremely wide initial spacing those stands show severe quality losses of the round log as well as the sawn timber.

## 9. Literatur

- ABETZ, P. (1970)** : Jungbestandspflege im Zeichen optimaler Stammzahlhaltung. Der Forst- und Holzwirt 25 : 365-367
- ABETZ, P. (1975)** : Eine Entscheidungshilfe für die Durchforstung von Fichtenbeständen. Allgemeine Forstzeitschrift 30 : 666-667
- ABETZ, P. (1987)** : Das "Solitärprogramm 1987" - Ein Beitrag zur forstlich-relevanten Umweltkontrolle. Allgemeine Forstzeitschrift 42 : 1172
- ABETZ, P. (1991)** : Wald, (Baum-) Wachstum und Umwelt Forst und Holz 46 (7) : 163-166
- ABETZ, P. ; MERKEL, O. (1968)** : Aststärken und Schaftovalität in Fichten-Reihenbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 139 : 138-145
- ABETZ, P. ; UNFRIED, P. (1983)** : Aststärken an Z-Bäumen in einem Fichtenstandraumversuch im Forstbezirk Riedlingen/Donau. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 154 : 189-197
- ANONYMUS (1959)** : Die Douglasie und ihr Holz - Besprechung des gleichnamigen Buches. Allgemeine Forstzeitschrift 14 : 158-160
- ANONYMUS (1988)** : Sortiermerkblätter für Stammholz. Vereinbarung zwischen der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg und den Baden-Württembergischen Sägewerksverbänden.
- ANONYMUS (1994)** : Mit maschineller Schnittholz-Festigkeitssortierung zu schlanken Bauteil-Querschnitten. Holz-Zentralblatt 120 (15) : 253-254
- BACKHAUS, K. ; ERICHSON, B. ; PLINKE, W. ; SCHUCHARD-FISCHER, C. ; WEBER, R. (1986)** : Multivariate Analysemethoden. Vierte, neu bearb. und erw. Auflage. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag.
- BARRETT, J.D. ; KELLOGG, R.M. (1984)** : Strength and Stiffness of Second-Growth Douglas-fir Dimension Lumber. FORINTEK Canada Corp., Report No. FR 22
- BARRETT, J.D. ; KELLOGG, R.M. (1986)** : Lumber Quality from Second Growth Managed Forests. Workshop: Juvenile wood - What does it mean to forest management and forest products? Canada 1986. Proceedings 47309 : 57-71
- BARRETT, J.D. ; KELLOGG, R.M. (1989)** : Second Growth Douglas-Fir: Its Management and Conversion for Value. Part II: Characterizing the Resource - Strength and Stiffness of Dimension Lumber. Report of the Douglas-Fir Task Force. FORINTEK Canada Corp., Special Publication No. SP-32 : 50-58
- BARRETT, J.D. ; KELLOGG, R.M. (1991)** : Bending strength and stiffness of second-growth Douglas-fir dimension lumber. Forest Products Journal 41 : 35-43
- BAUER, F. (1959)** : Praktische Erfahrungen in der Verwertung und Verwendung von Douglasienholz. Allgemeine Forstzeitschrift 14 (8) : 168-169
- BEALL, F.C. (1987)** : Acoustic emission and acousto-ultrasonics for application to wood products. Proceedings 6th Non-destructive Testing of Wood Symposium. Washington State University. Pullman, Washington State.
- BEALL, F.C. (1988)** : Non-destructive testing and evaluation for wood products. Proceedings of the Conference of Non-Destructive Testing and Evaluation for Manufacturing and Construction. Urbana, Illinois.

- BECKER, G. (1993)** : Verfahren der zerstörungsfreien Holzprüfung - Entwicklungstendenzen in Nordamerika und Folgerungen für die Anwendung in Mitteleuropa. Holz als Roh- und Werkstoff 51 : 83-87
- BECKER, G. ; HAPLA, F. ; TEUTENBERG, A. (1990)** : Untersuchung der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen - Rund- und Schnittholzqualität. Holz als Roh- und Werkstoff 48 (10) : 339-343
- BECKER, G. ; NIEPAGEN, A. (1992)** : The evaluation of some strength properties of wood. Comparison of destructive and non-destructive testing methods. IUFRO Proceedings (Division 5). Vol.1. Nancy : 337
- BENDTSEN, B.A. (1978)** : Properties of Wood From Improved And Intensively Managed Trees. Forest Products Journal 28 : 61-72
- BENDTSEN, B.A. ; PLANTINGS, P.L. ; SNELLGROVE, T.A., (1987)** : The Influence of Juvenile Wood on the Mechanical Properties of 2x4's Cut from Douglas-fir Plantations. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin.
- BERGEL, D. (1985)** : Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland. Aus der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Abteilung Waldwachstum. 72 S.
- BOHANNAN, B. (1966)** : Effect of Size on Bending Strength of Wood Members. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin, Research Paper FPL-56 . 30 S.
- BOSSHARD, H.H. (1974)** : Holzkunde 2. Band. Zur Biologie, Physik und Chemie des Holzes. Basel Stuttgart : Birkhäuser-Verlag.
- BOSTROM, L. (1992)** : Machine stress grading - A comparison between four different machines. IUFRO Proceedings (Division 5). Vol. 1. Nancy : 340
- BRAUN, H.J. (1982)** : Lehrbuch der Forstbotanik. Stuttgart-New York : Gustav Fischer Verlag.
- BRAZIER, J.D. (1973)** : Better Softwoods from Existing Forests. Commonwealth Forestry Review 152 : 125-132
- BRAZIER, J.D. (1977)** : The Effect of Forest Practices on Quality of the Harvested Crop. Forestry 50 : 49-66
- BRITISH COLUMBIA MINISTRY OF FORESTS (1980)** : Douglas-Fir Log Grades. Forest Service Scaling Manual (Revised March 1983). B.C. Ministry of Forests, Victoria.
- BÜCHER, K ; ACHTERBERG, W. (1987)** : Die Douglasie, ein Messerfurnierholz. Sozialistische Forstwirtschaft 37 (6) : 181-183
- BURGER, H. (1935)** : Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen. XIX. Band, 1. Heft, Zürich : Kommissionsverlag von Beer u. Cie.
- CHALK, L. (1951)** : Water and Growth of Wood of Douglas Fir. Imperial Forestry Institute Oxford. Quarterly Journal of Forestry Band 45, Nr. 4
- CHALK, L. (1953)** : Variation of Density in Stems of Douglas-Fir. Forestry Band 26
- CIESLAR, A. (1898)** : Vergleichende Studien über Zuwachs und Holzqualität von Fichte und Douglastanne. Centralblatt für das gesamte Forstwesen : 355
- CMA (1986)** : Untersuchung über die Eignung von einheimischem Douglasienholz für die Fensterherstellung. Centrale Marketinggesellschaft der deutschen Agrarwirtschaft mbH. 1. Auflage.

- COHEN, J. ; COHEN, P. (1975) :** Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences. New York u.a. : John Wiley & Sons.
- DI LUCCA, C.M. (1989) :** Second Growth Douglas-Fir: Its Management and Conversion for Value Part II: Characterizing the Resource - Juvenile- Mature Wood Transition. Report of the Douglas-Fir Task Force. FORINTEK Canada Corp., Special Publication No. SP-32 : 23-38
- DIN (1988) :** Holzbau, Normen über Holz. 5.Auflage : DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DIN (1991) :** Holzbau, Normen (Bauwesen 3). 7.Auflage : DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
- DOEBEL, R. (1993) :** Untersuchung über die Variabilität der Faserneigung an Eschen- (*Fraxinus excelsior* L.) und Douglasienholz (*Pseudotsuga menziesii* Franco). Diplomarbeit am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- DUFNER, J. ; JENSEN, U. ; SCHUMACHER, E. (1992) :** Statistik mit SAS. Stuttgart : Teubner-Studienbücher Mathematik.
- DU HAMEL DU MONCEAU, H.L. (1764) :** De l'Exploitation des Bois. Paris : Guerin et Delatour.
- EISELE, F.L. (1989) :** Überlegung zur Sortierung, Vermessung und Kennzeichnung von Rundholz (I). Zur Einführung der neuen Rundholzsortiervorschrift in Nordrhein-Westfalen. Holz-Zentralblatt 115 (124) : 1950-1951
- FALK, R.J. ; ROSS, R.J. (1990) :** Methods for Assessing Wood Structures in Place. American Society of Civil Engineers. Vol.1: 324-330
- FEWELL, A.R. ; BENHAM, C.A. ; MOORE, G.L. (1982) :** How strong is British DF? Forestry and British Timber, May 1982 : 15-17
- GAEBELER, H.J. (1981) :** Die Douglasie - Probleme, Hoffnungen und Gefahren. Holz-Zentralblatt 107 : 1959-1961
- GALILEI, G. (1638) :** Discorsi e Dimostrazioni Matematiche. Leiden.
- GAYER, K. ; FABRICIUS, L. (1949) :** Die Forstbenutzung. 14.Auflage. Berlin und Hamburg: Paul Parey Verlag.
- GLOS, P. (1978) :** Zur Bestimmung des Festigkeitsverhaltens von Brettschichtholz bei Druckbeanspruchung aus Werkstoff- und Einwirkungskenngrößen. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke. Technische Universität München. Heft 35
- GLOS, P. (1981) :** Zur Modellierung des Festigkeitsverhaltens von Bauholz bei Druck-, Zug- und Biegebeanspruchung. Berichte zur Zuverlässigkeitstheorie der Bauwerke. Technische Universität München. Heft 61
- GLOS, P. (1983) :** Die technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Schnittholzsortierung im Mittel- und Kleinbetrieb. SAH Bulletin 1983/1: 13-35
- GLOS, P. (1986) :** Ermittlung des nationalen und internationalen Standes der maschinellen Holzsortierung. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. - Schlußbericht, Forschungsprojekt BOS021D(B) im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaft. München.
- GLOS, P. ; SPENGLER, R. (1985) :** Festigkeitseigenschaften von Bauschnittholz aus gesunden und unterschiedlich stark erkrankten Fichten. Bericht an die Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. im Rahmen des Programms : Ermittlung der Holzqualität immissionsgeschädigter Bäume. 27 S.

- GLOS, P. ; GAMM, A. ; FUCHS, H. (1986) :** Untersuchung von Kiefern schnittholz in Gebrauchsabmessungen.  
In: Ermittlung der Holzqualität von Kiefern aus immissionsgeschädigten Beständen.  
Bonn : CMA : 96-126
- GLOS, P. ; SCHULZ, H. (1986) :** Qualität und Festigkeit von Bauschnittholz aus Waldschadensgebieten.  
Holz als Roh- und Werkstoff 44 : 293-302
- GLOS, P. ; DIEBOLD, R. (1987) :** Einfluß verschiedener Sortierbedingungen auf die Biegefestigkeit von Bauholz. Abschlußbericht 84 510. Institut für Holzforschung, Universität München.
- GLOS, P. ; GAMM, A. ; DIEBOLD, R., (1988) :** Ermittlung von Klassifizierungskriterien für einheimisches Fichtenschnittholz mit kleinen Querschnitten. Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V. München. Abschlußbericht 87503, 69 S.
- GLOS, P. ; HENRICI, D. (1991) :** Biegefestigkeit und Biege-E-Modul von Fichtenbauholz im Temperaturbereich bis 150 ° C. Holz als Roh- und Werkstoff 49 : 417-422
- GÖHRE, K. (1955 a) :** Die Rohwichte des Douglasienholzes, ihre Verteilung im Stamm und Abhängigkeit vom Abstand vom Mark, Jahrringbreite und Spätholzanteil.  
Archiv für Forstwesen 4 : 639-660
- GÖHRE, K. (1955 b) :** Einfluß von Wuchsgebiet, Standort, Rasse und Bewirtschaftung auf die Rohwichte des Holzes. Archiv für Forstwesen 4 : 414-433
- GÖHRE, K. (1958 a) :** Die Douglasie und ihr Holz. Berlin : Akademie-Verlag.
- GÖHRE, K. (1958 b) :** Über die Verteilung der Rohwichte im Stamm und ihre Beeinflussung durch Wuchsgebiet und Standort. Holz als Roh- und Werkstoff 16 : 77-89
- GÖRLACHER, R. (1984) :** Ein neues Meßverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls von Holz.  
Holz als Roh- und Werkstoff 42 : 219-222
- GÖRLACHER, R. (1990) :** Klassifizierung von Brettschichtholzlamellen durch Messung von Longitudinalschwingungen. Berichte der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine der Universität Fridericiana Karlsruhe. 4. Folge, Heft 21. 160 S.
- GRAF, O. (1938) :** Tragfähigkeit der Bauhölzer und Holzverbindungen. Fachausschuß für Holzfragen.  
Berlin. 47 S.
- GRAMMEL, R.H. (1989) :** Forstbenutzung. Pareys Studentexte 67. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey.
- GRAMMEL, R.H. (1990) :** Zusammenhänge zwischen Wachstumsbedingungen und holztechnologischen Eigenschaften der Fichte. Forstwissenschaftliches Centralblatt 109 : 120-129
- GRAMMEL, R.H. ; BECKER, G. ; GROSS, M. ; HÖWECKE, B. (1986) :** Untersuchung der Holzeigenschaften erkrankter Fichten und Tannen aus Baden-Württemberg auf der Basis von Werkstoff - und Gebrauchsprüfung. Forschungsbericht KfK - PEF Nr. 19, Karlsruhe. 89 S.
- GROSS, M. (1988) :** Untersuchung über das Festigkeitsverhalten von Tannenholz (*Abies alba* Mill.).  
Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. 205 S.
- HAPLA, F. (1980) :** Untersuchung der Auswirkung verschiedener Pflanzverbandsweiten auf die Holzeigenschaften der Douglasie. Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen. 182 S.

- HAPLA, F. (1985)** : Radiographisch-densitometrische Holzeigenschaftsuntersuchungen an Douglasien aus unterschiedlich durchforsteten Versuchsflächen.  
Holz als Roh- und Werkstoff 43 : 9-15
- HAPLA, F. (1986)** : Kriterien zur Versuchsplanung einer Holzeigenschaftsuntersuchung an immissionsgeschädigten sowie schadsymptomfreien Kiefern.  
Holz als Roh- u. Werkstoff 44 (8) : 303-305
- HAPLA, F. (1993)** : Versuchsplanung in der Holzforschung unter Berücksichtigung der Repräsentativität der Ergebnisse sowie des Arbeitsaufwands.  
Holz als Roh- und Werkstoff 51 : 88-92
- HAPLA, F.; BECKER, G. (1990)**: Physikalische und technologische Holzeigenschaften von Traubeneichen aus unterschiedlich dicht begründeten Beständen.  
Holz als Roh- und Werkstoff 48: 461-465
- HAPLA, F. ; KNIGGE, W. (1985 a)** : Untersuchung über die Auswirkung von Durchforstungsmaßnahmen auf die Holzeigenschaften der Douglasie. Schriften aus der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 81, 142 S.
- HAPLA, F. ; KNIGGE, W. (1985 b)** : Untersuchung des Splint-Kern-Verhältnisses an Douglasien aus Rein- und Mischbeständen. Xylorama: Trends in Wood Research. Basel u.a : Birkhäuser - Verlag.
- HAPLA, F. ; SABOROWSKI, J. (1984)** : Überlegungen zur Wahl des Stichprobenumfangs bei Untersuchungen der physikalischen und technologischen Holzeigenschaften.  
Forstarchiv 55 : 135-138
- HAPLA, F. ; SABOROWSKI, J. (1985)** : Retrospektive Diskussion der Versuchsplanung für eine Holzqualitätsuntersuchung. Forstarchiv 56 (3) : 118-121
- HAPLA, F. ; KNIGGE, W. ; ROMMERSKIRCHEN, A. (1987)** : Physikalische Holzeigenschaften und Zuwachs von schadsymptomfreien und immissionsgeschädigten Kiefern.  
Forstarchiv 58 (5) : 211-216
- HAPLA, F. ; SAUTER, U. (1987)** : Auswirkungen der Hoch- und Niederdurchforstung auf Zuwachs, Rohdichte und Festigkeit von Douglasien aus 100jährigen Beständen.  
Der Forst- und Holzwirt 42 : 310-314
- HARRIS, J.M. (1967)** : Wood density as a criterion for thinning Douglas fir.  
New Zealand Journal of Forestry 12 : 54-62
- HARRIS, J.M. (1978)** : Intrinsic wood properties of Douglas fir and how they can be modified.  
FRI Symposium No. 15, New Zealand, Reference No. 17 : 235-239
- HARRIS, J.M. (1985)** : Effects of Site and Silviculture on Wood Density of Douglas Fir Grown in Canterbury Conservancy. New Zealand Journal of Forestry 30 : 121-132
- HARRY, J. ; SMITH, G. (1980)** : Influences of spacing on radial growth and percentage latewood of Douglas-fir, western hemlock, and western redcedar. Canadian Journal of Forest Research 10 : 169-175
- HARTIG, R. (1884)** : Der Einfluß des Baumalters und der Jahrringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 60 : 181-186
- HEARMON, R.F.S. (1966)** : Vibration testing of wood. Forest Products Journal 16 : 29-39
- HEIMESHOFF, B. ; GLOS, P. (1980)** : Zugfestigkeit und Biege-E-Modul von Fichten-Brettlamellen.  
Holz als Roh- und Werkstoff 38 : 51-59

- HENGST, E. (1958)** : Ertragskundliche Untersuchungen der Douglasie an Beständen in Sachsen, Thüringen und im Harz. In : Göhre, K. : Die Douglasie und ihr Holz. Berlin : Akademie-Verlag. : 21-75
- HENNE, A. (1970)** : Douglasienanbau in Hessen. Allgemeine Forstzeitschrift 25 : 808-809
- HERMANN, R.K. (1981)** : Die Gattung Pseudotsuga - Ein Abriß ihrer Systematik, Geschichte und heutigen Verbreitung. Forstarchiv 52 : 204-212
- HERMANN, R.K. (1988)** : Douglasienwirtschaft im Pazifischen Nordwesten. Österreichische Forstzeitung 99 : 53-57
- HERRSCHAFT, T.H. (1991)** : Untersuchung der Kern- Splint- Verhältnisse sowie der Jahrringbreite von dicht begründeten Douglasien eines 34jährigen Douglasienbestandes. Diplomarbeit am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- HILF, H.H. (1959 a)** : Eine interessante Holzart : Douglasie (I) - Die Eigenschaften des Douglasienholzes. Holz-Zentralblatt 85 (55/56) : 740-743
- HILF, H.H. (1959 b)** : Eine interessante Holzart : Die Douglasie (II) - Die Verwertung des Douglasienholzes. Holz-Zentralblatt 85 (68) : 887-889
- HILF, H.H. (1963)** : Douglasienholz - Ermittlung seines künftigen Wertes; (I) Die Problematik der Verwertung von Douglasienholz in Deutschland. Holz-Zentralblatt 89 (141) : 2291-2292
- HILF, H.H. (1964)** : Douglasienholz - Ermittlung seines künftigen Wertes; (VI) Folgerungen aus den Grundlagen der Bewertung des Douglasienholzes. Holz-Zentralblatt 90 (25) : 441-443
- HILF, H.H. ; MAISENBACHER, H. (1962)** : Douglasien-Starkholz - Möglichkeiten und Aussichten künftigen Absatzes und Verwertungserlöses bei verschiedenen Einschnittarten. Forstarchiv 33 : 1-12
- HKS (1969)** : Verordnung über gesetzliche Handelsklassen für Rohholz vom 31. Juli 1969. Bundesgesetzblatt I : 149 (Anlage zum §1 und Zusatzbestimmungen der deutschen Bundesländer). Die Rohholzsortierung in der Bundesrepublik Deutschland. Strassenhaus : Wirtschafts- und Forstverlag Euting KG.
- HOLZ, D. ; PLICKAT, H. (1961)** : Über die Bestimmung der Darrdichte an kleinen Holzproben. Holz als Roh- und Werkstoff 19 (2) : 55-60
- JAHN, G. (1954)** : Standörtliche Grundlagen für den Anbau der grünen Douglasie. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 11, 112 S.
- JAHN, G. (1959)** : Über die standortbedingte Höhenwuchsleistung der grünen Douglasie und damit verbundene Anbaufragen in verschiedenen deutschen Waldswuchsräumen. Allgemeine Forstzeitschrift 14 (8) : 152-155
- JANKA, G. (1904)** : Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. II. Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge. Wien : Frick. 313 S.
- JESTAEDT, M. (1979)** : Bisherige Erkenntnisse aus der Douglasien-Provenienzforschung. Der Forst- und Holzwirt 34 : 138-141
- JOZSA, L.A. ; RICHARDS, J. ; JOHNSON, S.G. (1989)** : Second Growth Douglas-Fir: Its Management and Conversion for Value. Part II: Characterizing the Resource - Relative Density. Report of the Douglas-Fir Task Force. FORINTEK Canada Corp., Special Publication No. SP-32 : 5-22

- KAISER, T. ; PURPS, J. (1991)** : Der Anbau fremdländischer Baumarten aus der Sicht des Naturschutzes - diskutiert am Beispiel der Douglasie. Forst und Holz 46 : 304-305
- KELLOGG, R.M. (ED.) (1989)** : Second Growth Douglas-Fir: Its Management and Conversion for Value FORINTEK Canada Corp., Special Publication No. SP-32
- KENK, G. (1981)** : Auswirkungen von Douglasien-Pflanzverbänden auf Aststärken und Vornutzung sowie Überlegungen zur Ästungshöhe. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 152 : 168-180
- KENK, G. ; UNFRIED, P. (1980)** : Aststärken in Douglasienbeständen. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 151 : 201-210
- KENK, G. ; HRADEZKY, J. (1984)** : Behandlung und Wachstum der Douglasie in Baden-Württemberg. Mitteilungen der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. Heft 113, 89 S.
- KEYLWERTH, R. (1943)** : Das Schwinden und seine Beziehung zu Rohwichte und Aufbau des Holzes. Dissertation an der Technischen Hochschule Berlin.
- KEYLWERTH, R. (1954)** : Ein Beitrag zur qualitativen Zuwachsanalyse. Holz als Roh- und Werkstoff 12 : 77-83
- KLAUDITZ, W. ; STOLLEY, L. (1957)** : Untersuchungen über das Holz von Douglasien verschiedener Standorte in Niedersachsen. Aus dem Walde. Heft 1 : 51-73
- KLEBES, J. ; MAHLER, G. (1989)** : Bestrebungen für eine einheitlichere Rundholzsartierung. Teil 1 und 2. Holz-Zentralblatt 115 : 1716-1718 und 1749-1750
- KNIGGE, W. (1958)** : Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Holzeigenschaften und Wuchs der Gastbaumart Douglasie (*Pseudotsuga taxifolia* Britt.). Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 20, 101 S.
- KNIGGE, W. (1961)** : Der Einfluß verschiedener Wuchsbedingungen auf Eigenschaften und Verwertbarkeit des Nadelholzes. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 132 : 149-156
- KNIGGE, W. (1962)** : Untersuchungen über die Abhängigkeit der mittleren Rohdichte nordamerikanischer Douglasienstämme von unterschiedlichen Wuchsbedingungen. Holz als Roh- und Werkstoff 20 : 352-360
- KNIGGE, W. ; SCHULZ, H. (1966)** : Grundriß der Forstbenutzung. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey.
- KOLLMANN, F. (1951)** : Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. neubearb. u. erw. Auflage, 1. Band. Göttingen Heidelberg : Springer-Verlag.
- KOLLMANN, F. ; KRECH, (1960)** : Dynamische Messung der elastischen Holzeigenschaften und der Dämpfung. Holz als Roh- und Werkstoff 18 : 41-54
- KOLTZENBURG, CH. (1979 a)** : Verwertung von einheimischen Douglasienholz: Teil 1: Einschlag, Sortierung, Erlöse, Außenhandel. Holz-Zentralblatt 105 (133) : 1971-1973
- KOLTZENBURG, CH. (1979 b)** : Verwertung und Verwendung von einheimischen Douglasienholz: Teil 2: Verwendungen und Holzeigenschaften. Holz-Zentralblatt 105 (135) : 2007-2009
- KRAMER, H. (1963)** : Der Einfluß von Großklima und Standort auf die Entwicklung von Waldbeständen am Beispiel langfristig beobachteter Versuchsflächen von Douglasie, Fichte, Buche und Eiche. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen und Mitteilungen der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Band 31/32, 140 S.

- KRAMER, H. (1988)** : Waldwachstumslehre. Hamburg und Berlin : Verlag Paul Parey.
- KRAMER, H. ; SMITH, J.H.G. (1985)** : Bestandesbegründung der Douglasie in Britisch-Kolumbien, Kanada. Forstarchiv 56 : 9-13
- KRETSCHMANN, D.E. (1990)** : The Effect of Juvenile Wood on Grading of Fast Grown North American Species. XIX IUFRO World Congress Montreal, August 1990. Proceedings Division 5 : 437
- KUNESH, R.H. ; JOHNSON, J.W. (1974)** : Effect of Size on Tensile Strength Of Clear Douglas-Fir and Hem-Fir Dimension Lumber. Forest Products Journal 24 : 32-36
- LAM, F. ; VAROGLU, E. (1990)** : Effect of length on the tensile strength of lumber. Forest Products Journal 40 : 37-42
- LANDESFORSTVERWALTUNG NORDRHEIN-WESTFALEN (1988)** : Rundholzaushaltung, Rundholzverkauf im Lande Nordrhein-Westfalen. Reihe : Informationen für den Waldbesitzer Nr.22
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (1983)** : Waldbaurichtlinien für die Wälder von Rheinland-Pfalz: 2. Teil, Bereich der Forstdirektion Rheinhessen-Pfalz. Mitteilungen aus Forsteinrichtung und Waldbau, Nr. 28
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (1987)** : Waldbaurichtlinien für die Wälder von Rheinland-Pfalz: 1. Teil, Bereich der Forstdirektion Koblenz und Trier. Mitteilungen aus Forsteinrichtung und Waldbau, Nr. 29
- LANDESFORSTVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (1989)** : Merkblätter der Landesforstverwaltung Rheinland-Pfalz. "Wertästung". 3. Auflage, Nr. 1
- LIN, Y.-J. (1992)** : Untersuchung der Jahrringbreiten und der Spätholzanteile an Douglasien von unterschiedlichen Standorten. Diplomarbeit am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- LITTLEFORD, T.W. (1961)** : Variation of strength properties within trees and between trees in stand of rapid-growth Douglas-fir. Report V-1028. Forest Products Laboratory of Canada, Vancouver, BC, 20 S.
- LÖFFLER, H. (1966)** : Eigenschaften und Verwertung mitteleuropäischer Douglasien. Holz Zentralblatt 92 : 1047-1049
- MAISENBACHER, H. (1963)** : Douglasienholz - Ermittlung seines künftigen Wertes, (II) Ergebnisse aus Probeschnitten von Douglasienholz. Holz-Zentralblatt 89 (145) : 2363
- MAISENBACHER, H. (1964 a)** : Douglasienholz - Ermittlung seines zukünftigen Wertes, (IV) Die Auswirkung verschiedener Einschnittsmöglichkeiten auf die Ausnutzung und den Verkaufserlös am Beispiel der Douglasie. Holz-Zentralblatt 90 (11) : 163-168
- MAISENBACHER, H. (1964 b)** : Douglasienholz - Ermittlung seines künftigen Wertes, (V) Kalkulationen mit Ausnutzungstabellen am Beispiel der Douglasie. Holz-Zentralblatt 90 (19) : 339-341
- MARCHAND, G.E. (1982)** : Vergleichende Untersuchungen des Biegeverhaltens von kleinen, fehlerfreien Fichtenholzproben und großen Fichtenbalken. Dissertation an der Universität Lausanne.
- MARCHAND, G.E. (1983)** : Vergleichende Untersuchungen des Biegeverhaltens von kleinen, fehlerfreien Fichtenholzproben und großen Fichtenbalken. SAH Bulletin 1983/2 : 27-43

- MARCHAND, G.E. (1987)** : Eigenschaften des Schweizer Holzes. Nationales Forschungsprogramm 12 : "Holz, erneuerbarer Rohstoff und Energiequelle" des Schweizerischen Nationalfonds. Projekt Nr. 4.755-0.84.12
- MARCHAND, G.E. ; FUX, W. (1983)** : Statistisch gesicherte Untersuchungen von Festigkeitswerten biegebeanspruchter Bauteile aus Schweizer Holz. SAH Bulletin 1983/2 : 3-26
- MERKEL, O. (1967)** : Der Einfluß des Baumabstandes auf die Aststärke der Fichte. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 138 : 113-125
- METTE, H.-J. (1984)** : Holzkundliche Grundlagen der Forstnutzung. Berlin : VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag.
- MÖHLER, K. ; BEYERSDORFER, P. (1984)** : Bestimmung der Festigkeitseigenschaften von einheimischem Douglasienholz. Lehrstuhl für Ingenieurholzbau und Baukonstruktionen der Universität Karlsruhe. Bericht an die Entwicklungsgemeinschaft Holzbau. 32 S.
- MÖHLER, K. ; BEYERSDORFER, P. (1987)** : Festigkeitsuntersuchungen an einheimischem Douglasienholz als Bauholz. Holz als Roh- und Werkstoff 45 : 49-58
- MOLISCH, H. ; HÖFLER, K. (1965)** : Anatomie der Pflanze. 8. Auflage. Jena : Fischer-Verlag.
- MOOSMAYER, H.U. (1977)** : Zur regionalen waldbaulichen Planung in Baden-Württemberg. Allgemeine Forstzeitschrift 32 : 504-509
- MOTHE, F. ; MOVASSAGHI, H. ; THIBAUT, B. (1991)** : Le déroulage du Douglas et de l'épicéa, quelques résultats de la recherche. Forêt entreprise, Paris. No. 80 (8) : 28-36
- MOZINA, I. (1960)** : Über den Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Raumdichte bei Douglasienholz. Holz als Roh- und Werkstoff 18 (11) : 409-413
- MUSSONG, M. (1991)** : Die Klettersäge - besser als ihr Ruf. Holz-Zentralblatt 117(80) : 1294-1297
- NAKAMURA, N. ; NANAMI, N. ; ARIMA, T. (1992)** : Measuring MOE of standing trees by stress waves. IUFRO Proceedings (Division 5). Vol.1. Nancy : 349
- NAKE, R. ; ACHTERBERG, W. (1989)** : Eignung von Douglasie als Messerfurnier. Holztechnologie - Leipzig 30 : 286-290
- NEGRI, M. (1992)** : Visual and machine strength grading, and derivation of characteristics values for chestnut (*Castanea sativa* Mill.) timber from coppice (Central Italy). IUFRO Proceedings (Division 5). Vol.1. Nancy : 358
- NEPVEU, G. ; BLACHON, J.-L. (1989)** : Largeur de cerne et aptitude à l'usage en structure de quelques conifères: Douglas, pin sylvestre, pin maritime, épicéa de Sitka, épicéa commun, sapin pectiné. Revue forestière française XLI-6 : 497-506
- NIEPAGEN, A. (1993)** : Holztechnologisch wichtige Eigenschaften des Holzes von *Abies procera* aus einem westdeutschen Versuchsanbau. Vortrag anlässlich des Festkolloquiums "Fremdländeranbau in deutschen Wäldern- Nutzen und Probleme". Unveröffentlichtes Manuskript.
- NOACK, D. (1971)** : Tropische Hölzer in tragenden Bauwerken. Holz-Zentralblatt 97 (59) : 795-797
- OESCHGER, H.J. (1975)** : Douglasienanbau in Baden-Württemberg. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Band 45, 208 S.
- OLIVER-VILLANUEVA, J.-V. (1993)** : Holzeigenschaften der Esche (*Fraxinus excelsior* L.) und ihre Variabilität im Hinblick auf Alter und Standraum. Dissertation am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen. 174 S.

- OTTO, H.-J. (1972)** : Zu den Standortsansprüchen der Douglasie. Forstarchiv 43 : 62-65
- OTTO, H.-J. (1987)** : Skizze eines optimalen Douglasienwaldbaues in Nordwestdeutschland. Der Forst- und Holzwirt 42 : 515-522
- OTTO, H.-J. (1993)** : Fremdländische Baumarten in der Waldbauplanung dargestellt am Beispiel der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. Forst und Holz 48 (16) : 454-456
- OTTO, H.-J. ; KLEINSCHMIT, J. (1975)** : Das Douglasienzuchtungsprogramm in der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt - Abt. Forstpflanzenzüchtung - in Escherode. Forstarchiv 46 : 113-120
- PAUL, B.H. (1963)** : The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. USDA Forest Service Technical Bulletin 1288.
- PETRI, H. (1986)** : Zum Douglasienanbau in Rheinland-Pfalz. Allgemeine Forstzeitschrift 41 : 859-865
- PUTZ, H.-J. ; GÖTTSCHING, L. (1988)** : Die Eignung einheimischer Nadelholzarten zur Holzschliffherzeugung in der Papierindustrie. Holz-Zentralblatt 114 (115) : 1652-1654
- RIEBEL, H. (1993)** : Über einige Holzeigenschaften der Großen Küstentanne (*Abies grandis* {Douglas} Lindley) aus südwestdeutschen Anbauten. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. 278 S.
- RIEBELING, R. (1979)** : Standortkundliche, ertragskundliche und betriebswirtschaftliche Überlegungen zum Anbau schnellwachsender Baumarten, insbesondere zur Douglasie. Der Forst- und Holzwirt 34 : 177-184
- RIOU-NIVERT, PH. (1989)** : Douglas, Qualités du Bois, Élagage et Sylviculture. Revue forestière française XLI-6 : 387-409
- RIOU-NIVERT, PH. (1990)** : Un exemple exceptionnel de plantation de Douglas à très grands espacements en Sologne. Forêt-entreprise, n°70, septembre 1990 : 14-19
- ROMMERSKIRCHEN, A. (1986)** : Untersuchung der Jahrringbreite sowie des Splint-Kern-Verhältnisses an Kiefern unterschiedlicher Schadstufen. Diplomarbeit am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- ROSS, R.J. (1992)** : Nondestructive Testing of Wood. Proceedings Nondestructive evaluation of civil structures and materials. Boulder, University of Colorado : 43-49
- SACHS, L. (1992)** : Angewandte Statistik; Anwendung statistischer Methoden. 7. Auflage. Berlin Heidelberg New York : Springer-Verlag.
- SACHSSE, H. (1973)** : Wie reagiert die Douglasie auf maschinelle Wertästung? Forstarchiv 44 : 237-240
- SACHSSE, H. (1983)** : Untersuchung über die Nebenwirkungen der Klettersäge "KS 31" auf Gesundheitszustand und Holzgüte von Douglasien. Forstarchiv 54 : 62-69 und 107-114
- SACHSSE, H. (1985)** : Ästungswunden an Douglasien - wie groß sind die Gefahren ? Forstarchiv 56 : 152-156
- SACHSSE, H. (1991)** : Das Holz der Douglasie - Bau, Eigenschaften und Verwendung. Forst- und Holz 46 : 326-331
- SACHSSE, H. ; GRÜNEBAUM, M. (1990)** : Untersuchung der Holzqualität von Traubeneichen aus unterschiedlichen dicht begründeten Beständen. Holz als Roh- und Werkstoff 48 : 255-260

- SACHSSE, H. ; KÜTHE, M. (1987) :** Über die Abhängigkeit des erzielbaren Rundholzwertes von der Ästungshöhe bei Douglasie. Forstarchiv 58 : 207-211
- SACHSSE, H. ; ROFFAEL, E. (1993) :** Untersuchung der Schäl furnier-Eignung von in Deutschland erwachsenem Douglasienholz. Holz als Roh- und Werkstoff 51 : 167-176
- SAMSON, M. ; BLANCHET, L. (1992) :** Effect of knots on the flatwise bending stiffness of lumber members. Holz als Roh- und Werkstoff 50 : 148-152
- SANDOZ, J.L. (1992) :** Sylvatest - The ultrasonic grading device of building timber and wood quality assessment. IUFRO Proceedings (Division 5). Vol.1. Nancy : 351
- SAUTER, U.H. (1985) :** Untersuchung über den Durchforstungseinfluß auf die Holzeigenschaften der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen.
- SAUTER, U.H. (1992) :** Technologische Holzeigenschaften der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) als Ausprägung unterschiedlicher Wachstumsbedingungen. Dissertation an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. 221 S.
- SAUTER, U.H. (1993) :** Heimisches Douglasienholz hat echte Marktchancen. Holz-Zentralblatt 119 (151) : 2466
- SCHOBER, R. (1959) :** Ergebnisse von Douglasien-Provenienzversuchen in Deutschland, Holland und Dänemark. Allgemeine Forstzeitschrift 14 : 145-152
- SCHOBER, R. (1963) :** Erfahrungen mit der Douglasie in Europa. Allgemeine Forstzeitschrift 18 : 473-474, 487-489 u. 515-519
- SCHULZE-DEWITZ, G ; GÖTZE, H. (1973) :** Untersuchungen zur Faserlänge, Raumdichte und Druckfestigkeit inter- und circumnodialen Holzes der Baumarten Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Fichte (*Picea abies* Karst.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* Franco). Drevársky Vyskum, XVIII, 1 : 33-44
- SIOSTRZONEK, E. (1958) :** Radialzuwachs und Flächenzuwachs. Forstwissenschaftliches Centralblatt 77 : 237-254
- SPEIDEL, G. (1967) :** Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey.
- SPELLMANN, H. ; NAGEL, J. (1989) :** Zum Einfluß von Ausgangspflanzenzahl und Pflanzverband auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen. Forst und Holz 44 : 455-459
- STEIGER, R. (1991) :** Festigkeitssortierung von Kantholz mittels Ultraschall. Holz-Zentralblatt 117 (59) : 985-989
- STRATMANN, J. (1983) :** Untersuchungen zum Holzanfall in Jungdurchforstungen der Douglasie. Der Forst- und Holzwirt 38 : 77-80
- STRITTMATTER, W. (1979) :** Praktische Erfahrungen bei der waldbaulichen Behandlung der Douglasie. Der Forst- und Holzwirt 34 : 186-190
- TEISCHINGER, A. ; KRENN, K. (1985) :** Das Holz von in Österreich gewachsener Douglasie. Holzforschung und Holzverwertung 37 : 61-67
- TRENDELENBURG, R. (1931) :** Festigkeitsuntersuchungen an Douglasienholz. Mitteilungen aus Forstwissenschaft und Forstwirtschaft 2 (1) : 132-208
- TRENDELENBURG, R. ; MAYER-WEGELIN, H. (1955) :** Das Holz als Rohstoff. 2. Auflage. München : C.Hanser-Verlag.

- ULFERS, Y.C. (1992)** : Untersuchung der Kern- und Splintanteile sowie der Darrdichte an Douglasien von unterschiedlichen Standorten. Diplomarbeit am Forstwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen.
- V. PECHMANN, H. (1974)** : Der Einfluß der Durchforstung auf die Holzqualität. Forstarchiv 45 : 34-38
- V. PECHMANN, H. ; COURTOIS, H. (1970 a)** : Untersuchungen über die Holzeigenschaften von Douglasien aus linksrheinischen Anbaugebieten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 89 : 89-122
- V. PECHMANN, H. ; COURTOIS, H. (1970 b)** : Schnittholzqualität und Furniereignung von Douglasien aus linksrheinischen Anbaugebieten. Forstwissenschaftliches Centralblatt 89 : 210-228
- V. TUYLL, C. ; KRAMER, H. (1981)** : Der Einfluß des Ausgangsverbandes auf die Jugendentwicklung von Douglasienbeständen, Teil II. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 152 : 97-102
- V. WEDEL, K. (1962)** : Hydrostatische Verfahren zur Bestimmung der Rohdichte von Holzproben. Holz als Roh- und Werkstoff 20 : 360-364
- WAGENFÜHR, R. ; SCHEIBER, CH. (1974)** : Holzatlas. Leipzig : VEB Fachbuchverlag.
- WALFORD, G.B. (1985)** : The mechanical properties of New Zealand-grown Douglas fir. Forest Research Institute New Zealand Forest Service, Bulletin No. 94, 14 S.
- WEIDENBACH, P. (1980)** : Die Douglasie in Baden-Württemberg. Holz-Zentralblatt 106 : 277-279
- WEIDENBACH, P. ; SCHMIDT, J. ; KARIUS, K. (1989)** : Waldbauliche Ziele und Forsteinrichtungsergebnisse im öffentlichen Wald in Baden-Württemberg. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg. Band 69, 203 S.
- WEISBERG, S. (1985)** : Applied linear Regression. 2nd Edition. New York : John Wiley & Sons.
- WELLWOOD, R.W. (1955)** : Sapwood-Heartwood Relationships in Second Growth Douglas-Fir. Forest Product Journal 5 (2) : 108-111
- WICKEL, A. (1983)** : Entscheidungshilfen für die Z-Baum-orientierte Durchforstung der Douglasie. Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg. Band 12 : 99-106
- YLINEN, A. (1942)** : Über den Einfluß der Probekörpergröße auf die Biegefestigkeit des Holzes. Holz als Roh- und Werkstoff 5 : 299-305

## 10. Anhang

### 10.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. Nr.	Titel	Seite
1:	Schematische Darstellung der untersuchten Eigenschaften	19
2:	Lage der Forstämter mit Versuchsbeständen	23
3:	Einteilprogramm der Probebäume	25
4:	Einschnittmuster	27
5:	Messung und Berechnung der Ästigkeit in Kanthölzern	35
6:	Schematische Darstellung der Prüfeinrichtung zur Bestimmung des dynamischen E-Moduls (nach GÖRLACHER 1984)	40
7:	Prüfeinrichtung zur Bestimmung des statischen Biege- Elastizitätsmoduls und der Biegefestigkeit nach DIN 52186	42
8:	Schema der statistischen Datenanalyse	45
9:	Baummorphologische Mittelwerte nach Beständen	51
10:	Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Rundholz	54
11:	Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Rundholz	55
12:	Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Rundholz	56
13:	Mittlere Jahrring- und Spätholzbreiten bei Bestand AEG	66
14:	Mittlere Jahrring- und Spätholzbreiten bei Bestand AES	67
15:	Mittlere Jahrring- und Spätholzbreiten bei Bestand AWS	68

	<b>Seite</b>
16: Mittlere Jahrring- und Spätholzbreiten bei Bestand JEG	69
17: Mittlere Jahrring- und Spätholzbreiten bei Bestand JWG	70
18: Mittlere Kern- /Splintflächenanteile nach Beständen und Stammhöhen [%]	78
19: Mittlere Darrdichte nach Beständen und Stammhöhen	83
20: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz	96
21: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz	97
22: Mittlere Asthäufigkeiten nach Aststärkeklassen - Schnittholz	98
23: Mittlere Volumenanteile juvenilen Holzes in Kanthölzern (8x16 cm) nach Beständen, Stammhöhen und Klassen	101
24: Biegefestigkeit der Kanthölzer nach Sortierklassen und Stammhöhen (n = 415) - Kanthölzer innerhalb der Sortierklasse aufsteigend sortiert	110
25: Regression Rohdichte $r_{12}$ über Jahrringbreite	116
26: Regression Jahrringbreite über Anteil juvenilen Holzes	117
27: Regression Rohdichte $r_{12}$ über Anteil juvenilen Holzes	118
28: Regression dynamischer Biege-E-Modul über Jahrringbreite	120
29: Regression Biegefestigkeit über Jahrringbreite	120
30: Regression dynamischer Biege-E-Modul über Rohdichte $r_{12}$	122
31: Regression Biegefestigkeit über Rohdichte $r_{12}$	123

	<b>Seite</b>
32: Regression dynamischer Elastizitätsmodul über größtem Einzelastquotienten (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)	125
33: Regression Biegefestigkeit über größtem Einzelastquotienten (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)	125
34: Regression Biegefestigkeit über kumulierten Astdurchmessersummen (bezogen auf gesamte Kantholzlänge)	126
35: Regression dynamischer Biege-Elastizitätsmodul über Juvenilholzanteil	127
36: Regression Biegefestigkeit über Juvenilholzanteil	128
37: Zusammenhänge von Jahrringbreite und Rohdichte über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den älteren Beständen	129
38: Zusammenhänge von Jahrringbreite und Rohdichte über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den jüngeren Beständen	130
39: Zusammenhänge der elastomechanischen Eigenschaften über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den älteren Beständen	131
40: Zusammenhänge der elastomechanischen Eigenschaften über klassifizierten Juvenilholzanteilen bei den jüngeren Beständen	132
41: Regression Biegefestigkeit über dynamischem Biege-E-Modul	134
42: Regression Biegefestigkeit über statischem Biege-E-Modul	134
43: Partielle Bestimmtheitsmaße der signifikanten Variablen für die multiple Regression der Biegefestigkeit (Modell A; $B = 0,397$ )	140
44: Partielle Bestimmtheitsmaße der signifikanten Variablen für die multiple Regression der Biegefestigkeit (Modell B; $B = 0,585$ )	140

	<b>Seite</b>
45: Sortierqualität bei Anwendung des Sortierparameters größter Einzelastquotient nach DIN 4074 bei Douglasien-Kanthölzern (8x16 cm)	144
46: Sortierqualität bei Anwendung des Sortierparameters erhöhter größter Einzelastquotient nach modifizierter DIN 4074 bei Douglasien-Kanthölzern (8x16 cm)	144
47: Festigkeitsklassen einer Sortiersimulation mittels statischem E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	148
48: Festigkeitsklassen einer Sortiersimulation mittels dynamischem E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	148
49: Häufigkeitsverteilung der Sortierklassen nach DIN 4074	150
50: Häufigkeitsverteilung der Sortierklassen nach modifizierter DIN 4074	150
51: Bestandesweiser Vergleich von Rundholzsortierung (CEN-Vornorm-Entwurf) und visueller Schnittholzsortierung nach DIN 4074 [%]	157
52: Vergleich von Rundholzsortierung (CEN-Vornorm-Entwurf) und visueller Schnittholzsortierung nach DIN 4074 bzw. modifizierter DIN 4074 (erhöhter zulässiger Einzelastquotient) - alle Bestände, alle Kanthölzer [%]	157

## 10.2 Tabellenverzeichnis

Tab. Nr.	Titel	Seite
1:	Mögliche Varianten nach Einflußvariablen	17
2:	Standorts- und Bestandesbeschreibung der Versuchsbestände	22
3:	Mittelwerte der Baum- bzw. Stammdaten nach Beständen	50
4:	Mittlere Asthäufigkeiten je lfm der Abschnitte (4m) nach Beständen und Stammhöhen (je Stammhöhe n = 18 Abschnitte, bei AES Stammhöhe III n = 17)	52
5:	Mittelwerte der Durchmesser und Volumina der Abschnitte nach Beständen und Stammhöhen (Abschnittslänge 4 m, je Stammhöhe n = 18 Abschnitte)	53
6:	Kumulierte Astdurchmessersummen ( $\Sigma$ Aststärkeklasse x Astanzahl in mm)	57
7:	Gütemerkmale der Abschnitte - Durchschnittswerte für Abholzigkeit, Exzentrizität, Ovalität und Krümmung nach Beständen und Stammhöhen	59
8:	Gesamtübersicht der Verteilung der Abschnitte (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) auf die Rundholz-Güteklassen nach CEN-Vornorm-Entwurf in %	60
9:	Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach CEN-Vornorm-Entwurf	60
10:	Güteklassenanteile der Abschnitte nach HKS-Sortiermerkblättern Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte)	61

	<b>Seite</b>
11: Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach HKS-Sortiermerkblättern Baden-Württemberg (Fichte/Tanne)	62
12: Verteilung der Rundholzabschnitte auf die Güteklassen (alle Bestände, alle 269 Abschnitte) nach HKS-Sortiermerkblättern Nordrhein-Westfalen (Fichte/Tanne/Douglasie)	62
13: Volumenanteile (%) der Güteklassen bei unterschiedlicher Sortiernorm	63
14: Bestandesmittelwerte der mittleren Jahringbreite (mm) nach Stammhöhen	65
15: Signifikante Unterschiede der mittleren Jahringbreiten in korrespondierenden Stammhöhen (SCHEFFE-Test, 5%-Niveau)	71
16: Signifikante Unterschiede der mittleren Jahringbreiten zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5%-Niveau)	71
17: Mittelwerte der mittleren Spätholzbreiten (mm) aus jeweils 18 Stammscheiben nach Beständen und Stammhöhen	73
18: Mittelwerte des mittleren relativen Spätholzanteils (%) aus jeweils 18 Stammscheiben nach Beständen und Stammhöhen	74
19: Signifikante Unterschiede der Spätholzanteile zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5%-Niveau)	75
20: Mittelwerte der Kernholzflächenanteile nach Beständen und Stammhöhen	79

	Seite
21: Signifikante Mittelwertsunterschiede des Kernholzflächenanteils zwischen den Beständen und Stammhöhen (SIDAK-Test, 5%-Niveau)	79
22: Signifikante Mittelwertsunterschiede des Kernholzflächenanteils zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5%-Niveau)	80
23: Mittelwerte der mittleren Darrdichte nach Beständen und Stammhöhen in g/cm <sup>3</sup>	82
24: Signifikante Unterschiede der mittleren Darrdichte zwischen den Beständen und Stammhöhen (SIDAK-Test, 5%-Niveau)	84
25: Signifikante Unterschiede der mittleren Darrdichte zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben bzw. Vorzeichen-Rang-Test nach WILCOXON, 5%-Niveau)	84
26: Mittlere Jahrringbreiten (mm) der Kanthölzer (8x16cm) nach Beständen und Stammhöhen	91
27: Mittlere Rohdichte (g/cm <sup>3</sup> ) der Kanthölzer nach Beständen und Stammhöhen	93
28: Mittelwerte des größten Einzelastdurchmessers (mm) der Kanthölzer (n) nach DIN 4074/I -getrennt nach Schmal-(S) und Breitseite (B)- nach Beständen und Stammhöhen	95
29: Mittlere Volumenanteile (%) juvenilen Holzes (1.-20. Jahrring vom Mark aus) der Kanthölzer (n) nach Beständen und Stammhöhen	100
30: Sortiererergebnis nach DIN 4074 (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer (8x16cm))	102

	Seite
31: Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16cm bei $u = \pm 12$ %) - Deskriptive Statistik - [ N/mm <sup>2</sup> ]	107
32: Signifikante Unterschiede der Biegefestigkeiten in korrespondierenden Stammhöhen (SCHEFFE bzw. SIDAK-Test, 5%-Niveau)	107
33: Signifikante Unterschiede der Biegefestigkeiten zwischen den Stammhöhen innerhalb der Bestände (t-Test für verbundene Stichproben, 5%-Niveau)	108
34: Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierklassen (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer ) [ N/mm <sup>2</sup> ]	108
35: Vergleichende Darstellung der Biegefestigkeit von Douglasien- und anderen Nadelschnitthölzern nach DIN-Klassen [N/mm <sup>2</sup> ]	111
36: Vergleich der Biegefestigkeit markfreier und markhaltiger Kanthölzer [N/mm <sup>2</sup> ]	115
37: Vergleich der Biegefestigkeit der Kanthölzer mit liegenden bzw. stehenden Jahrringen [N/mm <sup>2</sup> ]	115
38: Zusammenstellung der PEARSONSchen ( $r_p$ ) bzw. SPEARMANSchen ( $r_s$ ) Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Ästigkeit und elastomechanischen Eigenschaften	123
39: Beziehungen ( $r$ ) zwischen elastomechanischen Eigenschaften, Ästigkeit, Rohdichte und Jahrringbreite nach Beständen und Stammhöhen (alle Kanthölzer, alle Bestände)	137
40: Kenngrößen der multiplen Regressionsanalyse für die Biegefestigkeit der Kanthölzer	139
41: Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierklassen -Vergleich der gültigen und einer modifizierten DIN 4074- (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm <sup>2</sup> ]	143

	<b>Seite</b>
42: Vergleich von Sortierqualität und Ausbeute bei gültiger und modifizierter Sortierung nach DIN 4074	143
43: Elastomechanische Eigenschaften der Kanthölzer (8x16 cm) nach simulierter maschineller Sortierung gemäß DIN 4074 (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm <sup>2</sup> ]	145
44: Biegefestigkeiten der Kanthölzer (8x16 cm) nach Sortierung mittels Biege-E-Modul (alle Bestände, alle 425 Kanthölzer) [N/mm <sup>2</sup> ]	146
45: Vergleich von Sortierqualität und Ausbeute bei maschineller Sortierung mittels statischem bzw. dynamischem E-Modul	147
46: Sortierergebnis nach gültiger und modifizierter DIN 4074 im bestandesweisen Vergleich [ % ]	151
47: Sortierergebnis nach tatsächlicher Biegefestigkeit und nach maschineller Sortierung mittels der E-Moduln im bestandesweisen Vergleich [ % ]	152
48: Vergleich der elastomechanischen Eigenschaften und anderer wichtiger Kenngrößen von Kanthölzern (8x16 cm) aus Fichte und Douglasie (N/mm <sup>2</sup> ; u = 12 % )	155
49: Stichprobenumfang (Anzahl Kanthölzer) in Abhängigkeit von Teststärke und Genauigkeit bei vorgegebenem Signifikanzniveau und Anzahl zu vergleichender Gruppen (Bestände) für den Vergleich der mittleren Biegefestigkeiten zwischen den Beständen stratifiziert nach Stammhöhen	161

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:<br>Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von<br>Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983 - 1989<br>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: 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 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--