

Sonderdruck aus
Forstwissenschaftliches Centralblatt

96. Jahrgang (1977), H. 6, S. 358-366

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, der photomechanischen Wiedergabe und Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, vorbehalten.

© 1977 Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin

Forschungsaufgaben der Waldertragskunde in der Plantagenforstwirtschaft im südlichen Afrika¹

VON A. VAN LAAR

Die künftigen Aufgaben der Waldertragskunde in der Plantagenforstwirtschaft im südlichen Teil von Afrika müssen vor dem Hintergrund des steigenden Weltholzbedarfes betrachtet werden.

Nach JONES (1975) war der Weltbedarf an Faserholz im Jahre 1975 424 Mio. m³, bis 1990 wird sich dieser Bedarf verdoppeln. Die dementsprechende exponentielle Zuwachsrate beträgt 4,7 %. Der Weltschnittholzbedarf, der 1975 764 Mio. m³ war, wird bei einer geschätzten Zuwachsrate von 1,6 % pro Jahr im Jahre 1990 die Höhe von 955 Mio. m³ erreichen, während der Holzbedarf für sonstige industrielle Verwendungen (1975 283 Mio. m³), bei einer erwarteten Zuwachsrate von 1,8 %, 1990 voraussichtlich 370 Mio. m³ betragen wird. Der Brennholzbedarf war im Jahre 1975 ungefähr 1,2 Mrd. m³. JONES nimmt an, daß sich der Brennholzbedarf pro Kopf nicht ändert. Der Gesamtbrennholzbedarf wird nach JONES bis zum Jahre 1990 auf 1,8 Mrd. m³ anwachsen (Zuwachsrate 2,6 %). MADAS (1974) dagegen schätzt diesen Bedarf gegen Ende dieses Jahrhunderts auf 1 Mrd. m³/Jahr. Es ist bekannt, daß Brennholzbedarf und Einkommen pro Kopf negativ korreliert sind. Deshalb ist zu erwarten, daß der Brennholzbedarf pro Kopf allmählich abnehmen wird, vorausgesetzt, daß der Lebensstandard in den Entwicklungsländern allmählich steigt. Die rezente Energiekrise und die erhebliche Preissteigerung von alternativen Brennstoffen werden aber die Bevölkerung der Entwicklungsländer veranlassen, auch in Zukunft ihren Energiebedarf in erster Linie aus Brennholz zu decken (KING 1976). Die Annahme eines konstant bleibenden Brennholzbedarfes von 1 Mrd. m³/Jahr muß deswegen als eine konservative Schätzung betrachtet werden.

Von diesen Zahlenwerten ausgehend, wird der jährliche Gesamtholzbedarf zwischen 1975 und 1990 durchschnittlich um 500 Mio. m³ ansteigen. Unter der Annahme, daß die vorher erwähnten Zuwachsraten für die unterschiedlichen Holzverwendungen erhalten bleiben, beträgt der Gesamtholzbedarf im Jahre 2020 6,3 Mrd. m³. Dabei werden dann 16 % des Weltholzbedarfes auf Brennholz und 49 % auf Faserholz entfallen.

Die Zunahme des Weltholzbedarfes von 2,7 Mrd. m³ auf 6,3 Mrd. m³ kann nur für einen geringen Teil aus der Nutzung von Waldreserven gedeckt werden. Solche Reserven befinden sich in erster Linie in Südamerika.

PERSSON (1974) schätzt das Gesamtareal der Plantagen mit schnellwachsenden Baumarten auf 8 Mio. Hektar. Die jährliche Holzproduktion dieser Wälder ist also, bei einem geschätzten durchschnittlichen Zuwachs von 12 m³ pro Jahr und Hektar, 100 Mio. m³. Geht man z. B. davon aus, daß im Jahre 2020 diese Plantagen 25 % des Gesamtholzbedarfes decken sollen (1,58 Mrd. m³ pro Jahr), wäre dafür eine Fläche von 131 Mio. Hektar erforderlich. Die Fläche schnellwüchsiger Plantagenwälder müßte daher mit einer exponentiellen Rate von 6,4 % zunehmen, d. h. sie müßte sich alle elf Jahre verdoppeln. Die jährliche Zuwachsrate des Areal der Plan-

¹ Probestvorlesung am 5. 7. 1976 im Rahmen eines Habilitationsverfahrens im Fachbereich Forstwissenschaft der Universität München.

tagenwälder in Brasilien beträgt 10 %, in Südafrika sowie Neuseeland 5 %. Es wäre deshalb theoretisch möglich, daß die schnellwüchsigen in Plantagen angepflanzten Baumarten im Jahre 2020 1,6 Mrd. m³, d. h. 59 % des heutigen Weltholzbedarfes erzeugen könnten.

Im südlichen Afrika ist die Situation wie folgt (PERSSON 1975):

1. Das Areal der Plantagenwälder in Südafrika beträgt 1,13 Mio. Hektar (Kiefern 51 %, *Eucalyptus grandis* 26,6 %, *Acacia mearnsii* 14,5 %, übrige Holzarten 7,5 %). Im Jahre 1974/1975 wurde ein Areal von 2800 Hektar neu aufgeforstet; das geplante Aufforstungsareal jedoch beträgt 50 000 Hektar pro Jahr.
2. Das Areal der Plantagenwälder in Rhodesien beträgt ungefähr 100 000 Hektar (*P. patula*, *P. elliotii* und *P. taeda*: 43 %, *E. grandis* 32 % und black wattle 25 %).
3. In Kenia beträgt das Areal der Plantagenwälder 138 000 Hektar (fremdländische Nadelholzarten 85,6 %, fremdländische Laubholzarten 7,8 % und einheimische Holzarten 6,6 %). Es werden jährlich 6000 Hektar aufgeforstet.
4. In Malawi ist ein Areal von 14 200 Hektar für die Starkholzerzeugung aufgeforstet worden (*P. patula*, *P. taeda*, *P. elliotii*, *P. kesiya*: 91,5 %, Eukalyptus und andere Laubholzarten 8,5 %), während ein Plantagenareal von 37 000 Hektar für die Faserholzerzeugung reserviert ist. Im Jahre 2000 soll das Gesamtareal der Plantagenwälder 46 500 Hektar betragen.
5. Das Areal der Plantagenwälder in Sambia betrug 1974 19 000 Hektar (*P. kesiya* und andere Kiefernarten: 68 %, Eukalyptus 32 %). Es ist beabsichtigt, jährlich ein Areal von 800 Hektar mit Eukalyptus und 1600 Hektar mit Pinusarten anzubauen.
6. Über die Situation in Zaïre ist wenig bekannt. Nach PERSSON beträgt das Areal der Plantagenwälder zwar 50—60 000 Hektar, die Produktion pro Hektar ist jedoch gering, und nur 3 bis 4 % des Gesamtareals entfallen auf die raschwüchsigen Kiefernarten.

Aus dieser Übersicht geht hervor, daß die Kiefernarten *P. patula* aus Mexiko, *P. radiata* aus Kalifornien, *P. elliotii* und *P. taeda* aus den südöstlichen Staaten der USA, *P. caribaea* von den Karibischen Inseln, *P. pinaster* aus Südeuropa und *P. kesiya* aus Südost-Asien sowohl für die Starkholz- wie auch für die Faserholzerzeugung eine wichtige Rolle spielen. *E. grandis* aus Australien ist eine im allgemeinen für diese Klimazonen sehr geeignete Baumart und hat sich hervorragend bewährt für die Erzeugung von Gruben- und Faserholz, kann aber auch als Schnittholz verwendet werden. *Acacia mearnsii*, ebenfalls aus Australien, wird in Südafrika und Rhodesien angebaut, in erster Linie jedoch für die Produktion von Tanninen.

Die einheimischen Baumarten im Süden des afrikanischen Kontinentes, z. B. in Rhodesien, Malawi, Swaziland und Südafrika, sind für die Holzversorgung bedeutungslos. Ihre Gesamtbiomasseerzeugung pro Jahr und Hektar ist im günstigsten Fall 5 %, im ungünstigsten Fall nur 1 % derjenigen der fremdländischen Baumarten. BARNES (1976) erklärt dieses Phänomen wie folgt: Der südliche Teil von Afrika hat eine relativ stabile geologische und klimatologische Geschichte. Im natürlichen Ausleseprozeß hatten deshalb Baumarten mit einer hohen Brand- und Dürre-resistenz die besten Überlebenschancen. Die für diese Gebiete geeigneten fremdländischen Eukalyptus- und Kiefernarten haben ihr natürliches Verbreitungsgebiet dagegen in Gebieten mit einer turbulenten geologischen und klimatologischen Geschichte, in denen Aggressivität und Schnellwüchsigkeit einer Baumart wichtige Vorbedingungen für die Kolonisierung eines Standortes sind.

In der heutigen Entwicklungsphase der Plantagenforstwirtschaft im südlichen Teil von Afrika ist die quantitative Erfassung der Abhängigkeitsbeziehungen zwischen Standort und Wuchsleistung deshalb von größter Bedeutung. Derartige Forschungen

sind die wichtigste Grundlage für die waldbauliche Planung beim Exotenanbau in Neuaufforstungen und für eine optimale Bodenbenutzung.

Bekanntlich werden bei dieser Forschung möglichst viele Standortsfaktoren quantitativ erfaßt und deren Wirkung und Wechselwirkung mit anderen Einflußfaktoren regressionsanalytisch getestet, wobei von bestimmten Modellansätzen ausgegangen wird. Die meßbaren Standortsfaktoren beeinflussen direkt oder indirekt die Mineralstoffversorgung, die interne Wasserbilanz des Baumes, die Gesamterzeugung von photosynthetisch aktiven Nadeln, die Photosynthese pro Gramm Nadelgewicht und die Produktion von Wachstumsregulatoren und infolgedessen auch die kambiale Aktivität. Ein Teil dieser Grundlagenforschungen befaßt sich mit dem kausalen Zusammenhang zwischen den Standortsfaktoren und der davon abhängigen Wachstumsleistung.

Für die Weiterentwicklung der Waldwachstumskunde ist eine solche, auf Kausalität orientierte Forschung zwar unbedingt erforderlich, sie könnte jedoch zu unbrauchbaren Ergebnissen für die forstliche Praxis führen, wenn die Gewinnung von Beobachtungswerten für die Standortmerkmale, die im Prognosemodell als erklärende Variable verwendet werden, nicht realisierbar ist.

Ein Prognosemodell mit Standortsfaktoren, deren Messung keinen zu großen Kosten- und Zeitaufwand erfordert, wäre dann eine alternative Lösung. Wegen ihres Einflusses auf Photosynthese, Atmung, Transpiration, Transport von Wasser und Mineralstoffen und wegen ihres indirekten Einflusses auf die Länge der Vegetationszeit ist die Temperatur als kausale Variable zu betrachten. Die Temperatur könnte jedoch durch die Meereshöhe ersetzt werden, deren Erfassung relativ einfach ist. Temperatur und Meereshöhe sind jedoch nicht funktionell, sondern stochastisch korreliert, wodurch die Fehlerstreuung in der Varianzanalyse einer Regressionsgleichung mit Meereshöhe statt Temperatur als einer der erklärenden Variablen erheblich größer sein könnte. Die Methode ruft keine Verzerrung bei der Schätzung des verwendeten Wachstumsparameters hervor. Obwohl die Präzision der Schätzung im Falle einer größeren Residualstreuung geringer ist, kann dieses Verfahren brauchbare Schätzgleichungen ergeben.

Das hier beschriebene Verfahren wurde von SCHÖNAU (1968) in einer Arbeit über die Abhängigkeit der Bestandesbonität von *A. mearnsii* von Standortsfaktoren angewendet.

Aus der Weltliteratur geht hervor, daß die Höhenbonität gewöhnlich als abhängige Variable verwendet wird. In einer Arbeit über *P. elliotii* hat JACKSON diese Methode modifiziert und dabei den durchschnittlichen Höhenzuwachs während der exponentiellen Wachstumsphase verwendet, um damit den Einfluß der zu erwartenden Wachstumsvariabilität während der sogenannten Lag-Phase auszuschalten. Wird entweder die Gesamthöhe oder der durchschnittliche Höhenzuwachs als die abhängige Variable verwendet, so ist die Einführung des Alters als zusätzliche erklärende Variable erforderlich. In Mitteleuropa muß das Modell einen Wendepunkt enthalten: Nach der Ertragstafel für Fichte in Bayern kulminiert der laufende Zuwachs zwischen 25 und 35 Jahren (ASSMANN und FRANZ 1972). In den subtropischen Klimagebieten findet diese Kulmination in einem sehr frühen Alter statt, in südafrikanischen Eukalyptusbeständen z. B. im Alter von zwei Jahren (VAN LAAR 1960), so daß wesentlich einfachere Modellansätze, z. B. mit einer logarithmischen Transformation für Bestandeshöhe und einer reziproken Transformation für Alter, der Abhängigkeitsbeziehung zwischen Alter und Bestandeshöhe entsprechen würden. Ertragsniveauunterschiede werden in diesem Fall nicht berücksichtigt. Sind solche Unterschiede standortsabhängig, dann ist nicht zu vermeiden, daß diese Methode eine verzerrte Schätzung der relativen Ertragsfähigkeit unterschiedlicher Standortstypen ergibt. Könnte der DGZ_U als abhängige Variable verwendet werden, würde man diesen Bias bei der Schätzung

vermeiden. Wird mit Hilfe des DGZ_U (fehlerfrei gemessen) die Leistungsfähigkeit des Standortes unmittelbar erfaßt, und wird dieser als abhängige Variable verwendet, so kann man auch eine geringere Residualstreuung und ein größeres Bestimmtheitsmaß erwarten. In einer Arbeit von MOOSMAYER und SCHÖPFER (1972) wurde dies jedoch nicht bestätigt, möglicherweise weil sich unbekannte Zufallsfaktoren auf den DGZ_U auswirken.

Da der DGZ_U jedoch nur in Dauerversuchsflächen ermittelt werden kann, ist der Umfang der Unterlagen im allgemeinen beschränkt, während auch die Zufälligkeit der Stichprobenentnahme nicht immer gewährleistet ist. Es wäre allerdings denkbar, den laufenden Bestandeszuwachs aus Bohrspan- und Stammanalysen zu schätzen und als abhängige Variable zu verwenden, wobei außer dem Alter auch die Bestandesdichte als konkomitante Variable herangezogen werden sollte.

Hinsichtlich der Auswahl der erklärenden klimatologischen Variablen sollte das regionale Klima des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden. In Arbeiten von EKLUND (1957) und ERLANDSSON (1936) in Schweden und MIKOLA (1962) in Finnland wurde die Abhängigkeit der Jahrringbreite von der Temperatur in nördlichen Gebieten nachgewiesen. Die Temperatur wirkt sich auf zahlreiche physiologische Prozesse aus, welche nicht nur das Wachstum direkt beeinflussen (HELLMERS 1962; KRAMER und KOZLOWSKI 1960), sondern auch die Dauer der Vegetationszeit, welche von MOOSMAYER und SCHÖPFER festgelegt wurde als die Anzahl von Tagen mit einer Temperatur über 10°C . EKLUND verwendete die Anzahl von Tagen mit einer Maximumtemperatur über 16°C , ERLANDSSON die Anzahl von Tagen mit einer Maximumtemperatur über 19°C als erklärende Variable.

HESSELMAN (1904) hat in Schweden eine positive Korrelation zwischen dem Höhenzuwachs und der Juli-August-Temperatur des vorhergehenden Jahres festgestellt. Auch MITSCHERLICH et al. (1973) berichteten über den Einfluß der Temperatur und anderer Witterungsfaktoren auf den Jahresablauf des Höhenwachstums verschiedener Baumarten.

Obwohl sich die Wirkungskurve der Temperatur in den subtropischen Gebieten grundsätzlich nicht von derjenigen in den kühleren Klimazonen unterscheidet und dieselbe Kurvenform aufweist, ist eine Optimumtemperatur bei Untersuchungen unter Freilandbedingungen im Gegensatz zu Laborversuchen kaum festzustellen, weil die Wasserbilanz als ein wachstumshemmender Faktor auftritt, bevor die Optimumtemperatur erreicht wird. Deshalb ist die Evapotranspiration, die eine Funktion der Sonnenstrahlung (PENMAN 1963), der Wasserkapazität und des Wasservorrates im Boden ist, eine wichtige Einflußvariable. Bei der Berechnung der potentiellen Evapotranspiration nach der THORNTHWAITESchen Formel wird nur die Temperatur herangezogen (THORNTHWAITE 1948), mit einer Berichtigung für unterschiedliche Breitengrade. Die oben erwähnten Bodenfaktoren werden bei der Schätzung der aktuellen Evapotranspiration mit einbezogen (THORNTHWAITE und MATHER 1957).

Bei der Regressionsanalyse haben JACKSON (1962), SCHÖNAU (1968) und viele andere die einzelnen edaphischen, physiographischen und klimatischen Variablen erfaßt und varianzanalytisch auf ihre Signifikanz untersucht, wobei in vielen Fällen nicht nur Wechselwirkungen, sondern auch Kurvilinearität berücksichtigt wurde. Eine alternative Lösung ist die Anwendung von multivariaten Analysemethoden, wobei Hauptkomponenten berechnet werden, welche interpretierbar sind und eine lineare Kombination der erklärenden Variablen darstellen (FOURT et al. 1971).

Dabei ist es nicht unbedingt notwendig, jeden Standortsfaktor als einzelne Variable zu erfassen. MOOSMAYER und SCHÖPFER (1972) fanden eine elegante Lösung. Die Ökoserie, der Wasser- und Lufthaushalt, sowie die Oberbodenstörung wurden als Scheinvariable auf einer Werteskala eingestuft und regressionsanalytisch untersucht. In der Regressionsanalyse ergab sich ein mehrfaches Bestimmtheitsmaß von 0,90; nur

10 % der Gesamtstreuung der Höhenbonitäten blieb unerklärt. Die Scheinvariable „Ökoserie“ ist eine diskrete Variable. Sie stellt eine Kombination von verschiedenen edaphischen Standortfaktoren dar. In ähnlicher Weise hat SCHÖNAU in der vorher erwähnten Arbeit über *A. mearnsii* den PATERSONSchen CVP-Index verwendet (PATERSON 1956). Obwohl der CVP-Index im Gegensatz zu der MOOSMAYER und SCHÖPFERSchen Ökoserie eine stetige Variable ist, stellt auch diese eine Kombination von Klimafaktoren dar, und zwar der durchschnittlichen Temperatur des wärmsten Monats, der Temperaturdifferenz zwischen dem wärmsten und dem kältesten Monat, des jährlichen Niederschlages und der Dauer der Vegetationszeit, wobei der MILANKOVITSCHSche Faktor eine Korrektur für Unterschiede im geographischen Breitengrad darstellt.

Zwischen den Kulturmaßnahmen Pflanzverband, Durchforstung und Astung können hinsichtlich der organischen Produktion bedeutende Wechselwirkungen erwartet werden.

Zum Thema Pflanzverbandsversuche wird auf die Anlage von CCT-Versuchen in Südafrika und Rhodesien und auf die Nelder-Anlagen in Rhodesien, Kanada und Südafrika verwiesen. Beim CCT-Versuch besteht die Versuchsreihe aus acht Parzellen mit Stammzahlen von 125 bis 3000 pro Hektar. Zur Beseitigung von Wurzelkonkurrenz durch Unkrautvegetation beträgt die Ausgangs-Stammzahl jeder Versuchsfläche 3000 pro Hektar. Die Durchforstung aller Flächen mit einer Endstammzahl unter 3000 findet schrittweise statt, bevor Wurzelkonkurrenz eintritt.

Bei der Nelderanlage besteht der Versuch aus einer einzigen, kreisförmigen Versuchsfläche, die gleichsam ein Rad darstellt, auf dessen Speichen die Bäume gepflanzt werden. Die Dichte des Pflanzverbandes nimmt dabei logarithmisch nach außen hin zu. Daraus resultiert eine Anzahl von konzentrischen Kreisen, auf deren Peripherien sich die Bäume im gleichen Abstand voneinander befinden. Die Nelderanlage, die als eine systematische Anlage aufzufassen ist, hat den Vorteil, daß keine Isolierstreifen benötigt werden und die Gesamtfläche, die für den Versuch erforderlich ist, relativ klein ist. Dagegen ist jedoch die Unabhängigkeit der Residualabweichungen, die für eine Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie verlangt wird, nicht sichergestellt.

Aus dem CCT-Versuch können flächenbezogene Zuwachswerte abgeleitet werden. Der Nelderversuch ist hingegen eher als eine Einzelbaumuntersuchung zu betrachten, wobei der beobachtete Zuwachs des Einzelbaumes als eine Funktion seines potentiell zur Verfügung stehenden Standraumes betrachtet werden sollte.

Von entscheidender Bedeutung für den Informationsgehalt dieser Nelderversuche ist die Frage, ob sie sich mit Durchforstungsversuchen verbinden lassen. Würde man die Durchforstungsstärken den einzelnen Speichen zuweisen, so wären Isolierstreifen erforderlich. Eine weitere Möglichkeit wäre nach einem Vorschlag von VAN DER SLYKE (1963), die Durchforstungsstärken den einzelnen Quadranten zuzuweisen. Daraus würde eine Anlage resultieren, welche etwa einer systematischen Variante der Spaltblockanlage entspricht.

Der südafrikanische CCT-Versuch besteht aus einer einzelnen oder aus mehreren Reihen von acht Pflanzverbandparzellen und zusätzlichen Versuchsflächen, die in verschiedenem Alter und in unterschiedlicher Stärke durchforstet werden.

MARSH (1961) hat folgende Hypothese formuliert: Der Zuwachs durchforsteter Bestände ist gleich dem Zuwachs undurchforsteter Bestände mit gleicher Stammzahl und gleichem Volumen (oder Grundfläche) pro Hektar, wobei das Alter aber keine Rolle spielt. Dazu kann bemerkt werden, daß der undurchforstete Bestand des weiteren Verbandes infolge der besseren Kronenausbildung des Einzelbaumes diese Grundfläche in einem früheren Alter erreicht. Auf Grund des zur Verfügung stehenden Beobachtungsmaterials konnte die Hypothese nicht abgelehnt werden. Bei dieser Prüfung wurde die Zufallsvariable als die Differenz zwischen dem Zuwachs der

beobachteten Durchforstungsfläche und der dementsprechenden CCT-Fläche definiert. Die Grundgesamtheit ist dabei die unendliche Anzahl von Zuwachsdifferenzen, die bei gleichbleibenden Umweltfaktoren beobachtet werden könnte. Die Stichprobe, die man sich als eine Zufallsstichprobe denkt, besteht aus der endlichen Anzahl von Vergleichsflächen, welche im Versuch realisiert werden.

Auf Grund der erheblichen Fehlerstreuung in diesen Versuchen und wegen des relativ geringen Stichprobenumfangs hat der Test jedoch eine geringe Trennschärfe. Es kann gezeigt werden, daß der Test nur dann eine akzeptable Schärfe aufweist, wenn der Variationskoeffizient und die nachzuweisende Differenz zwischen dem wahren und dem hypothetischen Mittelwert der Grundgesamtheit von Zuwachsdifferenzen die gleiche Größenordnung aufweisen.

Würde die Nullhypothese zutreffen, könnte in bestimmten Altersphasen eine Leistungssteigerung infolge schwacher Durchforstung erwartet werden, was eine Bestätigung der ASSMANNschen Wuchsbeschleunigungstheorie bedeuten würde (ASSMANN 1970). Obwohl man in diesem Fall sagen könnte, daß die Durchforstung ein physiologisches Jüngerwerden des Bestandes hervorruft, ist die wirkliche Ursache solcher Zuwachsausschläge damit noch nicht geklärt. Provenienzversuche haben gezeigt, daß der Wachstumsrhythmus für verschiedene Ökotypen unterschiedlich ist. Es ist nicht ausgeschlossen, daß eine solche genetische Variabilität auch innerhalb der Population von Bäumen eines Bestandes existiert. Sind Genotypen, deren Kulmination des laufenden Zuwachses später stattfindet, in den unterdrückten Baumklassen stärker als in den herrschenden Baumklassen vertreten, so kann damit eine Zuwachssteigerung infolge von Niederdurchforstung erklärt werden.

Als weiterer Einflußfaktor auf das Wachstum soll die Energiebilanz erwähnt werden. BAUMGARTNER (1967) hat festgestellt, daß die Energiebilanz im unteren Kronenraum negativ ist, d. h. daß der Energieverbrauch während der Atmung die Energieerzeugung während der Photosynthese übertrifft. Es ist unsicher, ob dies auch für Kiefernplantagen im südlichen Afrika zutrifft. Die Lichtverhältnisse im unteren Kronenraum sind hier wesentlich günstiger als in Mitteleuropa; allerdings könnte auch der Lichtkompensationspunkt unterschiedlich sein.

Es ist jedoch zu bezweifeln, ob die in biometrischer Hinsicht eleganten CCT-Versuche und Nelderanlagen den klassischen Durchforstungsversuch ersetzen können.

Wegen der zu erwartenden Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Pflanzenverband, Durchforstung und Astung sind mehrfaktorielle Versuche notwendig. Weiterhin können ein kurvilinearere Zusammenhang zwischen jedem einzelnen Faktor und dem Zuwachs, sowie Wechselwirkungen zwischen den linearen und quadratischen Komponenten einer Hauptwirkung mit den übrigen Faktoren erwartet werden. Deshalb sollte jeder Faktor auf wenigstens drei Stufen getestet werden. Vorteilhaft ist dabei die Spaltanlage, wobei die Faktoren Pflanzverband und Durchforstung den Hauptflächen und Astungsbehandlung den Unterflächen zuzuweisen sind. Ferner könnte die Residualstreuung verringert werden, indem diejenigen Standortfaktoren innerhalb jeder Unterfläche, die signifikant mit der Wuchsleistung korreliert sind, quantitativ erfaßt und als konkomitante Variablen in die Varianzanalyse eingeführt werden. Wegen des daraus resultierenden Verlustes an Freiheitsgraden sollte die Anzahl von Kovariaten jedoch gering sein. Eine alternative Lösung wäre, jede Wiederholung in drei Blocks aufzuteilen und die Drei-Faktor-Wechselwirkung partiell mit Blocks zu vermengen („confounding“) oder eine partielle Vermengung in Quasi-Lateinischen Quadraten zu realisieren.

Betrachten wir die Kombination von Durchforstung und Pflanzverband näher, so ist zu entscheiden, wie die Durchforstungsstärke zu bestimmen ist. ASSMANN hat die Grundflächenhaltung als ein quantitatives Kriterium bei der Auswertung von Durch-

forstungsversuchen eingeführt. Die Eingriffsstärke wird dabei auf die Bestandesdichte des verbleibenden Bestandes bezogen.

In ähnlicher Weise hat LEXEN (1943) die Kambialfläche des Bestandes als Maßstab für die Bestandesdichte vorgeschlagen. Obwohl dieses Verfahren bei Durchforstungsversuchen nie realisiert wurde, wäre es durchaus möglich, ein Prognosemodell mit Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe und möglicherweise dem Durchmesser bei 30 % der Baumhöhe als erklärende und der Kambialfläche als abhängiger Variablen zu testen, wobei vielleicht ein exponentielles Modell verwendet werden könnte. Diese Gleichung könnte dazu benutzt werden, die Kambialfläche der Versuchsparzelle über die Durchmesser-Verteilung zu schätzen und mit dem zu untersuchenden Wachstumsparameter zu korrelieren.

Beim HART-BECKING- $S^0/0$ -Index wird der mittlere Abstand zwischen den Bäumen in Prozent der Oberhöhe ausgedrückt (HART 1928; BECKING 1952). Zur Vereinfachung der Berechnungen wird dabei von systematischer Baumverteilung ausgegangen. Sind die Bäume jedoch zufällig verteilt („POISSON-Wald“), dann ist der mittlere Abstand nicht unmittelbar zu erfassen; trotzdem wird nach den von BECKING vorgeschlagenen Richtlinien auch in diesem Fall die für den systematischen Wald aufgestellte Formel angewendet.

Bei solchen Versuchen muß man allerdings auf die bisher üblichen, relativ großen Versuchsflächen verzichten. Beim heutigen Stand der Ertragskunde genügt es nicht mehr, nur die Hauptwirkung eines einzelnen Faktors zu erfassen, sondern es müssen auch deren Wechselwirkungen mit anderen Einflußfaktoren (v.a. 1. Ordnung) berücksichtigt werden.

Es würde zu weit führen, die verschiedenen Forschungsrichtungen bei der Baumbiomasseforschung im einzelnen zu diskutieren. Das wichtigste Ziel ist die Quantifizierung der Gesamtbiomasseerzeugung in ihrer Abhängigkeit vom Alter. Bei der biologischen Anwendung dieser Untersuchungen ist das Versuchsziel unter anderem die Abhängigkeitsbeziehung zwischen Blattbiomasse und Wachstum zu erfassen. Diese Forschungsrichtung könnte zweifellos einen wertvollen Beitrag liefern zur Weiterentwicklung der kausal orientierten Waldwachstumskunde. Dies ist vor allem dann zu erwarten, wenn biologische und physiologische Gesichtspunkte in sinnvoller Weise miteinander verbunden werden.

Zusammenfassung

Da die im Süden des afrikanischen Kontinents natürlich vorkommenden Baumarten wirtschaftlich bedeutungslos sind, kommt der Waldertragskunde zur Beurteilung der Anbauwürdigkeit ausländischer Baumarten eine wichtige Aufgabe zu. In Ermangelung langfristiger Beobachtungsergebnisse von Versuchsflächen mit differenzierter Behandlung, muß das Wachstum der Plantagen-Baumarten aus dem derzeitigen Zustand verschieden alter Plantagen oder aus einer kürzeren Periode hergeleitet werden.

Dazu werden an Hand der internationalen Literatur eine Reihe von biometrisch fundierten Lösungsmöglichkeiten besprochen. Infolge der zu erwartenden Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Pflanzverband, Durchforstung und Astung sind mehrfaktorielle Versuche empfehlenswert, wobei jeder Faktor auf wenigstens drei Stufen getestet werden sollte. Wichtig erscheint ferner eine Verstärkung der kausalen Forschungsrichtung der Waldwachstumskunde, wobei v. a. die Blattbiomasse und ihr Einfluß auf das Baumwachstum untersucht werden sollte.

Summary

*Problems of forest yield research in the plantation management
in Southern Africa*

Since the naturally existing tree species in the south of the African continent have no economical value, growth and yield research has to make important decisions in the selection of foreign species.

Due to the lack of long term observations of experimental plots the growth of the plantation tree species has to be derived from the present state of differently aged plantations or even from a shorter period of time.

By means of the international literature a number of biometrically based solutions are being discussed. Because of the expected interactions between the factors planting space, thinning intensity and pruning, multi-factor experiments are recommendable, whereby each factor should be tested at least at three stages.

Furthermore it seems to be important to intensify the causal aspects of tree growth putting the emphasis on the investigation of the leaf and needle biomass and its influence on the tree growth.

Literatur

- ASSMANN, E., 1970: The principles of forest yield studies. Oxford. — ASSMANN, E.; FRANZ, F., 1963: Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. 2. Aufl. 1972. — BARNES: High-Yielding trees in the Rhodesian context. XVI. IUFRO World Congress Division II. (im Druck). — BAUMGARTNER, A., 1967: Ecological significance of the vertical energy distribution in plant stands. Resource Naturelles Bd. 5 UNESCO, Paris. — BECKING, J. H., 1952: De economie van een sterke dunning voor de douglas. Ned. Bosb. Tydschr. 257-269. — EKLUND, B., 1957-1958: The annual ring variations in spruce in the centre of Northern Sweden and their relation to the Climatic conditions. Medd. fran Statens Skogsforskningsinstitut, Bd. 47. — ERLANDSSON, S., 1936: Dendro-chronological studies. Stockh. Högsk. Geogr. Inst. — FURT, D. F., et al., 1971: Corsican Pine in Southern Britain. Forestry XLIV, No. 2. — HART, H. M. J., 1928: Stamtal en dunning. Diss. Wageningen. — HELLMERS, H., 1962: Temperature effect on optimum tree growth. In KOZLOWSKI, T. T.: Tree Growth. 275-287. New York. — HESSELMAN, H., 1904: Om tallens höjdtillväxt och Skottbildning somrarne. 1900-1903. Medd. från Statens Skogsf. anst. — JACKSON, D. S., 1962: Parameters of site for certain growth components of Slash Pine (*Pinus elliotii* Engelm.) Diss. Duke Univ., Durham. — JONES, P. H., 1975: The needs and the opportunities for intensive forest management in Canada. Paper 56th Ann. Meeting, Can. Pulp and Paper Ass. — KING, 1976: Forest Resources of the World. XVI. IUFRO World-Congress. — KRAMER, P. J., 1960: In KOZLOWSKI, T. T.: Physiology of Trees. New York. — LEXEN, B., 1943: Bole area as an expression of growing stock. J. of Forestry 41, 883-885. — MADAS, A., 1974: World Consumption of Wood. Budapest. — MARSH, E. K., 1961: Thinning results of C.C.T. plots. Unpubl. mimeo, Pretoria. — MIKOLA, P., 1962: Temperature and tree growth near the northern timber line. In KOZLOWSKI, T. T.: Tree Growth. 265-274. New York. — MITSCHERLICH, G., et al., 1973: Über den Jahresablauf des Höhenzuwachses junger Nadelbäume. Allg. Forst- u. Jagdztg. 144, 9-18. — MOOSMEYER, H. U.; SCHÖPFER, W., 1972: Beziehungen zwischen Standortsfaktoren und Wachstumsleistung der Fichte. Allg. Forst- u. Jagdztg. 143, 203-214. — PATERSON, S. S., 1956: The forest area of the world and its potential productivity. Diss. Göteborg. — PENMAN, H. L., 1963: Vegetation and Hydrology. Techn. Comm. No. 53 Comm. Bur. of Soils. — PERSSON, R., 1974: World Forest Resources. Royal Coll. Forestry, Stockholm, Res. Note 17. — Ders., 1975: Forest Resources of Africa. Royal Coll. Forestry, Stockholm, Nr. 18. — SCHÖNAU, A. P. G., 1969: A Site Evaluation Study in Black Wattle (*Ac. mearnsii* de Wild). Ann. Univ. of Stell. 44, Series A. — STERN, K., 1969: Einige Beiträge genetischer Forschung zum Problem der Konkurrenz in Pflanzenbeständen. Allg. Forst- u. Jagdztg. 146, 253-262. — THORNTWHAITE, C. W., 1948: An Approach Toward a Rational Classification of Climate. The Geogr. Review 38. — THORNTWHAITE, C. W.; MATHER, J. R., 1955: The Water Balance. Climatology 8, 1. — VAN DER SLYKE, A. L., 1964: Study spacing and thinning with Nelder's new systematic designs. Mimeo Univ. of Br. Columbia. — VAN LAAR, A., 1961: *E. saligna* in S. Africa: Investigations into the Silviculture and Economics. Ann. Univ. of Stell. — Ders., 1974:

Relationship between needle-biomass and growth of *Pinus radiata*. IUFRO Biomass Studies, Maine, 183-193.

Anschrift des Verfassers: Dr. A. VAN LAAR, Professor für Forest Management,
Universität Stellenbosch, Stellenbosch/Südafrika

