

Doppel

1

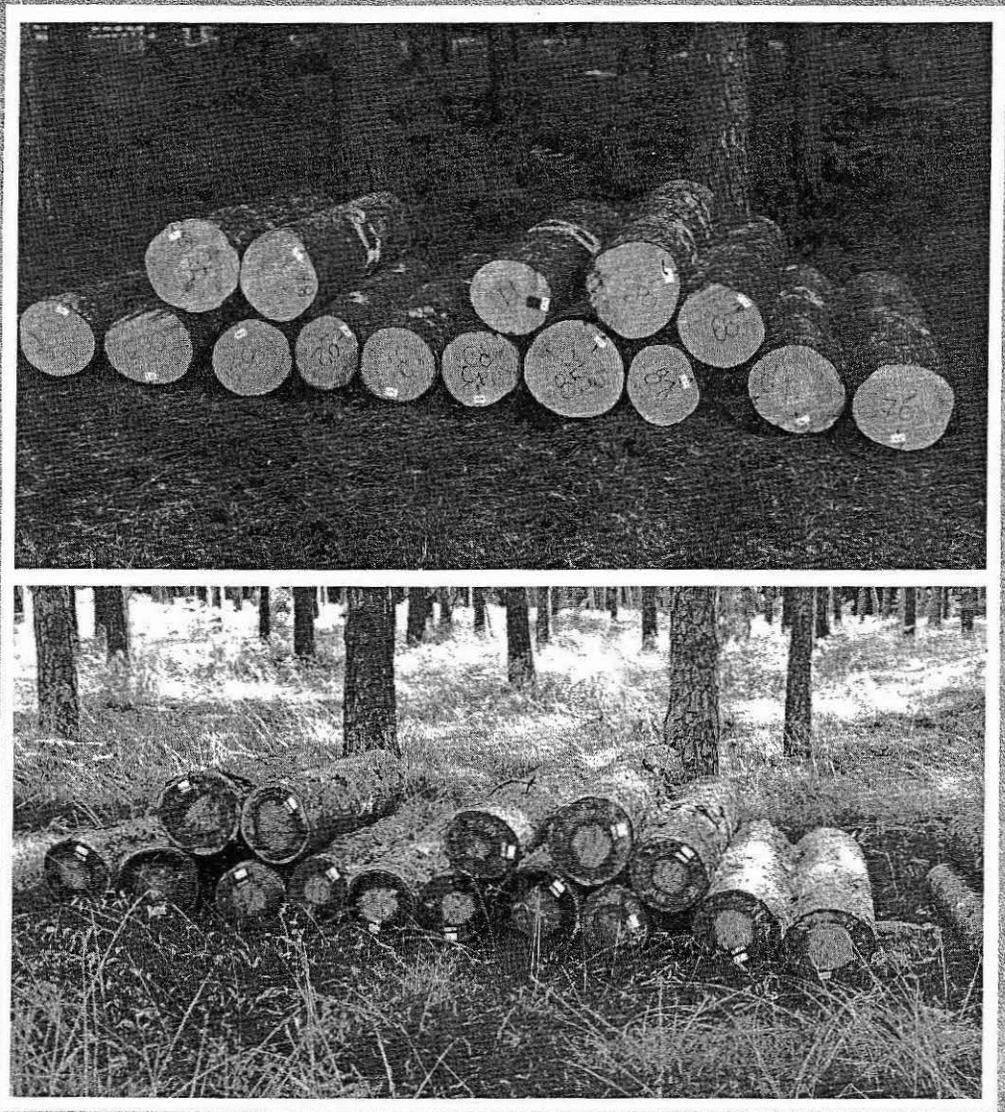
52

# FORSTARCHIV

Zeitschrift für wissenschaftlichen und technischen Fortschritt  
in der Forstwirtschaft

Herausgegeben von Professor Dr. C. WIEBECKE und Professor Dr. H.-J. WEIDELT

60. Jahrgang, 1989 · Heft 2, März/April



VERLAG M. & H. SCHAPER

Vorschau auf unsere nächsten Themen . . . . . 50

**Der EG-Binnenmarkt – Chancen und Risiken  
aus der Sicht des Waldbesitzes** . . . . . 51  
Von Forstdirektor J. PAMPE, Bonn

**Schwerpunkte der Forstpolitik in Praxis und Forschung** . . . . . 53  
Von Prof. Dr. Michel BECKER, Freiburg

**Methodologische Voraussetzungen zur polnischen Forstpolitik** . . . . . 57  
Von Dr. M. St. KOSTKA, Białyostok, Polen

**Untersuchungen an kronengeschädigten Kiefern  
(*Pinus sylvestris* L.) in Nordost-Bayern** . . . . . 62

**Teil I: Krankheitsbild und Wuchsverhalten** . . . . . 62  
Von Dr. H. PRETZSCH, München

**Teil II: Holzqualität** . . . . . 69  
Von Dr. C. T. BUES, Dr. D. FENGEL, Dr. I. GRABNER,  
Dr. S. HEINDL, München,  
Dr. M. SCHOTS-v. d. ZEE, Wageningen, Niederlande,  
und Dr. J. TANG, Yaan, China

**Studien zur Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung  
in Kiefern- und Eucalyptusbeständen Südafrikas** . . . . . 74  
Von Dr. K. v. GADOW und Prof. Dr. Dr. h. c. F. FRANZ, München

**Anatomische Holzeigenschaften und Lagerungsverhalten von  
Kiefern aus immissionsbelasteten Standorten der Nord-  
deutschen Tiefebene** . . . . . 78  
Von Dr. Birgit NIMMANN und Prof. em. Dr. W. KNIGGE, Göttingen

**BÜCHERSCHAU** . . . . . 84  
mit Buchbesprechungen von Prof. Dr. J. BAUCH,  
Prof. Dr. G. BECKER, Prof. Dr. W. KNIGGE, Dr. J. STAHEL

**FORSTTECHNISCHE UMSCHAU**  
**Früherkennung und Bekämpfung von Waldbränden** . . . . . 85  
Von Prof. Dr. M. KUBIAK, Poznań, Polen

**Zum Titelbild:** Lagerungsversuch von Kiefernstammholz im Staatl. Forstamt Wienhausen. Oben die frisch eingelagerten Abschnitte im Sommer 1986, unten dieselben nach einjähriger Lagerung. Die Besiedelung der Splintzone durch Bläuepilze und deren Begleiter ist deutlich erkennbar. Die Festigkeitseigenschaften des gelagerten Holzes erwiesen sich jedoch dem frisch eingeschnittenen gegenüber als nicht reduziert. (Vgl. den Beitrag von B. NIMMANN und W. KNIGGE, S. 78.)  
Foto: F. HAPLA

**VORSCHAU auf unsere nächsten Themen**

- Wandel von Flora und Vegetation unter dem Einfluß des Menschen
- Bioindikatoren
- Ökologische Folgen der Entwässerung
- Untersuchungen an kronengeschädigten Kiefern in Nordostbayern: Nadelelementgehalte, Quantifizierung der Schäden anhand spektraler Rückstrahlungsmessungen
- Natürliche Katastrophen?
- Beitrag der Forstwirtschaft zur Beschäftigungssituation in Entwicklungsländern im Vergleich zu landwirtschaftlichen Nutzungsformen
- Volumenfunktionen für *Pinus caribaea*
- Zum Stand der Bundeswaldinventur
- Nachhaltige Bewirtschaftung des tropischen Feuchtwaldes
- Walderhaltung und Fernstraßenbau
- Erdbebenbelastungen und Forstwegebau in Griechenland

- Forstwirtschaft zwischen Ökologie und Ökonomie
- Zur Bannwaldproblematik
- Zur Entwicklung des Saatgutherkunftsgedankens bis zum „Forstlichen Artgesetz“ von 1934
- Kulturelle Voraussetzungen für Naturschutz, Umweltschutz und Landschaftspflege
- Kennzeichnung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge durch statistische Verhältniszahlen
- Der EG-Binnenmarkt – Chancen und Risiken für die Sägeindustrie, Holzwerkstoffindustrie, Zellstoff- und Papierindustrie
- Ethik in Forstpolitik und Gesetzgebung
- Das nationale Holzforschungsinstitut in Japan
- Rückeschäden bei Vollernter-Einsatz
- Mobile Seilgeräte für die Holzrückung

Beilagenhinweis: Der Gesamtauflage liegt das Jahresinhaltsverzeichnis 1988 bei.

**IMPRESSUM**

**Herausgeber:**  
Prof. Dr. C. WIEBECKE und Prof. Dr. H.-J. WEIDELT  
**Verlag:**  
M. & H. Schaper, Inh. Paul Dobler, Postfach 205, Kalandstraße 4, 3220 Alfeld, Telefon (0 51 81) 80 09-0, Telefax (0 51 81) 80 09 33  
**Verleger:** Paul Dobler  
**Verlagsleiter:** Wolfgang Habeck  
**Schriftleitung:** Prof. Dr. C. WIEBECKE, Reinbeker Weg 58a, 2050 Hamburg 80, Telefon Hamburg (0 40) 7 22 86 46 oder 7 21 58 77  
Verantwortlich für:  
Ökonomie der Forst- und Holzwirtschaft, Forstliche Chronik:  
Prof. Dr. C. WIEBECKE  
Grundlagen, Produktion und Ertrag:  
Prof. Dr. H.-J. WEIDELT, Büsengweg 1, 3400 Göttingen  
Forsttechnische Umschau: WOR Dr. H.-J. WIPPERMANN, Iffa, Vorwerksbusch, 2057 Reinbek, Bez. Hamburg, Telefon Hamburg (0 40) 7 22 30 29  
Einsendungen von Beiträgen an die genannten Adressen.  
**Herstellung:** Erich Bloch

**Anzeigen:** Rainer Flecks-Franke  
MFS Werbeagentur und Anzeigenexpedition, Kalandstraße 4, 3220 Alfeld, Telefon (0 51 81) 80 09-20, Telefax (0 51 81) 80 09 33  
**Konten der Werbeagentur:**  
Postgirokonto: Hannover 4 820-303 (BLZ 250 100 30).  
Bankkonto: Kreissparkasse Alfeld 8 532 (BLZ 259 510 20).  
Z. Z. gilt die Preisliste Nr. 19 vom 1. 1. 1989  
**Vertrieb:** Dieter Meyer  
**Konten des Verlages:**  
Postgirokonto: Hannover 141 64-307 (BLZ 250 100 30).  
Bankkonto: Kreissparkasse Alfeld 8 425 (BLZ 259 510 20).  
Erfüllungsort und Gerichtsstand für Lieferung und Zahlung: Hannover.  
**Satz, Druck und Verarbeitung:**  
Dobler-Druck GmbH & Co KG, 3220 Alfeld (Leine).  
**Bezugsbedingungen:**  
Das „Forstarchiv“ erscheint 6mal jährlich. Jahresbezugspreis DM 189,40 einschließlich Vertriebsgebühren; Streifenbandzusendungen

DM 191,20 einschließlich Versandkosten. Preis des Einzelheftes je nach Umfang mindestens DM 32,-. Ermäßigte Bezugspreise: Für Studenten DM 152,60 einschließlich Vertriebsgebühren; für in Ausbildung befindliche Forstreferendare und Diplom-Forstwirte gegen Vorlage einer Bescheinigung DM 171,- einschließlich Vertriebsgebühren. – Bezugspreis für das Ausland jährlich DM 192,10 einschl. Versandkosten. – Abbestellungen nur bis 6 Wochen vor Ende des Berechnungszeitraumes. Wird das Erscheinen durch höhere Gewalt oder Streik verhindert, so können keine Ansprüche an den Verlag geltend gemacht werden.  
**Hinweise für unsere Autoren:**  
Manuskripte dürfen nicht gleichzeitig anderen Verlagen oder sonstigen Stellen zum Abdruck angeboten werden. Mit Annahme der Manuskripte und Abbildungen erwirbt der Verlag das ausschließliche Recht der Vervielfältigung, Verbreitung, Übersetzung und Weiterverwendung. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar.  
Für den Inhalt der Beiträge sind deren Verfasser verantwortlich.

# Studien zur Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung in Kiefern- und Eucalyptusbeständen Südafrikas

Von K. v. GADOW und F. FRANZ

## 1. Einleitung

In undurchforsteten Waldbeständen läßt sich das Verhältnis des mittleren Durchmessers (D), der mit dem Alter zunimmt, zur Stammzahl (N), die abnimmt, i. d. R. durch eine sogenannte Grenzbeziehung kennzeichnen (CLUTTER et al., S. 72 ff.)<sup>1</sup>. Diese Grenzbeziehung kann als eine Leit-Funktion zur Schätzung der maximalen Bestockungsdichte auf gegebenem Standort herangezogen werden (STERBA, 1981, 1987).

Die Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung kann mit Hilfe einer Gleichung modellhaft abgebildet werden. REINEKE hat hierfür folgenden Ansatz vorgeschlagen:

$$N = rD^k \quad (1)$$

Die Theorie der Grenzbeziehung besagt, daß jedem Bestandesmitteldurchmesser auf gegebenem Standort eine maximale Stammzahl zugeordnet ist. Bei gegebener Stammzahl nimmt der Durchmesser zunächst rasch, nach eingetretener Wurzel- und Sozialkonkurrenz langsamer zu, bis die zugeordnete Wertekonstellation der Grenzbeziehung erreicht ist. Vorausgesetzt, daß kein aktiver Durchforstungseingriff erfolgt, ist jede weitere Dimensionszunahme nun begleitet von einer Abnahme der Stammzahl. Diese Erscheinung ist in der angelsächsischen Literatur auch bekannt unter dem Begriff „Self-thinning rule“ (Selbstdurchforstungseffekt) (WHITE).

Auf Abb. 1 ist die Entwicklung des mittleren Durchmessers und der Stammzahl in acht undurchforsteten Versuchsflächen der *Pinus radiata* in Südafrika dargestellt. Die Extremwerte auf Abb. 1, d. h. die höchstmöglichen Stammzahlwerte bei gegebenem Mitteldurchmesser, folgen der Modellbeziehung sehr gut bei Ausgangsstammzahlen von 500 bis etwa 3000 Bäumen pro Hektar. Bestände der *Pinus radiata*, die mit weniger als 500 Bäumen pro Hektar begründet wurden, erreichen die Grenzbeziehung nicht. Für Ausgangsstammzahlen über 3000 liegen keine Beobachtungen vor.

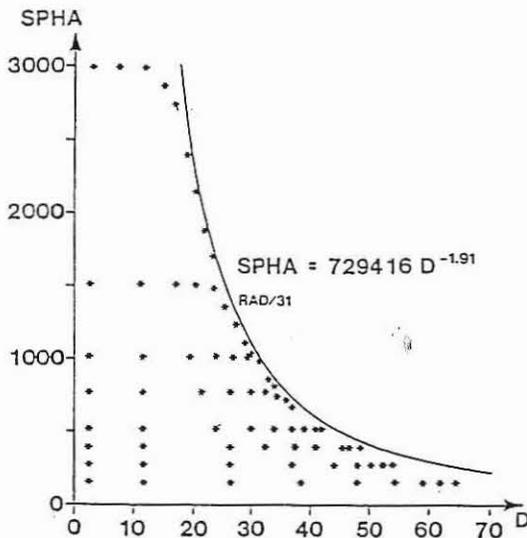


Abb. 1: Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung für die *Pinus radiata*-Versuchsfläche Rad/31 in Tokai/Südafrika (Flächen 1-8; SPHA = Stammzahl/ha, entspr. N/ha; D = Bestandes-Mitteldurchmesser in cm). Fig. 1: Limiting relationship of mean diameter and number of stems, calculated for the *Pinus radiata* trial Rad/31, Tokai/South Africa (Plot Nos 1-8; SPHA: Number of stems per hectare = N/ha; D = mean diameter, cm).

Die Grenzbeziehung nach Gleichung (1) wird häufig in transformierter Form als linearer Formel Ausdruck angegeben:

$$\ln(N) = a + k \ln(D) \quad (2)$$

wobei  $a = \ln(r)$ .

<sup>1</sup>) DREW und FLEWELLING (1979) verwenden hierfür die Bezeichnungen „maximale Dimensions-Dichte-Beziehung“.

Die zwei Parameter der Grenzbeziehung sind die Abfallrate (k) und das Intercept (a), die Funktionskonstante. Die Abfallrate (k) kennzeichnet das Stammzahlhaltevermögen und die potentielle Durchmesser-Wuchsleistung bei abnehmender Stammzahlhaltung. Je größer die Abfallrate, um so geringer ist das Vermögen eines Bestandes, auf starke Durchforstungen nachhaltig mit erhöhtem Durchmesserzuwachs zu reagieren, um so größer ist dann allerdings auch die Fähigkeit der Bäume, bei hoher Bestandesdichte zu überleben.

Der zweite Parameter, die Konstante (a) der Grenzbeziehung, kennzeichnet den Level der natürlichen Grundflächenhaltung. Dieser Parameter ist damit bedeutungsvoll als Weisergröße für das standörtliche Ertragsniveau eines Bestandes (ASSMANN, 1959; SCHMIDT, 1973).

## 2. Die CCT-Standraumversuche

Für das Studium der Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung benötigt man langfristig beobachtete, undurchforstete Versuchsflächen. Zu den bekanntesten forstlichen Versuchsanlagen im außereuropäischen Raum zählen die sogenannten CCT-Versuchsreihen für schnellwüchsige Kiefern- und Eucalyptusarten, die 1937 in Südafrika begründet wurden und die jetzt ein vergleichsweise hohes, weit über die Umtriebszeit hinausreichendes Alter erreicht haben.

Eine CCT-Anlage ist ein Großversuch, der aus 18 Parzellen mit je etwa 0,08 ha (0.2 acres) Meßflächengröße besteht. Die Flächen 1-8, der sogenannte Standraumversuch, wurden, wenn es sich um einen Kiefernversuch handelte, einheitlich mit 2965 Pflanzen/ha begründet. Die Stammzahlen auf den Flächen 2-8 wurden entsprechend dem in Tabelle 1 aufgeführten Schema reduziert, dem bestimmte Annahmen über den Eintritt wachstumswirksamer Wurzelkonkurrenz zugrunde liegen. Die „nominalen“ (Versuchs) Stammzahlen wurden i. w. im Alter 8 erreicht.

Der Standraumversuch ist kein Durchforstungsversuch. Die Stammzahlverminderung vor dem Alter 8, dem Beginn der intensiven Versuchsbeobachtung, ist keine Durchforstung im herkömmlichen Sinne, da in dieser Altersphase noch keine oder nur geringe soziale Wechselwirkungen zwischen den Bäumen bestehen dürften. Die Stammzahlreduktion jeweils vor (einem angenommenen) Eintritt wachstumswirksamer Wurzelkonkurrenz hat zum Ziel, eine für langfristige Wuchsvergleiche geeignete Ausgangssituation mit extremen Standraumvarianten unter versuchstechnisch möglichen Bedingungen zu schaffen. Die nominalen „Ausgangs“-Stammzahlen, die in Wirklichkeit erst im Alter 8 erreicht werden, könnte man als simulierte Pflanzverbände betrachten.

Die Flächen 9-18 der CCT-Anlagen, der sogenannte Durchforstungsversuch, sind für die im folgenden untersuchten Zusammenhänge nicht von Interesse; sie sollen darum hier außer Betracht bleiben.

Es gibt in Südafrika insgesamt 27 CCT-Versuchsreihen (s. Abb. 2). Einige Ergebnisse dieser Anlagen hat BURGERS (1976) in

Tabelle 1: Schema der Stammzahlreduktion in CCT-Standraumversuchen mit Kiefernbestockung

Table 1: Stem number reduction scheme for CCT-trials in pine stands.

Fläche	Alter								Stammzahl im Alter 20 (Beispiel)
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	Stammzahl pro ha								
1	2965	2965	2965	2965	2965	2965	2965	2965	2250
2	2965	1483	1483	1483	1483	1483	1483	1483	1361
3	2965	1484	988	988	988	988	988	988	941
4	2965	1483	988	741	741	741	741	741	721
5	2965	1483	988	741	494	494	494	494	482
6	2965	1483	988	741	494	371	371	371	371
7	2965	1483	988	741	494	371	247	247	247
8	2965	1483	988	741	494	371	247	124	124

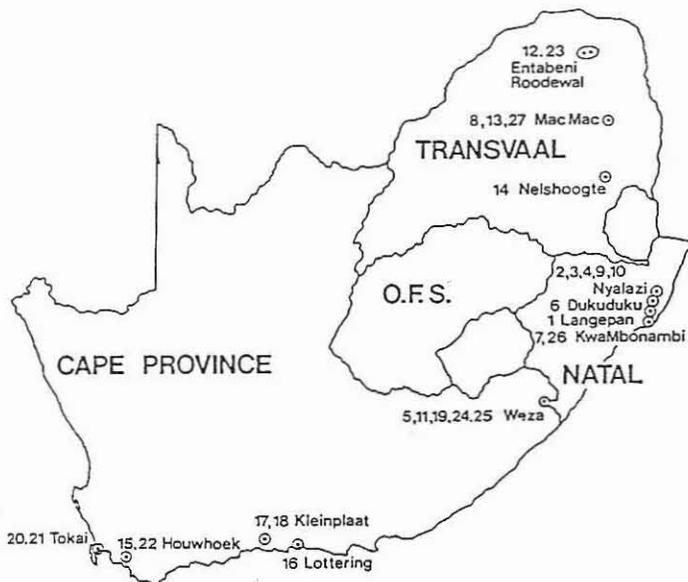


Abb. 2: Geographische Verteilung der CCT-Versuchsanlagen im südlichen Afrika.  
Fig. 2: Geographical distribution of CCT trials in Southern Africa.

einer umfassenden Übersicht zusammengestellt. BURGERS' Durchmesser- und Stammzahlentwicklungsdiagramme sind gut geeignet für das Studium der Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung.

### 3. Zur Hypothese einer allgemeingültigen Abfallrate

Die Behauptung, daß es eine allgemeingültige Abfallrate der Dimensions-Stammzahl-Grenzbeziehung gäbe, hat nicht nur in der forstlichen Literatur einiges Aufsehen erregt. HUTCHINGS spricht von einem allgemeinen ökologischen Gesetz und bezieht sich dabei vor allem auf japanische Arbeiten. So fanden YODA u. a. (1963) die Beziehung

$$\ln(V) = a - 1,5 \ln(N), \quad (3)$$

wobei V das mittlere Baumvolumen oder die Biomasse wiedergibt.

Die Abfallrate  $k = -1,5$  dürfte nach Feststellungen von WHITE (1981) für eine Vielzahl von Pflanzenarten Gültigkeit haben, die als gleichaltrige Populationen in Monokulturen erwachsen sind. REINEKE fand für Douglasienbestände die allgemeine Grundbeziehung

$$\ln(N) = a - 1,605 \ln(D). \quad (4)$$

Die Abfallrate  $k = -1,605$  scheint ebenfalls eine breite Gültigkeit zu besitzen (DANIEL u. a., 1979, S. 263; STERBA S. 111).

Die Werte für die Koeffizienten k in den Gleichungen (3) und (4) sind eingehend diskutiert worden. Bei Untersuchungen zu diesem Fragenkreis ermittelten japanische Wissenschaftler schon vor einiger Zeit unterschiedliche Abfallraten (KIRA u. a., nach frdl. Übersetzung durch Prof. K. NAITO). Auch in jüngeren Arbeiten wird darauf hingewiesen, daß die Volumen-Stammzahl-Grenzbeziehung nicht immer einen k-Wert von  $-1,5$  aufweist (siehe z. B. MOHLER u. a., REINEKE selbst hat schon die Allgemeingültigkeit seiner Abfallrate für Douglasienbestände in Frage gestellt. Auch bei Müller (S. 11 ff.) findet sich ein Hinweis, wonach die Abfallraten sich nach Standorten unterscheiden. Allerdings sind u. W. bisher noch keine empirischen Untersuchungen veröffentlicht worden, die Aufschluß darüber geben, ob sich die Koeffizienten der Gleichung (2) tatsächlich nach Baumart und Standort voneinander unterscheiden. Das dürfte vor allem daran liegen, daß es bisher noch zu wenige langfristig beobachtete Versuchsreihen mit undurchforsteten Versuchsgliedern und breiter Abdeckung von Standorts- und Verbandsvarianten gibt<sup>2)</sup>.

Die CCT-Versuche vermögen hier ein recht umfangreiches Datenmaterial beizusteuern, das eine statistische Beurteilung dieser Frage möglich macht.

<sup>2)</sup> STERBAS grundlegende Arbeit in For. Science 33 (s. Lit.-Verz.) über den Weiserwert der Stammzahl-Durchmesser-Beziehung konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht mehr ausgewertet werden.

Bei der Analyse der südafrikanischen CCT-Daten ergab sich, daß die von Reineke festgestellte Abfallrate von  $-1,605$  bei keiner Baumart und auf keinem Standort zutrif. Es zeichneten sich nicht nur baumartentypische Abweichungen von Reinekes Abfallrate, sondern auch unterschiedliche Abfallraten innerhalb einer Baumart ab. Als Beispiel werden auf Abb. 3 jeweils neun beobachtete Durchmesser-Stammzahl-Grenzwerte<sup>3)</sup> und die aus ihnen berechneten Grenzbeziehungen für zwei Versuchsflächen der Pinus patula aufgezeigt. Die Abfallraten betragen  $k = -1,885$  im Versuch Weza (Craib) und  $k = -2,015$  im Versuch MacMac.

In den CCT-Flächen 1-3 (Ausgangsstammzahlen 2965, 1483 und 988) wird die Grenzbeziehung spätestens im Alter 30 erreicht. Diese Beobachtung ermöglicht einen umfassenden Vergleich der Abfallraten bei verschiedenen Baumarten und auf unterschiedlichen Standorten. Die Stammzahlen und die entsprechenden Mitteldurchmesser, die im Alter 30, 35 und 40 jeweils in den drei am dichtesten bestockten CCT-Flächen festgestellt wurden, ergeben pro Versuchsanlage neun Beobachtungswerte, die aus BURGERS' Übersicht entnommen werden können.

Unter Verwendung der Werte von Burgers wurde mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate für jede Versuchsanlage eine Grenzbeziehung berechnet.

In einer Kovarianzanalyse wurde dann die Hypothese geprüft, die besagt, daß die verschiedenen CCT-Versuchsanlagen gleiche Abfallraten der Grenzbeziehung aufweisen (Tabelle 2).

Der kritische F-Wert beträgt:  $F(0,01, 23 \text{ \& } 168 \text{ F.G.}) = 1,79$ . Die o. a. Hypothese ist somit zu verwerfen. Es besteht ein hochsignifikanter Unterschied zwischen den Abfallraten der Grenzbeziehung in den verschiedenen CCT-Versuchsanlagen.

Die gleiche Hypothese wurde für zwei Gruppen von Baumarten formuliert, die ähnliche Abfallraten aufwiesen. In der Gruppe 1 (Pinus patula, P. taeda, P. elliottii, P. radiata und E. grandis) betrug die gemeinsame Abfallrate  $k = -1,976$  ( $F = 0,88$  bei 17 & 126 F.G.). Auch in Gruppe 2 (Pinus pinaster und P. roxburghii) konnten keine Unterschiede zwischen den Abfallraten festgestellt werden ( $F = 1,25$  mit 5 & 42 F.G.); die gemeinsame Abfallrate dieser Baumartengruppe erreichte  $k = -2,365$ .

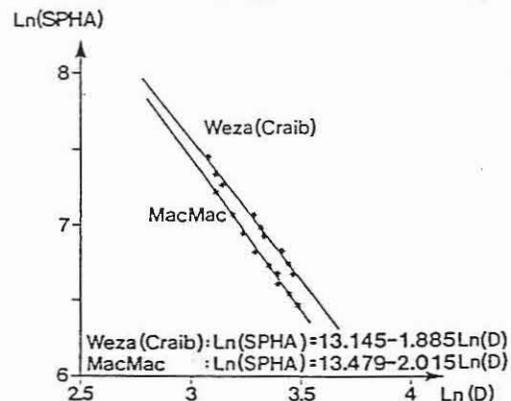


Abb. 3: Zwei Grenzbeziehungen für Pinus patula mit unterschiedlicher Abfallrate.

Fig. 3: Two limiting relationships for Pinus patula with different slopes.

Tabelle 2: Kovarianztabelle zur Prüfung der Hypothese gleicher Abfallrate der Grenzbeziehung bei 24 CCT-Versuchsanlagen

Table 2: Analysis of covariance table for testing the hypothesis of equal slopes of the limiting relationships in 24 CCT trials

	F. G.	S. Q.	M. S.	F
Abweichungen von der gemeinsamen Abfallrate	191	0.5735		
Fehler	168	0.3523	0.0021	
Gleiche Abfallrate	23	0.2211	0.0096	4.5842**

<sup>3)</sup> Die Grenzwerte der am dichtesten bestockten, undurchforsteten Flächen 1-3 wurden in allen Versuchsanlagen spätestens im Alter 30 erreicht. Aus BURGERS Arbeit können die Durchmesser-Stammzahl-Grenzwerte im Alter 30, 35 und 40 entnommen werden. Das ergibt 9 Beobachtungen pro Versuchsanlage, die für die Berechnung der Grenzwert-Regression verwendet werden können.

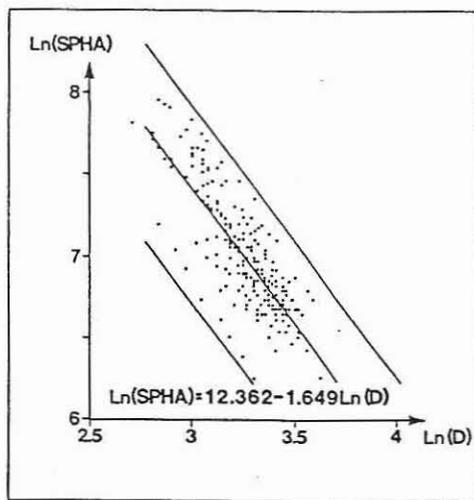


Abb. 4: Beobachtete Werte der Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung und die entsprechende „Gesamt“-Regression.  
Fig. 4: Observations of limiting relationship for mean diameter and number of stems and calculated „total“ regression.

Die mittlere Abfallrate aller Grenzbeziehungen in den 24 CCT-Versuchsanlagen liegt bei  $-2,0898$ , ihre Standardabweichung beträgt  $0,2339$ . Das ergibt mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % einen Vertrauensbereich von  $-1,956$  bis  $-2,224$  für den Wert der Abfallrate, vorausgesetzt, daß Normalverteilung vorliegt.

Die zugrunde gelegte Ausgangshypothese lautet, daß der Wert der Abfallrate  $k = -1,605$  beträgt. Der zu ihrer Prüfung hergeleitete t-Wert

$$t = (2,0898 - 1,605) / (0,23387 / \sqrt{24}) = 10,1^{**}$$

besagt, daß es höchst unwahrscheinlich ist, daß die mittlere Abfallrate der 24 CCT-Versuchsanlagen einer Population mit einem Mittelwert von  $-1,605$  entstammt. Die Wahrscheinlichkeit, daß dies der Fall ist, ist geringer als 0,01 Prozent.

Das untersuchte CCT-Datenmaterial umfaßt 24 Versuchsanlagen mit jeweils 3 Probestellen, also insgesamt 72 langfristig beobachtete Probestellen, die seit etwa 1965 die Grenzbeziehung erreicht haben. Die Analyse der Versuchsflächendaten ergab keine allgemeingültige Abfallrate. Selbst auf Flächen gleicher Baumart wurden z. T. erhebliche Unterschiede in der Abfallrate festgestellt. Die „herkömmliche“ Abfallrate von  $-1,605$  konnte nicht bestätigt werden.

Dieses Ergebnis überrascht im Hinblick auf die mitgeteilten Befunde aus anderen Untersuchungsgebieten. Deshalb lohnt sich der Versuch, zu ergründen, wie es zu der Annahme kommen konnte, die Abfallrate der Grenzbeziehung sei im allgemeinen  $k = -1,605$ .

Wenn man die veröffentlichten Abbildungen von Stammzahl-Durchmesserwerten betrachtet, dann erscheint die allen vollbestockten Flächen gemeinsame Grenzbeziehung mit  $k = -1,605$  auf den ersten Blick plausibel. Dabei wird aber die Tatsache übersehen, daß die individuellen Grenzbeziehungen der vielen einzelnen Bestände nicht erkennbar sind, wenn es sich um einmalige Aufnahmen handelt.

Ein einfaches Experiment bestätigte die Annahme, daß die Berechnung der Abfallrate aus vielen gleichzeitigen Einzelaufnahmen ein irreführendes Resultat ergeben kann. Wenn man zum Beispiel aus den beobachteten Durchmesser-Stammzahl-Grenzwerten aller CCT-Versuchsanlagen eine gemeinsame Regression berechnet, so ergibt sich eine Abfallrate von  $k = -1,649$  (Abb. 4), die Reinekes Wert verblüffend nahekommt.

Dieser Wert ist fast identisch mit der von Reineke festgestellten Abfallrate für Douglasienbestände. Er ist hier eine grob-orientierende Durchschnittsgröße und hat keinen Weiserwert für die Durchmesser-Stammzahl-Entwicklung der Einzelflächen.

#### 4. Konstante (a) der Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung

Abb. 5 zeigt die Entwicklung von Stammzahl und Durchmesser in zwei undurchforsteten CCT-Standraumversuchen der *Pinus pinaster* mit jeweils den Flächen 1–8 (vgl. hierzu Tabelle 1). Die Stammzahlhaltung der Fläche 1 der Versuchsanlage Lottering (Pin/39, rechts in der Abbildung) mit der nominalen Stammzahl von 2965/ha erreicht die Werte der Grenzbeziehung zum Beispiel im Alter 25 bei einem Mitteldurchmesser von etwa 20 cm. Fläche 2 mit der nominalen Stammzahl 1483/ha erreicht die Werte der Grenzbeziehung im Alter 30, bei einem Mitteldurchmesser von etwa 28 cm. Fläche 8 mit 124 Stämmen/ha (die unterste Reihe der Sternchen) wird die Grenzlinie voraussichtlich nicht erreichen. Die entsprechende Entwicklung der Anlage Kleinplaat (Pin/33) ist in der Abb. 5 links aufgezeigt. Hier wurde zusätzlich die Grenzbeziehung für den Versuch Lottering eingezeichnet.

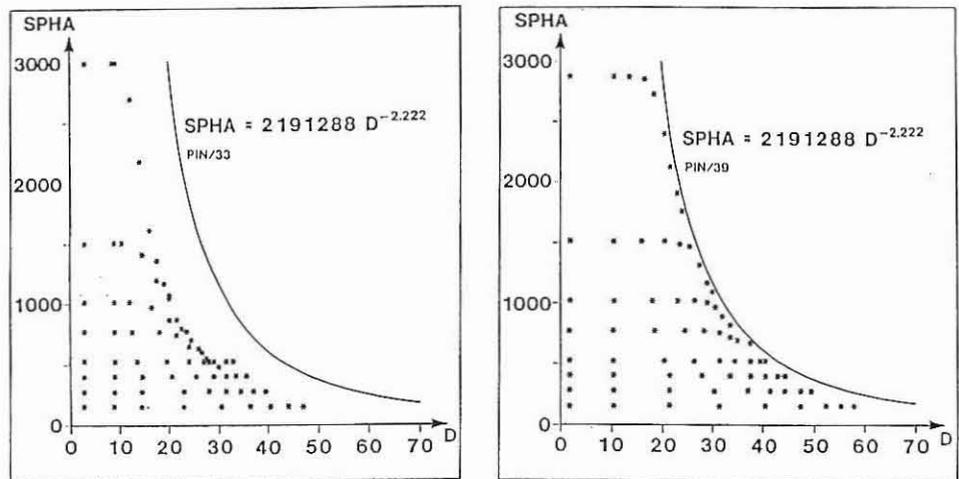


Abb. 5: Entwicklung der Stammzahl über dem Mitteldurchmesser bei *Pinus pinaster*, CCT-Flächen 1–8: Kleinplaat – Pin/33 (links) und Lottering – Pin/39 (rechts)

Fig. 5: Number of stems per hectare plotted over mean diameter, for *Pinus pinaster*, plot Nos 1–8, CCT trials Kleinplaat – Pin/33 (left) and Lottering – Pin/39 (right)

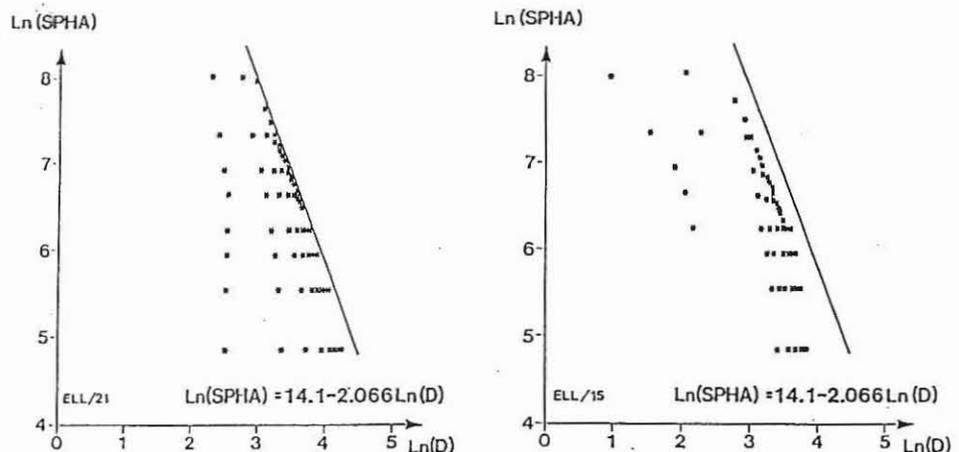


Abb. 6: Entwicklung der Stammzahl über dem Mitteldurchmesser bei *Pinus elliottii*, CCT-Flächen 1–8: MacMac – Ell/15 – (rechts) und Dukuduku – Ell/21 – (links)

Fig. 6: Number of stems plotted over mean diameter, for *Pinus elliottii*, plot Nos 1–8, CCT trials MacMac Ell/15 (right) and Dukuduku Ell/21 (left)

Augenscheinlich hat der Versuchsbestand Kleinplaat bei gleichem Mitteldurchmesser ein geringeres Stammzahlhaltevermögen: Der Parameter (a) der Grenzbeziehung würde in Kleinplaat einen wesentlich geringeren Wert aufweisen. Darin spiegelt sich der Unterschied in der natürlichen Grundflächenhaltung der beiden Versuchsreihen wider).

Ein ähnlicher Vergleich, diesmal im linearen System, ist auf Abb. 6 wiedergegeben. Die hier dargestellten Stammzahl-Durchmesserbeziehungen von zwei Versuchsreihen der *Pinus elliottii* unterscheiden sich im Hinblick auf den Parameter (a). Der Versuch MacMac (Ell/15) weist ein wesentlich geringeres Standardraumausnützungsvermögen auf als Bestand Dukuduku (Ell/21).

Ein Vergleich der Konstantenwerte (a) ist nur möglich bei gleicher Abfallrate. Deshalb wurden, getrennt für jede Baumarten-gruppe, die Grenzbeziehungen erneut berechnet, wobei eine einheitliche Abfallrate innerhalb der einzelnen Gruppen vorgegeben wurde:

$$a = \frac{\sum y - k_{\text{com}} \sum x}{M} \quad (5)$$

wobei  
 a = Konstante der Grenzbeziehung (Intercept),  
 $k_{\text{com}}$  = einheitliche Abfallrate innerhalb einer Baumarten-gruppe  
 (z. B.  $k_{\text{com}} = -1,976$  für Gruppe 1),  
 y =  $\ln(\text{Stammzahl/ha})$ ,  
 x =  $\ln(\text{Mitteldurchmesser})$ ,  
 M = Anzahl der Beobachtungen (9 pro CCT-Anlage).

Die berechneten Konstantenwerte für 14 CCT-Anlagen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Die Werte für die Konstanten der Grenzbeziehungen liegen in Gruppe 1 zwischen 13,166 und 13,808. Diese Variationsbreite erscheint auf den ersten Blick sehr schmal. Bei näherer Betrachtung stellt sich jedoch heraus, daß schon kleine Differenzen im Parameter a der Grenzbeziehung beträchtliche Unterschiede in der natürlichen Grundflächenhaltung widerspiegeln. Ein Beispiel mag dies erläutern:

Bezeichnen wir D als den Durchmesser des Grundflächenmittelstammes und N als die Stammzahl/ha, dann errechnet sich die Bestandesgrundfläche nach der Formel:

$$G = (\pi/4)D^2N \quad (6)$$

Ersetzen wir N durch den Gleichungsansatz (2), so erhalten wir die natürliche Grundfläche ( $G_{\text{max}}$ ) für einen bestimmten Durchmesser des Grundflächenmittelstammes:

$$G_{\text{max}} = (\pi/4)D^2 \cdot e^{a+k \cdot \ln(D)} \quad (7)$$

Die maximale Grundfläche ( $G_{\text{max}}$ ) von zwei Beständen mit gleichem Durchmesser des Grundflächenmittelstammes (D) und gleicher Abfallrate der Grenzbeziehung (k), jedoch geringfügig

**Tabelle 3: Konstantenwerte (a) der Stammzahl-Durchmesser-Grenzbeziehung für vier Kiefernarten auf Standorten unterschiedlicher Leistungsfähigkeit (site indices) in Südafrika**

*Table 3: Intercept values (a) calculated for 4 different pine species stocking on sites of different growth potential (site index) in South Africa*

Baumart	CCT-Anlage	„Site index“	a
<i>Pinus patula</i>	Nelshoogte (II)	26.0	13.445
	Nelshoogte (I-)	27.5	13.479
	Entabeni	25.0	13.354
	MacMac	26.5	13.220
	Weza 522/4	26.2	13.446
	Weza (Craib)	26.5	13.511
<i>Pinus elliottii</i>	Dukuduku	16.5	13.166
	Kwambonambi	19.5	13.247
	Border	19.5	13.610
	MacMac	23.5	13.619
<i>Pinus taeda</i>	Kwambonambi	16.0	13.231
	Border	18.5	13.381
	MacMac	24.0	13.808
<i>Pinus radiata</i>	Tokai 129/16	21.5	13.525
	Tokai 129/5	26.5	13.613

<sup>\*)</sup> Auf Abb. 5 sind auch Standortsunterschiede innerhalb der Anlage Kleinplaat ersichtlich. Die Grenzbeziehung für die Flächen 5 bis 8 unterscheidet sich augenscheinlich von der Grenzbeziehung für die Flächen 1-4.

verschiedenem Konstantenwert (a), kann erhebliche Unterschiede aufweisen, wie das folgende Beispiel zeigt:

Bestand	k	D(cm)	a	Gmax(m <sup>2</sup> /ha)
A	1,976	30	13,4	56,2
B	1,976	30	13,9	92,7

Die erhebliche Differenz der natürlichen Grundfläche unterstreicht den hohen Weiserwert des Parameters (a) der Grenzbeziehung.

### 5. Zusammenfassung

Das Verhältnis des mittleren Durchmessers (D) zur Stammzahl (N) in undurchforsteten Beständen läßt sich durch eine sog. Grenzbeziehung (CLUTTER) kennzeichnen, die mit Hilfe der Gleichung  $N = r \cdot D^k$  (bzw.  $\ln(N) = a + k \cdot \ln(D)$ , wobei  $a = \ln(r)$ ) modellhaft abgebildet werden kann. Die Theorie der Grenzbeziehung besagt, daß jedem Bestandesmitteldurchmesser auf gegebenem Standort eine maximale Stammzahl zugeordnet ist. Die Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehung ist nicht nur von Bedeutung für die modellhafte Abbildung der „natürlichen“ Stammzahlentwicklung undurchforsteter Bestände, sondern auch für das Studium der altersabhängigen maximalen Grundflächenhaltung. Anhand von Durchmesser- und Stammzahldaten aus 24 südafrikanischen Kiefern- und Eucalyptus-Versuchen (sog. CCT-Anlagen) werden einige biometrische Merkmale von Durchmesser-Stammzahl-Grenzbeziehungen beschrieben. Es zeigte sich daß sowohl die Abfallrate (k) als auch die Funktionskonstante (a) erhebliche standörtliche und baumartenspezifische Unterschiede aufweisen können.

#### Summary

#### Studies on limiting relationships of mean diameter and stem number in *Pinus* and *Eucalypt* stands in South Africa

The relationship of mean diameter and number of stems in unthinned stands can be described by means of a limiting reference line (CLUTTER et al., 1983) which is to be expressed by the equation  $N = r \cdot D^k$  (or  $\ln(N) = a + k \cdot \ln(D)$ , with  $a = \ln(r)$ ), as a model function. According to the theory of limiting relationship a certain maximum number of stems is associated with each mean diameter under given site conditions. The limiting diameter-stem number relationship is an important reference line not only for model display of the "natural" stem number in unthinned stands but also for studying development of maximum stand basal area level correlated with age.

Based on diameter and stem number data from research plots in Pine and Eucalypt stands in South Africa (CCT trials) some biometric characteristics of limiting relationships of diameter and stem number are described. It was evident that there are significant differences in the rate of decrease (k) as well as in the intercept (a), affected by site quality and specific growth behaviour of tree species.

#### Literatur

ASSMANN, E. (1959): Höhenbonität und wirkliche Ertragsleistung. Forstw. Cbl. 78 (1/2): 1-20. - BURGERS, T. F. (1976): Management graphs derived from the Correlated Curve Trend (CCT) Projects. Bulletin Nr. 54, Dept of Forestry, Pretoria. - CLUTTER, J. L., J. C. FORTSON, L. V. PIENAAR, G. H. BRISTER and R. L. BAILY (1983): Timber management - a quantitative approach. John Wiley. - DREW, J. T., and J. W. FLEWELLING (1979): Stand density management - an alternative approach and its application to Douglas Fir plantations. For. Sci. 25 (3): 518-532. - HUTCHINGS, M. (1983): Ecology's law in search of a theory. New Scientist, June 765-767. - KIRA, T. u. a. (1957): Density, competition and production in plants. Miyama Vol 41-45 (teilweise übersetzt von Prof. K. Naito). - MOHLER, C. L., P. C. MARKS and D. G. SPRUGEL (1978): Stand structure and allometry of trees during self-thinning of pure stands. Journal of ecology 66: 599-614. - MÜLLER, G. (1957): Über Gesetzmäßigkeiten im Wachstumsgang von reinen gleichaltrigen Fichtenbeständen unter besonderer Berücksichtigung verschiedener Durchforstungsstärken. Dissertation, nat.-math. Fak. d. Univ. Freiburg. - REINEKE, L. H. (1933): Perfecting a stand density index for even-aged forests. Agric. Res. 46: 627-638. - SCHMIDT, A. (1973): Ertragsniveau und Standort, dargestellt am Beispiel der Kiefer. Forstw. Cbl. 92 (5). - STERBA, H. (1981): Natürlicher Bestockungsgrad und Reinekes SDI. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 98 (2): 101-116. - STERBA, H. (1987): Estimating potential density from thinning experiments and inventory data. For. Sci 33: 1022-1034. - WHITE, J. (1981): The allometric interpretation of the self-thinning rule. Journal of theoretical biology 89: 475-500. - YODA, K., T. KIRA, H. OGAWA and K. HOZUMI (1963): Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City University, Series Biology 14: 107-129.

Verfasser: Univ.-Prof. Dr. Klaus von GADOW, Iniv. v. Stellenbosch/Südafrika; Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. F. FRANZ, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Univ. München, Amalienstraße 52, 8000 München 40.