

## Der Einfluß von Bestockungsgrad und Durchforstung auf die Rohdichte von südafrikanischer *Pinus radiata*\*

C. T. Bues

Institut für Holzforschung der Universität München

Eine undurchforstete und zwei mehrfach durchforstete Versuchsflächen mit *Pinus radiata* unterschiedlicher Stammzahlen wurden radiodensitometrisch auf ihre Rohdichte hin analysiert. Die undurchforstete Fläche mit dem größten Bestockungsgrad zeigte dabei die höchsten mittleren Rohdichtewerte im Verhältnis zu den Durchforstungsflächen. Ein Vergleich der beiden durchforsteten Flächen wies für die Versuchsfläche mit der geringeren Stammzahl deutlich niedrigere Holzdichten aus. Von vier auf beiden Flächen nacheinander vorgenommenen Durchforstungen bewirkte nur der erste Eingriff auf die Versuchsfläche mit dem niedrigeren Bestockungsgrad eine signifikante Rohdichteabsenkung im folgenden Jahr.

### The influence of stand density and thinning on the wood density of South African *Radiata pine*

The wood density of one unthinned and two thinned plots with *Radiata pine* of different stand densities were analyzed using the radio densitometric measuring method. It was shown that the unthinned plot with the greatest stand density had the highest mean wood density values in relation to the thinned stands. Comparison of the two thinned stands showed that the plot with the lower stand density had also lower wood density values. Only the first of four consecutive thinning effect a wood density reduction on the plot with the lowest stand density for the duration of one year.

### 1 Einleitung

Die Säge- und Papierholzversorgung im südlichen Teil des afrikanischen Kontinents stützt sich zum allergrößten Teil auf die Bewirtschaftung fremdländischer Baumarten in Forstplantagen. Die Kiefernarten, unter ihnen *Pinus radiata*, spielen dabei eine bedeutende Rolle (Persson 1975).

Eine genaue Kenntnis des Wuchsverhaltens dieser Baumarten und eine auf die entsprechenden Bedürfnisse der Holzabnehmer abgestimmte waldbauliche Behandlung sind der Schlüssel für eine erfolgreiche Plantagenbewirtschaftung. Nur eine intensive Plantagenpflege kann dieses Ziel erreichen, da der Waldbesitzer in Südafrika (sei es der Staat oder die Industrie) Begründung und Erziehung der Bestände ganz auf den späteren Verwendungszweck des Rundholzes ausrichtet. Von Bedeutung sind dabei die Ausgangsstammzahl/ha, Durchforstungsart, -grad und -intensität, Astung und Umtriebsalter.

Um die Frage nach einer „optimalen“ Plantagenbewirtschaftung zu klären, wurde schon in den ersten Jahrzehnten dieses Jahrhunderts eine große Zahl an Versuchsflächen, sog. CCT-Flächen (correlated-curve-trend Flächen) südlich von Kapstadt im „Tokai“ angelegt. Die Auswertung von drei dieser Versuchsflächen erfolgte im Hinblick auf die

Rohdichteentwicklung zweier mit unterschiedlichen Stammzahlen ausgestatteter und verschieden stark durchforsteter Flächen im Vergleich zu einer gänzlich unbehandelten 0-Fläche, da neben dem Durchmesser des Stammes als Qualitätsfaktor die Rohdichte nach DIN 52182 und die Jahrringbreite Merkmale des Holzes darstellen, die für die Holzforschung von großer Bedeutung sind. Die Holzdicke steht in engster Beziehung zu physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften des Holzes (Mork 1928; Bues 1929; Kollmann 1951; Trendelenburg 1955; Keller 1968).

### 2 Beschreibung der drei Versuchsflächen in den Tokai-Plantagen

Die Tokai-Plantagen liegen ca. 10 km südlich von Kapstadt entfernt im Nordteil der Kaphalbinsel. Sie umfassen ein Gebiet von etwa 800 ha am Osthang eines Tafelberg-Ausläufers. Die Universität von Stellenbosch verfügt im Tokai über mehrere Versuchsflächen, von denen drei zur Analyse der Holzdicke ausgewählt wurden. Eine Beschreibung der Standortsgegebenheiten ist aus Tabelle 1 ersichtlich, eine ausführliche Darstellung aller waldbaulichen Pflegemaßnahmen ist für die drei Versuchsflächen in Tabelle 2 dargestellt. Bei den Durchforstungen auf den Flächen B und C handelt es sich um eine mäßige Niederdurchforstung. Tabelle 3 gibt die Stärke der Durchforstungseingriffe in Prozent der entnommenen Stämme zur jeweiligen Ausgangsstammzahl an.

### 3 Untersuchungsmaterial

Auf jeder der drei Versuchsflächen wurden von 40 Bäumen Bohrproben in einer Höhe von 0,9 Meter entnommen. Dabei

**Tabelle 1.** Standortbeschreibung der drei Versuchsflächen A, B und C Tokai

Bestandsnummer:	6 A/B/C
Geographische Länge:	18°24' Ost
Geographische Breite:	34° 3' Süd
Lage über NN:	56 Meter
Hangneigung:	20%
Exposition:	Südost
Geologie:	Tafelberg Sandstein
Boden:	Hutton
Klimagebiet:	Winterregen
Klimatyp:	Mediterran
Temperatur (Jahresmittel):	16,6 °C
Niederschlag (Jahresmittel):	983 mm

\* Herrn Prof. Dr. Wolfgang Knigge zum 65. Geburtstag gewidmet

**Tabelle 2.** Waldbauliche Maßnahmen auf den Versuchsflächen A, B und C Tokai

	Fläche A	Fläche B	Fläche C
Bestandesbegründung	1953/54	1953/54	1953/54
Bestandesgröße	0,08094 ha	0,08094 ha	0,08094 ha
Pflanzverband	2,1 × 2,1 m 2200 Stämme/ha	2,1 × 2,1 m 2200 Stämme/ha	2,1 × 2,1 m 2200 Stämme/ha
Ausdünnung	1960 Auf ca. 1100 Stämme/ha	1960 Auf ca. 853 Stämme/ha 1968 Entnahme von 310 Bäumen 1971 Entnahme von 37 Bäumen	1960 Auf ca. 446 Stämme/ha 1968 Entnahme von 75 Bäumen 1971 Entnahme von 50 Bäumen
Durchforstung	Keine	1974 Entnahme von 12 Bäumen 1977 Entnahme von 49 Bäumen	1974 – 1977 Entnahme von 62 Bäumen
Astung	1960 bis 2,4 m Höhe 1962 bis 4,5 m Höhe 1964 bis 6,7 m Höhe	1960 bis 2,4 m Höhe 1962 bis 4,5 m Höhe 1964 bis 6,7 m Höhe	1960 bis 2,4 m Höhe 1962 bis 4,5 m Höhe 1964 bis 6,7 m Höhe
Ausfälle	1971 25 Bäume 1977 37 Bäume	Keine	Keine
Stammzahl/ha 1981	1038	445	259

**Tabelle 3.** Durchforstungsstärke, angegeben in entnommenen Stämme in Prozent der Ausgangsstammzahl

Durchforstungs-jahr	Fläche B %	Fläche C %
1968	36,2	16,8
1971	6,8	13,4
1974	2,3	–
1977	9,9	19,3

wurden zwei gegenüberliegende Bohrspäne mit jeweils 16 Jahresringen (1965–1980) pro Baum gewonnen, wobei eine Probe in der Hauptwindrichtung SSE gezogen wurde. Insgesamt kamen 1920 Jahresringe zur Untersuchung.

#### 4 Untersuchungsmethode

Die z. Z. besten Dichte-Strukturdiagramme der Jahrringe lassen sich mit Hilfe der radio-densitometrischen Meßmethode herstellen. Die radiographisch-densitometrische Bestimmung der Holzdicke innerhalb von Jahrringen wurde in den letzten 15 Jahren entwickelt (Polge 1963, 1966; Parker u. Meleskie 1970; McNeely et al. 1973; Parker u. Kennedy 1973; Schweingruber et al. 1978). Die technisch anspruchsvolle Methode ist im Prinzip einfach:

Von Jahrringsequenzen werden Röntgenbilder hergestellt, deren Lichtdurchlässigkeit mit Hilfe eines Densitometers aufgezeichnet wird. Die dabei entstehenden optischen Dichtekurven werden auf technischem und mathematischem Weg in Holzdickekurven umgewandelt. Eine detaillierte Beschreibung der verwendeten radio-densitometrischen Untersuchungsmethode ist an anderer Stelle erfolgt (Bues 1984).

#### 5 Ergebnisse

##### 5.1 Prüfung der Holzdickewerte auf Beeinflussung durch Wind

Eine Prüfung der mittleren Holzdickewerte der Jahre 1965–1980 aus der Hauptwindrichtung SSE und der gegenüberliegenden Seite des Stammes mittels Student-*t*-Tests ergab keine signifikanten Mittelwertsunterschiede für die einzelnen Jahre des Untersuchungszeitraumes.

##### 5.2 Der Einfluß unterschiedlicher Stammzahlen und der Durchforstungen auf die Holzdicke

Eine große Zahl von Untersuchungen behandelt die Auswirkung von Durchforstungsmaßnahmen auf die Volumenproduktion von *Pinus radiata* (z. B. Craib 1939; Grut 1970; Van Laar 1969, 1973), aber nur wenige Ergebnisse liegen vor, was die Einwirkung auf Jahrringbreiten und Holzdickeverteilung innerhalb von Jahrringen betrifft.

##### 5.2.1 Der Einfluß unterschiedlicher Stammzahlen auf die Holzdicke

Zur Prüfung, ob sich die Varianzen innerhalb und zwischen verschiedenen Gruppen signifikant voneinander unterscheiden, wird folgendes Varianzverhältnis gebildet:

$$F = \frac{\text{Varianz zwischen den Gruppen}}{\text{Varianz innerhalb der Gruppen}}$$

**Tabelle 4.** Ergebnis der Prüfung auf signifikante Abweichungen der Meßwertvarianzen von der durchschnittlichen Zufallsvarianz mittels *F*-Test

Mittlere Holzdicke					
A/B	Sig.	A/C	Sig.	B/C	Sig.
1,387	–	507,877	++	74,063	++
0,640	–	395,054	++	71,881	++
14,389	++	323,246	++	78,308	++
33,779	++	303,756	++	68,609	++
56,095	++	257,580	++	47,443	++
94,268	++	247,002	++	28,746	++
44,893	++	316,256	++	44,163	++
53,685	++	336,043	++	35,789	++
102,631	++	353,482	++	15,712	++
102,517	++	450,698	++	22,522	++
95,869	++	447,589	++	25,323	++
87,173	++	372,343	++	20,528	++
68,872	++	386,132	++	39,064	++
82,269	++	341,088	++	37,288	++
105,944	++	254,958	++	10,978	++
93,782	++	231,678	++	21,102	++

Abkürzungen: Sig. Signifikanzgrad  
– Nicht signifikant  
+ Signifikant  
++ Hoch signifikant

Tabelle 5. Mittlere Holzdichtewerte der Versuchsflächen A, B und C Tokai im Zeitraum 1965–1980

Jahr	Fläche A		Fläche B		Fläche C	
	Holzdicke g/cm <sup>3</sup>	Standard- abweichung	Holzdicke g/cm <sup>3</sup>	Standard- abweichung	Holzdicke g/cm <sup>3</sup>	Standard- abweichung
1965	0,482	0,058	0,492	0,084	0,372	0,091
1966	0,505	0,058	0,493	0,099	0,432	0,075
1967	0,527	0,062	0,491	0,099	0,440	0,065
1968	0,545	0,062	0,477	0,090	0,438	0,075
1969	0,567	0,060	0,460	0,107	0,394	0,072
1970	0,586	0,065	0,483	0,090	0,428	0,090
1971	0,608	0,054	0,500	0,092	0,441	0,094
1972	0,624	0,059	0,541	0,113	0,449	0,105
1973	0,637	0,055	0,518	0,092	0,471	0,099
1974	0,653	0,060	0,526	0,105	0,487	0,091
1975	0,657	0,053	0,528	0,100	0,464	0,089
1976	0,663	0,059	0,532	0,104	0,484	0,104
1977	0,681	0,063	0,553	0,110	0,493	0,107
1978	0,698	0,047	0,604	0,101	0,512	0,109
1979	0,719	0,052	0,605	0,103	0,551	0,102
1980	0,722	0,049	0,610	0,115	0,581	0,111

Die jährlichen Meßwertvarianzen der Holzdicke folgender Versuchsflächen wurden einander gegenübergestellt und mittels *F*-Tests auf signifikante Abweichungen von der durchschnittlichen Gesamtvarianz geprüft: Die Jahre 1965–1980 der Fläche A mit den entsprechenden Jahren der Flächen B und C, sowie die einzelnen Jahre der Fläche B mit denen der Versuchsfläche C (A/B, A/C, B/C). Das Ergebnis des *F*-Tests ist für die Holzdicke in Tabelle 4 aufgeführt. Bis auf 2 Jahre zu Beginn des Untersuchungszeitraumes unterscheiden sich die Holzdickevarianzen der Kombination undurchforstete Fläche A/durchforstete Fläche B in hochsignifikantem Ausmaß. Ausnahmslos hochsignifikante Unterschiede von der durchschnittlichen Zufallsvarianz konnte in der Kombination Fläche A/Fläche C nachgewiesen werden. Auch bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den beiden Durchforstungsflächen liegt durchweg ein hochsignifikanter Unterschied vor.

### 5.2.2 Der Einfluß der Durchforstung auf die Holzdicke

Die mittleren Holzdickewerte aller Jahre des Untersuchungszeitraumes 1965–1980 sind für die Flächen A, B und C in Tabelle 5 zusammengefaßt. Bild 1 gibt diese Tabellenwerte graphisch im Vergleich zu den Jahrringbreiten wieder. Bei allen drei Flächen ist eine Zunahme der Holzdicke mit dem Älterwerden des Bestandes zu beobachten. Der zunehmende Spätholzanteil bei abnehmender Jahrringbreite und die allgemeine Tendenz, mit dem Älterwerden schwereres Holz zu bilden, sind hierfür die Ursachen (Ylinen 1951; Knigge u. Schulz 1966). Die fast geradlinige Dichtezunahme der undurchforsteten Fläche A wurde bei den Versuchsflächen B und C mehrfach durchbrochen (Bild 1, Fläche B und C). Ob der Rückgang der mittleren Holzdickewerte statistisch abgesichert werden kann und auf die Durchforstungsmaßnahmen zurückzuführen ist, wurde anhand eines Student-*t*-Tests ermittelt. Dabei zeigte sich, daß nur die Durchforstung auf der Fläche C im Jahr 1968 mit einer Entnahme von rd. 17% der Stämme zu einer hochsignifikanten Abnahme der Rohdichte um 10% für die Dauer eines Jahres führte. Der im selben Jahr auf Fläche B vorgenommene Eingriff mit einer Entnahme von 36% der Ausgangsstammzahl führte nur zu einem nicht gesicherten Rückgang der Rohdichte um 3,5%. Alle anderen, in den folgenden Jahren durchgeführten Eingriffe, erbrachten keine signifikante Absenkung der Dichte (vgl. Cown 1972, 1973).

### 5.2.3 Standardisierung der Holzdicke-Sequenzen

Jeder Baum unterliegt während seines Wachstums einem Alterungsprozeß (Bräker 1981). Nach einer anfänglichen Jugendphase, in der das Wachstum seinen Höhepunkt erreicht, sinkt die Wuchsleistung mit zunehmendem Alter ab; die Jahrringe werden schmaler, die Holzdicke nimmt bei den Nadelhölzern zu. Die mittleren Holzdickewerte der einzelnen Jahre einer Bohrspansequenz lassen sich in ihrer Tendenz mit Hilfe eines Polynoms der Form  $y = a + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_mx^m$  ausgleichen; der Alterstrend der allmählichen Rohdichtezunahme kann somit mathematisch erfaßt werden.

Mit Hilfe eines Computerprogrammes (Bues 1984) wurden die Holzdickewerte eines jeden Jahrrings für die einzelnen Bohrproben in ihrem Verlauf formelmäßig erfaßt. Aus dem berechneten Kurvenverlauf wurde die zu erwartende Holzdicke für jedes Jahr abgeleitet. Schließlich wird ein sog. Index-Wert als Quotient der gemessenen Dichte ( $\sigma_t$ ) und der erwartenden Holzdicke ( $\bar{\sigma}_t$ ) für alle Probenwerte gebildet:

$$\text{Index } I_t = \frac{\sigma_t}{\bar{\sigma}_t},$$

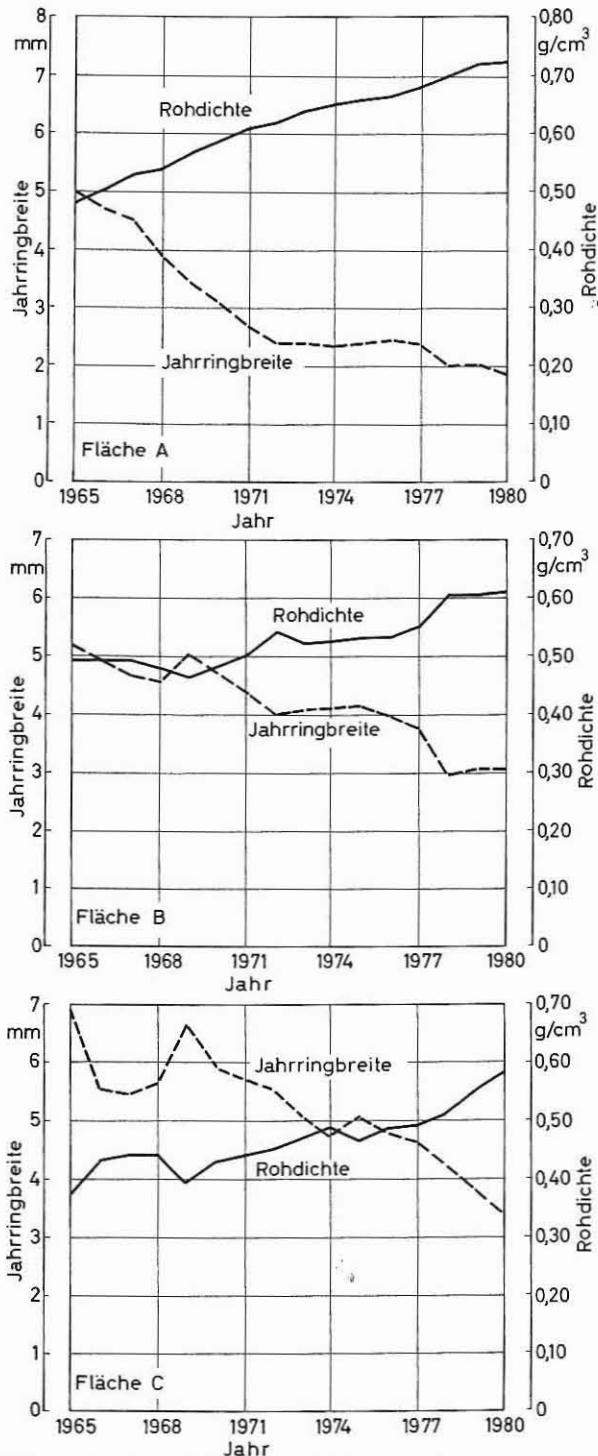
$$t = 1 \dots n.$$

Dieser Indexwert eliminiert den fortschreitenden Änderungstrend als Folge des Wachstums für jeden einzelnen Bohrkern, ohne jedoch gleiche Varianzen zwischen den Bohrkernen verschiedener Bäume oder Versuchsflächen zu schaffen (Fritts 1976). Eine Holzdickechronologie für eine bestimmte Versuchsfläche erhält man durch Mittelung aller Indexwerte eines jeden Jahres. Um Vergleiche zwischen den verschiedenen Bäumen und Flächen anstellen zu können, werden die Indexwerte individuell für jedes Jahr des Untersuchungszeitraumes mittels der Formel

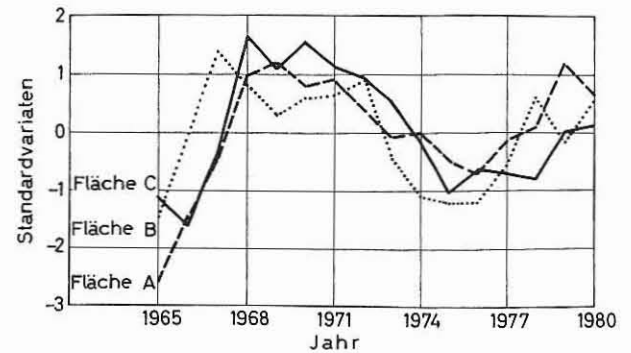
$$z_t = \frac{I_t - I_m}{s_t}$$

umgewandelt, wobei  $I_m$  den Mittelwert und  $s_t$  die Standardabweichung der Indexwerte eines Jahres darstellt.

Die durch diese Umformung erhaltenen Standardvarianzen sind getrennt für die drei Versuchsflächen in Bild 2 dargestellt. Bei Fläche B nehmen die Standardvarianzen nach den Durchforstungen der Jahre 1968, 1971 und 1974 ab, der Wert 1978 liegt jedoch höher als im Jahr 1977. Versuchsfläche C zeigt eine grundsätzliche Abnahme der Holzdickeva-



**Bild 1.** Die mittlere Rohdichte- und Jahrringbreitenwerte für die Versuchsflächen A, B und C  
**Fig. 1.** Mean wood density and tree ring width values for sample plots A, B, and C



**Bild 2.** Standardvariante kurve der Holzdicke für die Flächen A, B und C  
**Fig. 2.** Standard variates curve of wood density for plots A, B, and C

riaten nach allen drei Durchforstungen. Doch ist auffällig, daß die Standardvariante der Flächen B und C einen ganz ähnlichen Kurvenverlauf ergeben wie die der Fläche A. Da auf Fläche A keinerlei Pflegemaßnahmen durchgeführt wurden, können die Variante werte dieser Versuchsfläche als „Eichkurve“ gegenüber den Werten der Durchforstungsflächen B und C angesehen werden. Die Werte dieser Flächen zeigen jedoch eine ganz ähnliche Tendenz wie die Kurven der 0-Fläche, was deutlich macht, daß die Durchforstungsmaßnahmen, bis auf einzelne Jahre direkt im Anschluß an die Eingriffe, keinen nachhaltigen Einfluß auf die Rohdichteentwicklung ausgeübt haben.

#### 5.2.4 Varianzanalyse

Mit Hilfe der Varianzanalyse werden verschiedene Varianzkomponenten betrachtet, die zusammen die Gesamtvarianz der Holzdicke ausmachen. Als Komponenten der Gesamtvarianz gelten die Variabilität der Gesamtchronologie ( $Y$ ), der Holzdicke zwischen den Haupt(SSE)- und Kontrollmessungen ( $Y \times C$ ), die Dichtevariabilität der Jahrringchronologien zwischen den Bäumen ( $Y \times T$ ) und innerhalb der einzelnen Sequenzen ( $Y \times C \times T$ ).

Die weitaus geringste Variabilität der Holzdicke bei allen drei Versuchsflächen weisen die Haupt(SSE)- und Kontrollmessungs-Varianzkomponente  $Y \times C$  mit Anteilen von 1,02% (Fläche A) bis 0,71% (Fläche B) auf. Die Variabilität der Gesamtchronologie ( $Y$ ) nimmt von Fläche A mit 22,88% über Fläche B mit 27,31% und Fläche C mit 50,89% deutlich zu. Die verschiedenen Durchforstungsmaßnahmen haben besonders bei Versuchsfläche C zu einem deutlichen Varianzanstieg geführt. Demgegenüber tritt die Variabilität der Dichte innerhalb der einzelnen Bohrproben ( $Y \times C \times T$ ) zunehmend in den Hintergrund. Sie sinkt von 66,38% bei Fläche A über 62,19% bei Fläche B auf 39,89% auf Fläche C ab (Tabelle 6). Beruhen die Schwankungen der Rohdichte bei der unbehandelten Fläche A in erster Linie auf individuellen Unterschieden innerhalb der Bäume, bedingt durch en-

**Tabelle 6.** Varianzanalyse der Holzdichten für die Flächen A, B und C Tokai

Varianzkomponente	Abkürzung	Fläche A		Fläche B		Fläche C	
		Varianz	Varianzanteil %	Varianz	Varianzanteil %	Varianz	Varianzanteil %
Gesamtchronologie	$Y$	0,005	22,882	0,034	27,319	0,124	50,897
Chronologien der Bohrprobenklassen	$Y \times C$	0,000	1,027	0,001	0,713	0,002	0,934
Chronologien der Bäume	$Y \times T$	0,002	9,710	0,014	11,201	0,020	8,270
Chronologien der Bohrproben in den Bäumen	$Y \times C \times T$	0,015	66,380	0,077	62,193	0,097	39,899

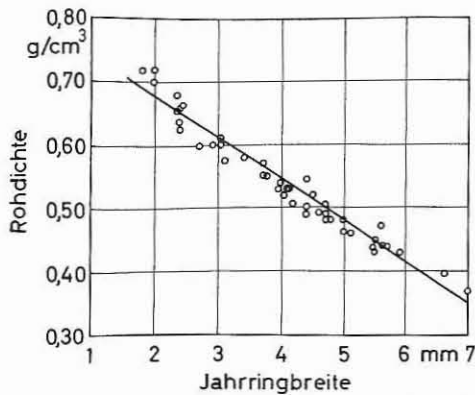


Bild 3. Regressionsgerade der Beziehung Jahringbreite/Holzdicke aller 3 Versuchsflächen

Fig. 3. Regression line for the relationship ring width/wood density

dogene Einflüsse (z. B. verschieden stark ausgeprägter Physiologie), so wird besonders auf Versuchsfläche C die Dichtevervariabilität durch die exogene Einflußnahme der Durchforstung bestimmt und die baumindividuellen Schwankungen verlieren zunehmend an Bedeutung.

### 5.2.5 Zusammenfassung

Bei der Analyse der Beeinflussung der Rohdichte durch Durchforstungsmaßnahmen konnte nur auf Versuchsfläche C eine hochsignifikante Absenkung der Holzdicke nach der Durchforstung im Jahr 1968 sowohl am direkten Dichteprofil, wie auch an der Alterstrend bereinigten Standardvarianzanalyse festgestellt werden. Alle anderen Pflegemaßnahmen führten auf keiner der beiden Durchforstungsflächen zu statistisch absicherbaren Dichteverlusten. Die Durchforstungen als Maßnahmen zur Förderung der Stammdurchmesserentwicklung erbrachten eine Steigerung des mittleren Bestandesdurchmessers um 36% auf Fläche B und 55% auf Fläche C gegenüber der undurchforsteten Fläche A. Die Rohdichte jedoch wurde von diesen Eingriffen zwar beeinflusst (s. Ergebnis der Varianzanalyse), längerfristig führten sie aber zu keiner signifikanten Dichteabsenkung (vgl. Ergebnis des *t*-Tests und der Standardisierung).

### 5.3 Zusammenhang zwischen der Holzdicke und der Jahringbreite

Der Zusammenhang zwischen der Holzdicke und der Jahringbreite wird mit Hilfe der Regressionsanalyse deutlich gemacht: Wie auch bei anderen Nadelhölzern besteht ein direkter straffer linearer Zusammenhang zwischen der Dichte des Holzes und der Breite der Jahrringe (Bild 3).

## 6 Schlußbetrachtungen

Der Vergleich der Rohdichteentwicklung im Untersuchungszeitraum 1965–1980 auf einer undurchforsteten und zwei mehrfach durchforsteten, mit unterschiedlicher Stammzahl ausgestatteten Versuchsflächen mit *Pinus radiata* zeigt folgende Ergebnisse:

Das Rohdichteniveau liegt im Mittel auf der Versuchsfläche A um 14,9% höher als auf Fläche B und um 24,7% als auf Fläche C, die mit geringeren Ausgangsstammzahlen erzeugt wurden. Die Rohdichteunterschiede zwischen den drei Versuchsflächen ließen sich statistisch mit hohen Wahrscheinlichkeiten sichern.

Die Durchforstungen auf den Flächen B und C führten nur in einem Fall auf Fläche C zu einer statistisch nachweisbaren Dichteabsenkung für die Dauer eines Jahres. Diese Eingriffe förderten entscheidend das Durchmesserwach-

tum, führten aber dabei zu keiner bedeutenden, längerfristigen Rohdichteabsenkung.

## 7 Literatur

- Bräker, O.U. 1981: Der Alterstrend bei Jahringdichten und Jahringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien. Heft 142
- Bues, C. 1929: Versuche an Gattersägen. Bielefeld: E. Grundlach
- Bues, C.T. 1984: Radiodensitometrische Untersuchung der Variation von Jahringbreite und Holzdicke in südafrikanischen *Pinus radiata*-Beständen unter dem Einfluß des Klimas und verschiedener Durchforstungsmaßnahmen. Diss., Universität München
- Cown, D.J. 1972: Effects of serve thinning and pruning treatments on the intrinsic wood properties of young radiata pine. New Zealand Forest. Sci. 3:379–389
- Cown, D.J. 1973: Comparison of the effects of two thinning regimes on some wood properties of radiata pine. New Zealand Forest. Sci. 4:540–551
- Craib, I.J. 1939: Thinning, pruning and management studies on the main exotic conifers in S. Africa. Dep. Agr. and For., Sc. Bull. 196
- Fritts, H.C. 1976: Tree rings and climate. 567 S. London, New York, San Francisco: Academic Press
- Grut, M. 1970: *Pinus radiata*, growth and economics. Cape Town: Balkema
- Keller, R. 1968: Des caractéristiques nouvelles pour l'étude des propriétés mécaniques des bois: les composantes de la densité. Ann. Sci. For. 25:237–249
- Knigge, W.; Schulz, H. 1966: Grundriß der Forstbenutzung. 584 S. Hamburg: Paul Parey
- Kollmann, F. 1951: Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. 2. Auflage Band I. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer
- McNeely, R.; Neal, J.; Benkel, M.; Rustenburg, J.; Terasmae, J. 1973: Studies in dendrochronology. No. 1: Application of X-ray densitometry in dendrochronology. Brock. Univ. Dep. Geol. Sci. Res. Repser. 16:1–30
- Mork, E. 1928: Die Qualität des Fichtenholzes. Papierfabrikant 26:741–747
- Parker, M.L.; Meleskie, K.R. 1970: Preparation of X-ray negatives of treering specimens for dendrochronological analysis. Treering Bull. 30:11–22
- Parker, M.L.; Kennedy, R.W. 1973: The status of radiation densitometry for measurement of wood specific gravity. Reprint from Proceed. Int. Union For. Res. Or. (IUFRO), Div. 5 Meetings Cape Town and Pretoria, South Africa, Sept., Oct. S. 1–17
- Perrson, R. 1975: Forest, a site evaluation study in black wattle (*Ac. Mearnsii* de Wild). Ann. Univ. of Stellenbosch 44, Series A
- Polge, H. 1963: Une nouvelle méthode de détermination de la texture du bois: l'analyse densitométrique de clichés radiographiques. Ann. école nat. eaux et for. et de la stat. rech. et. exper. 20:531–581
- Polge, H. 1966: Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. Applications dans les domaines technologiques et physiologiques. Ann. Sci. For. 23 (1):1–206; Fa. 28 (1):1202
- Polge, H. 1971: Perfectionnements récents de l'analyse densitométrique du bois. Note de recherches dép. explor. et utilisation des bois. Univ. Laval 10:1–26
- Schweingruber, F.H.; Fritts, H.C.; Bräker, O.U.; Drew, L.G.; Schär, E. 1978: The X-ray technique as applied to dendroclimatology. Tree-ring Bull. 38:61–91
- Trendelenburg, R.; Mayer-Wegelin, H. 1955: Das Holz als Rohstoff. 541 S. München: Carl Hanser
- Van Laar, A. 1969: Influence of tree parameter and stand density on diameter growth of *P. radiata*. S.A. For. J., No. 69
- Van Laar, A. 1973: Nadel-Biomasse, Zuwachs und Zuwachsverteilung von *Pinus radiata* in Südafrika unter dem Einfluß von Astung und Durchforstung. Forstliche Forschungsberichte der Universität München
- Ylinen, A. 1951: Über den Einfluß des Spätholzanteils und der Jahringbreite auf die Rohwichte bei finnischem Kiefernholz. Holz Roh-Werkstoff 9:449–456