

ÖKOLOGISCHE STABILITÄT VON FORSTLICHEN MONOKULTUREN ALS PROBLEM DER BESTANDESSTRUKTUR

E. F. BRÜNIG

Abstract

Monocultures have a typically close interdependence between narrow economic goals and the physiological and ecological conditions under which these goals can be achieved. This limits the space for actions by which sustained stability can be assured. Comparison with natural forests and theoretical considerations indicates possibilities to manipulate stand structure in such a way that the main crop is grown as monoculture to achieve the economic goal of production of large-diameter logs by suitable tree shapes and stand structures. At the same time, the ecological stability and the biological value of the stands are improved. The effects of structure on energy and water balances and on turn-over rates of organic matter and nutrients are of primary importance in this respect.

1. Einleitung

Die Entwicklung von Land- und Forstwirtschaft hat sein Anbeginn eine Verminderung der Mannigfaltigkeit (Diversität) der Vegetation und zum Teil auch der Standorte zur Folge gehabt. Die „Grüne Revolution“ in Land- und Forstwirtschaft hat diesen Trend durch rigorose Anwendung des Prinzips der Monokulturtechnik verstärkt. Die Folge ist vielfach eine zum Teil katastrophale Abnahme der Belastbarkeit und Widerstandsfähigkeit der Ökosysteme. Es handelt sich hierbei um ein weltweites Problem.

Im System Boden-Pflanze/Vegetation-Atmosphäre besteht ein funktionaler Zusammenhang zwischen den biochemischen, geometrischen und optischen Zuständen (Bauform, Bestandesstruktur, Albedo usw.) und den Wachstumsprozessen (Austausch von Energie und Materie) (Elston & Monteith 1975). Die komplexen Wechselwirkungen zwischen Baumform, Bestandaufbau, Pflanzenhaushalt an Wasser, Kohlenstoff, Nährstoffen und Energie und mechanischer Widerstandsfähigkeit sind seit langem bekannt (u.a. Greenhill 1881) und in neuerer Zeit von Larson (1963), Paltridge (1973) und Brünic (1976) behandelt worden.

Die tatsächliche Verdunstung eines Pflanzenbestandes ist das Ergebnis aus geometrischer und biochemischer Bestandesstruktur und der Verfügbarkeit von Wasser und Energie und ist mit dem gesamten Energie- und Biomassenumsatz im System korreliert. Die Zusammenhänge zwischen Umwelt, Struktur und Prozessen bestimmen wesentlich die dynamische und mechanische Widerstandsfähigkeit und Belastbarkeit des Systems. Näheres hierzu findet sich in den Beiträgen zum 1. Internationalen Ökologischen Kongreß (van Dobben & Lowe-McConnel 1975). Dies betrifft unter anderem auch die Widerstandsfähigkeit gegen klimatische und biotische Schadfaktoren als wesentliches Bestimmungsmerkmal für die

Stabilität von Waldökosystemen. Diversität und Stabilität sind hierbei jedoch nicht kausal verbunden.

Im Folgenden werden Beispiele dieser Zusammenhänge in Naturwaldbeständen der Äquatorialtropen dargestellt um zu zeigen, welche Schlußfolgerungen sich für die Bewirtschaftung von Wäldern in Nordwestdeutschland ziehen lassen.

2. Struktur und Stabilität im tropischen Urwald

2.1 Artenreichtum und Artendiversität

Im tropischen Regenwald von Sarawak variieren Baumartenreichtum und Diversität der Baumartenzusammensetzung zwischen und innerhalb von Waldtypen. Die Variation ist allgemein mit der langfristigen Entwicklungsphase der Bestände und Böden (Rohhumus- und Torfbildung) sowie dem Bodentyp, der Bodenart und der Geländeform des Standorts korreliert. Abb. 1 zeigt für 26 Bestände die

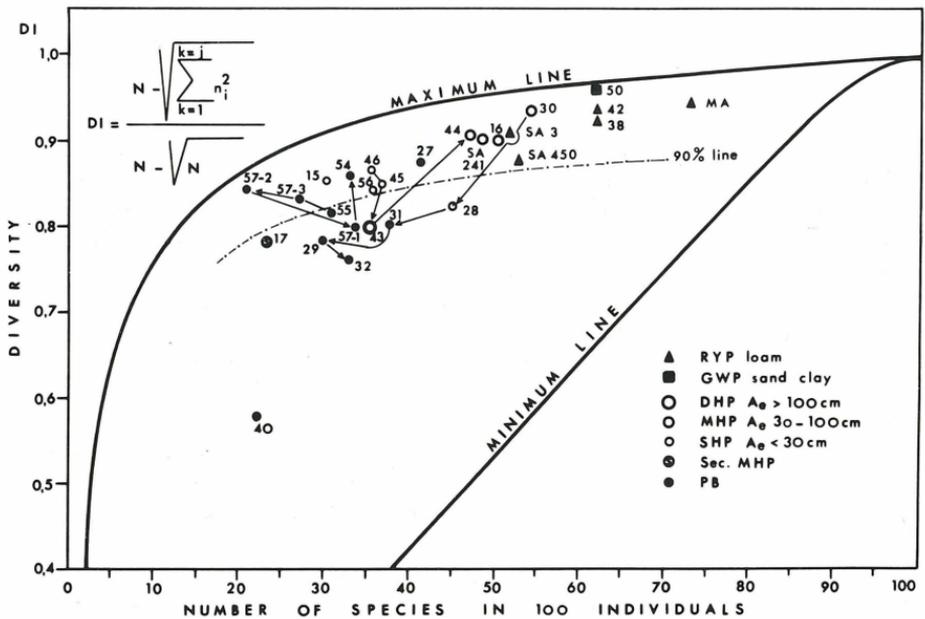


Abb. 1. Artenreichtum und Diversitätsindex nach McIntosh je 100 Bäume über 1 cm Brusthöhendurchmesser in 25 Urwaldbeständen in Sarawak und 1 Bestand in Amazonien (MA). Die Serie 46 – 45 – 43 – 44 ist eine Stufenfolge von jüngeren holozänen-pleistozänen Küstenterrassen, Serie 30 – 28 – 31 – 29 – 32 das gleiche auf älteren pleistozänen Terrassen im Landesinneren, Serie 55 – 57 – 54 auf einem tertiären Sandsteinplateau (700 – 1000 m ü.N.N.). Allen Serien ist zunehmende Rohhumus- und Torfbildung gemeinsam. RYP = rotgelber Lehmboden (Ultisol), GWP = grauweiß-podsolige Böden, HP = Humuspodsol, sec. MHP = sekundärer mitteltiefer Humuspodsol, PB = Torfmoor (Histosol) (aus Brueinig 1973, 1974).

Artenzahl je 100 Bäume und die entsprechende Werte des Diversitätsindex nach McIntosh (1967). Beide Merkmale ändern sich mit der Entwicklungsphase, aber der Trend ist nicht einheitlich. Der Artenreichtum nimmt im Verlauf der primären Sukzessionsentwicklung auf oligotrophen Böden entweder ab (Abb. 1, Serien 30 bis 29 und 55 bis 57.2) oder bleibt trotz Artenwechsels konstant (Serie 46–43). Der Indexwert nimmt entweder gleichsinnig ab (30–29, 46–43) oder er nimmt zu (55–57.2). Auch im weiteren Verlauf der Vegetationsentwicklung bleibt der Trend uneinheitlich. Artenzahl und Diversität nehmen entweder beide zu (43–44) oder die Artenzahl bleibt konstant, aber die Diversität nimmt ab (29–32) oder sie nimmt zu (57.1–54).

Der Änderung der Artenhäufigkeit läuft eine Änderung des Bodenzustandes parallel. Hierbei spielt offenbar vor allem die Wasserführung eine Rolle. In der Gesamtordination der 57 Probeflächen nimmt der Artenreichtum, unabhängig von der Diversität, ganz allgemein in der Reihenfolge Torfböden, flach-, mittel-, tiefgründiger Podsolboden, grauweiß-podsoliger sandiger Ton, rotgelber Lehm-boden zu. Die Diversität verändert sich dagegen im Verhältnis der Intensität der Veränderung der geometrischen Bestandesstruktur. Je geringer die mechanische Widerstandsfähigkeit des Bestandes ist, umso eingreifender sind diese Veränderungen der Bestandesstruktur und umso höher ist der Diversitätsindex.

Geringer Artenreichtum bis zur Ausbildung eines dichtstehenden Reinbestandes im Kronendach und geringe Diversität treten in den Kolonisierungsphasen und in den Endphasen von natürlichen Sukzessionen auf. Ein Beispiel für den letzteren Fall ist Probefläche 40 (Abb. 1), in der sich eine konkurrenzstarke, biochemisch aggressive Baumart im Verlauf einer jahrtausendlangen Entwicklung durchgesetzt hat. In die gleiche Kategorie gehören auch die Alanbunga (*Shorea albida*) Consoziation in den Torfmoorwäldern von Sarawak. Die hohe Inertia eines derartigen Systems kann schließlich nur durch seltene Ereignisse (Sturm, Insekten, geomorphologische Ereignisse) überwunden werden, deren Folgen oft katastrophenartige Veränderungen sind (Brünig, 1973c).

Die vorläufigen Ergebnisse der Analyse der Variation der Bestandesstruktur in unserer MAB-Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro, Territorio Amazonas, Venezuela, deuten auf das Bestehen ähnlicher Zusammenhänge hin. Das Klima und die Bodenverhältnisse der Probeflächen in Sarawak und in Amazonas sind soweit gleichartig, daß die Ökosysteme direkt vergleichbar sind*. Die MAB-Fläche liegt auf einer flachen Bodenwelle mit extrem nährstoffarmen Böden. In der Mitte der Bodenwelle ist der Wasserhaushalt der Bleichsandböden extrem unausgeglichener, ähnlich wie bei den flachgründigen Humuspodsolen und Torfen in der Mitte der Terrassen in Sarawak (Banatyp). Am flachen Hang der Flanken ist der Wasserhaushalt der Humuspodsolböden ausgeglichener, aber durch lange andauernde Staunässe steht nur relativ wenig Wurzelraum zur Verfügung (Conurityp). Am Rand der Bodenwelle ist die Wasserführung infolge guter Drainage gut und die Bäume durchwurzeln den im Untergrund tonhaltigen Boden bis in größere Tiefen. Der Bodentyp ist mit den grauweiß podsoligen Böden in Sarawak vergleichbar (Yebarotyp).

Die Artenzahl je 100 Bäume streut von 15 bis 59 Arten (Abb. 2) wie in den Sarawakflächen (Abb. 1). Der Banatyp liegt unter 30, vergleichbar den flachgründigen Torfen und extremeren Humuspodsolen in Sarawak. Der Conurityp

liegt zwischen 23 und 41, entsprechend den flach- bis mittelgründigen Humuspodsolon, und der Yebarotyp zwischen 40 und 53, entsprechend den tiefgründigen Humuspodsolon, grauweiß-podsoligen und rotgelben lehmigen Böden in Sarawak. Diese Übereinstimmung war nicht zu erwarten, weil die Flora in Sarawak sehr viel artenreicher ist als in Amazonas.

Die Diversitätsindexwerte sind hoch in den späten Reifephasen großer Löcher und in Beständen mit viel Fallholz (Quadrate 8, 9, 10, 26, 32–35). Sie sind niedrig in den frühen Lochphasen oder in kleinen Löchern, wenn die geringe Strukturänderung einige Unterstandsarten fördert (Quadrate 22, 30), in standörtlichen Übergängen auch bei hoher Artenzahl (24) und in schlußwaldartigen, stagnierenden Phasen mit ausgeprägter Dominanz einzelner langlebiger, hartholziger Arten im Oberstand (Quadrate 1, 24, 36).

In Abb. 3 wurden die 37 Quadrate entlang dem Standortgradienten Bana-Conuri-Yebar angeordnet. Die Artenzahl je 100 Bäume nimmt von den wechselfeuchten zu den tiefgründigen Standorten mit guter Wasserführung zu. Die Werte für den Diversitätsindex streuen dagegen zwischen 0.5 und 0.9, ohne eine Beziehung zum Standortgradienten erkennen zu lassen. Daß dies nicht immer so sein muß, zeigt der Vergleich mit den Ergebnissen aus Sarawak. In gut dokumen-

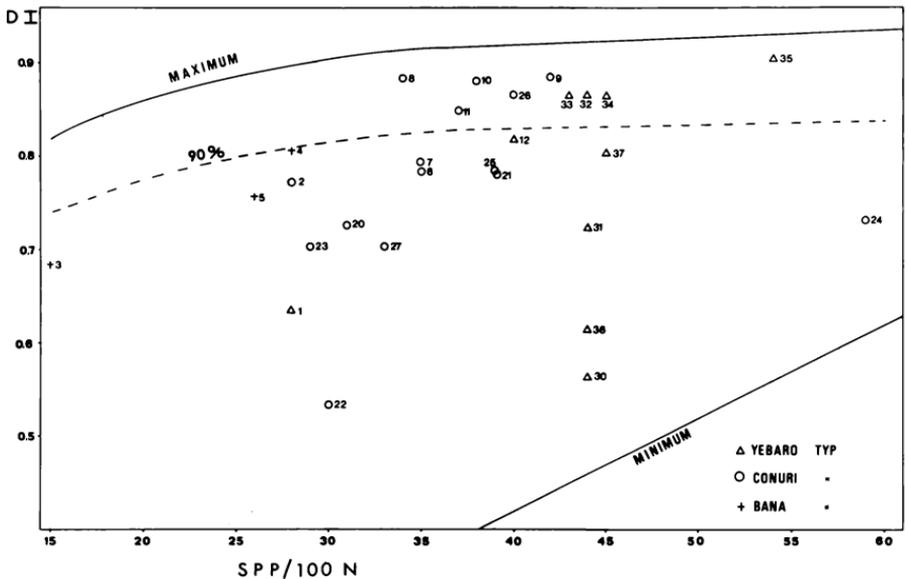


Abb. 2. Artenreichtum (X-Achse) und Diversitätsindex nach McIntosh (Y-Achse) je 100 Bäume über 1 cm Brusthöhendurchmesser in 37 von 1000 Quadraten (10 x 10 m) in der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro, Territorio Amazonas, Venezuela. Yebarotyp = komplexer Hochwald mit Yebaro (*Eperua purpurea* Benth., Leguminosae) auf tiefgründigen Böden mit ausgeglichener Wasserführung; Conurityp = einfach aufgebauter Hochwald mit Conuri (*Micrandra spruceana* (Baill.) R.E. Schultes, Euphorbiaceae) vorherrschend; auf wechselfeuchten Humuspodsolon am flachen Hang (0.2 bis 2° Gefälle); Bana = geschlossenes Stangenholz bis offenes Gehölz auf extrem wechselfeuchten, physiologisch flachgründigen Bleichsanden (Podsol).

tierten, sehr langfristigen Entwicklungsphasen in Sarawak verändert sich mit der Artenzusammensetzung gleichzeitig auch der Bodenzustand. Es überlagern sich dann die Auswirkungen der Artenverdrängung und der Bodenveränderung. Die Folge sind die geschilderten komplizierten Zusammenhänge zwischen Artenreichtum und Artendiversität, die allgemein für die „variation at medium scale“ (Ashton & Brünig 1975) charakteristisch sind. In San Carlos wird dagegen die

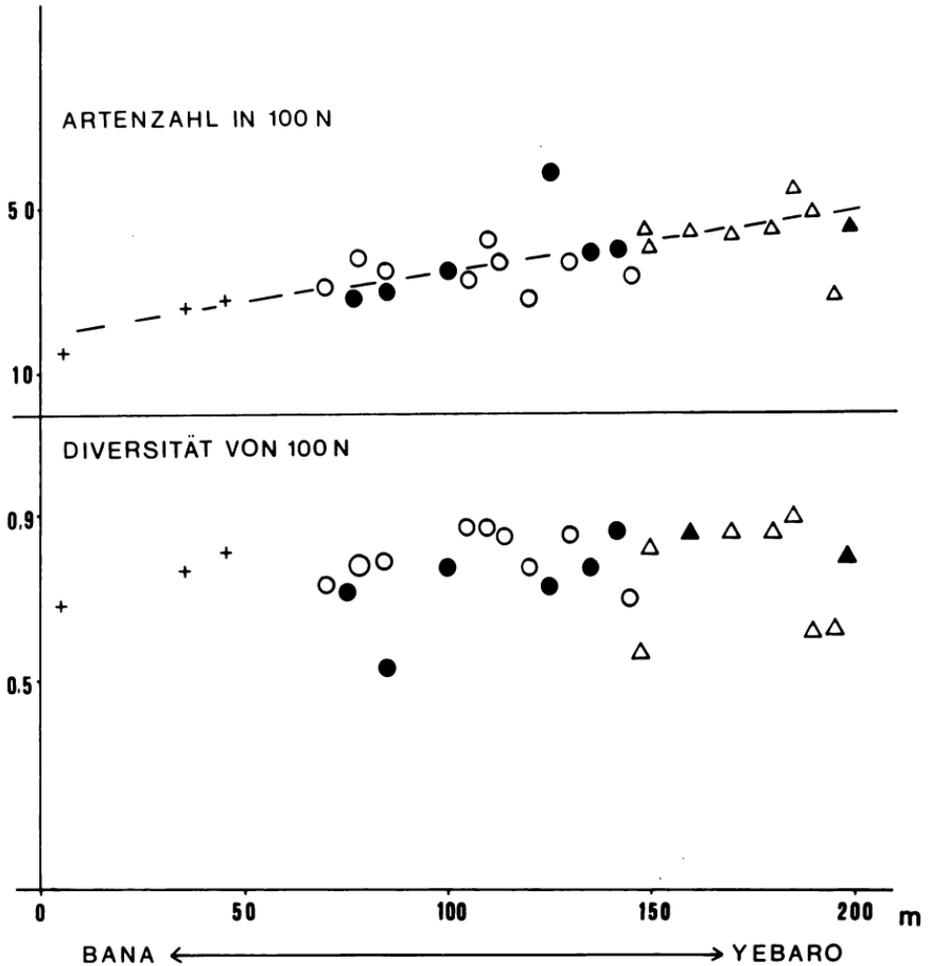


Abb. 3. Artenzahl und Diversitätsindex nach MacIntosh je 100 Bäume über 1 cm Brusthöhendurchmesser entlang dem Standortgradienten von der Mitte zum Rand der Bodenwelle in der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro. Die Waldtypen sind in Abb. 2 erklärt. Dreieck = Yebaro, Kreis = Conuri, Kreuz = Bana.

*Die Untersuchungen in der MAB – Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro, Venezuela, werden mit Mitteln der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert.

Artendiversität von der „variation at small scale“ bestimmt, der Einfluß der Verjüngungsmechanik überwiegt daher gegenüber dem des Standorts. Der Artenreichtum ist dagegen wie in Sarawak offensichtlich überwiegend standortsbedingt.

2.2 Diversität der geometrischen Bestandesstruktur

In Sarawak und in Amazonas sind die Bestände auf den wechselfeuchten Böden xeromorph und primitiv aufgebaut. Auf den günstigeren Standorten sind sie mesomorph, der Aufbau komplex und das Kronendach aerodynamisch rauh (Abb. 4). Dies entspricht einer Anpassung des geometrischen Bestandaufbaus



Abb. 4. Luftaufnahme aus der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro. Links unten Yebarotyp, aerodynamisch rauhes Kronendach, mesomorph, diagonaler Streifen von rechts unten nach links oben Conurityp mit aerodynamisch glattem, einförmigem Kronendach, oben rechts Übergang zum niedrigen Bana-Gehölz. Das dunkle Loch oben links im Conuristreifen ist eine Biomasseaufnahmefläche (10 x 10 m).

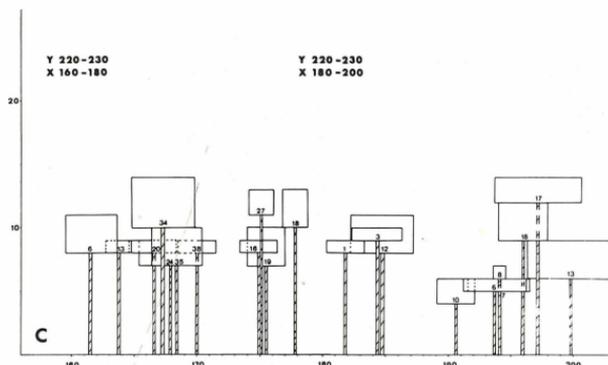
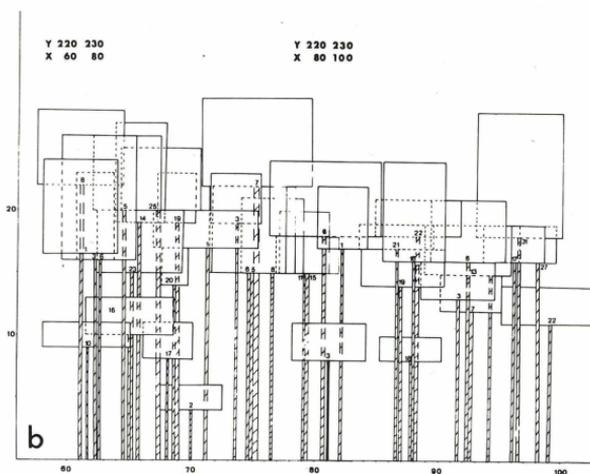
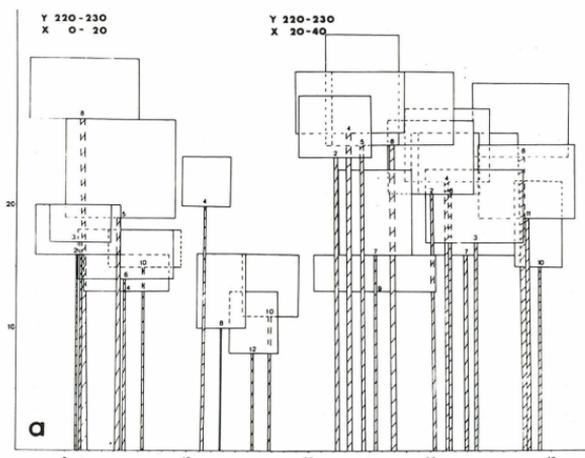


Abb. 5. Bestandesprofile, schematisiert für die EDV-Auswertung, Bäume über 10 cm d in einem 10 m breiten (Y 220 – 230) und 40 m langen (X 0 – 40, 60 – 100, 160 – 200) Streifen. a. Yebarotyp, b. Conurityp, c. Bana. Baumhöhe, Kronengröße und geometrische Komplexität nehmen von a nach c ab.

an die Bedingungen des Energie-, Wasser- und Nährstoffhaushaltes der Biotope (Brüning 1970, 1971).

Die hohe aerodynamische Rauigkeit des Kronendachs im Yebarotyp ist verbunden mit einer tiefen, lockeren und vielstufigen Vertikalgliederung des Kronenraumes (Abb. 5a). Umgekehrt ist das aerodynamisch glatte Kronendach des Conurityps dicht, wenig gegliedert bis einschichtig (Abb. 5b). Der Unterstand ist meist deutlich abgesetzt und schwach entwickelt. Im Bana ist die Oberflächenrauigkeit in dichten Partien (Abb. 5c) sehr gering, im offenen Gehölztyp trotz der niedrigen Baumhöhen (6–8 m) durch den Weitstand aber etwas höher.

Mit der Änderung der aerodynamischen Rauigkeit des Kronendachs geht eine physiologisch und ökologisch wichtige Veränderung der Baumform vor sich, die sich durch den Schlankheitsgrad (h/d -Verhältnis) und das Verhältnis von Kronenfläche zum Stammdurchmesser (a_K/d -Verhältnis) charakterisieren läßt. Als Beispiel aus der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos sind die Werte für Bäume > 10 cm d in 2 Quadraten, > 20 cm d in 6 Quadraten und > 30 cm d in 12 Quadraten der Streifen Y 420–430 und 570–580 getrennt für Yebarotyp,

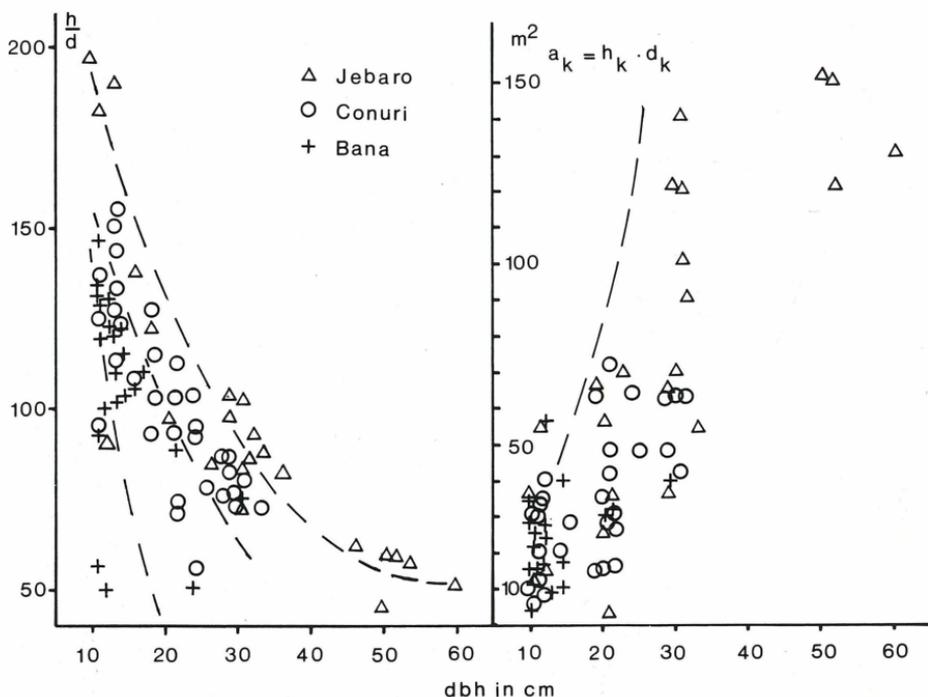


Abb. 6. Der Schlankheitsgrad (h/d -Verhältnis) und das Verhältnis der Kronenquerschnittsfläche ($a_K = h_K \cdot d_K$) zum Brusthöhendurchmesser (dbh) von Einzelbäumen verschiedener sozialer Stellung im Yebarotyp, Conurityp und Bana. Die gestrichelten Linien links sind die Mittellinien der Waldtypen, rechts die Linie gleicher Sturmfestigkeit, wenn das $a_K : d$ -Verhältnis der Unterstandsbäume beibehalten würde.

Conurityp und Bana in Abb. 6 dargestellt. Die Werte des h/d -Verhältnisses nehmen in allen drei Waldtypen vom Unterstand zum Oberstand deutlich ab. Die Bäume werden also gedrungener je weniger sie unter Konkurrenzdruck stehen und je mehr sie der freien Atmosphäre ausgesetzt sind. Die Kronenquerschnittsfläche nimmt gleichzeitig zu aber in einem Maße, daß die Sturmfestigkeit erheblich zunimmt (Abb, 6 rechts). Dies ist im niedrigen Bana und im aerodynamisch glatten Conurityp weniger ausgeprägt als im oberflächenrauen Yebarotyp.

Das Verhältnis der Kronenquerschnittsfläche zum Schlankheitsgrad der Bäume ist in den drei Waldtypen verschieden (Abb. 7). Im komplexen Yebarotyp tragen die Bäume bei gleichem h/d -Verhältnis größere Kronen und die Kronengröße nimmt mit absinkendem h/d -Verhältnis stärker zu als im einfacher aufgebauten Oberstand des einschichtigen Conurityps. Die das geschlossene obere Kronendach bildenden Bäume sind im Conurityp kleinkronig und daher trotz ihrer relativ großen Schlankheit sturmfest. Die geringe aerodynamische Rauigkeit der Kronendaches trägt weiter zur Sturmfestigkeit bei. Der hohe Schlankheitsgrad im Conurityp kann auch als Hinweis auf das Bestehen einer

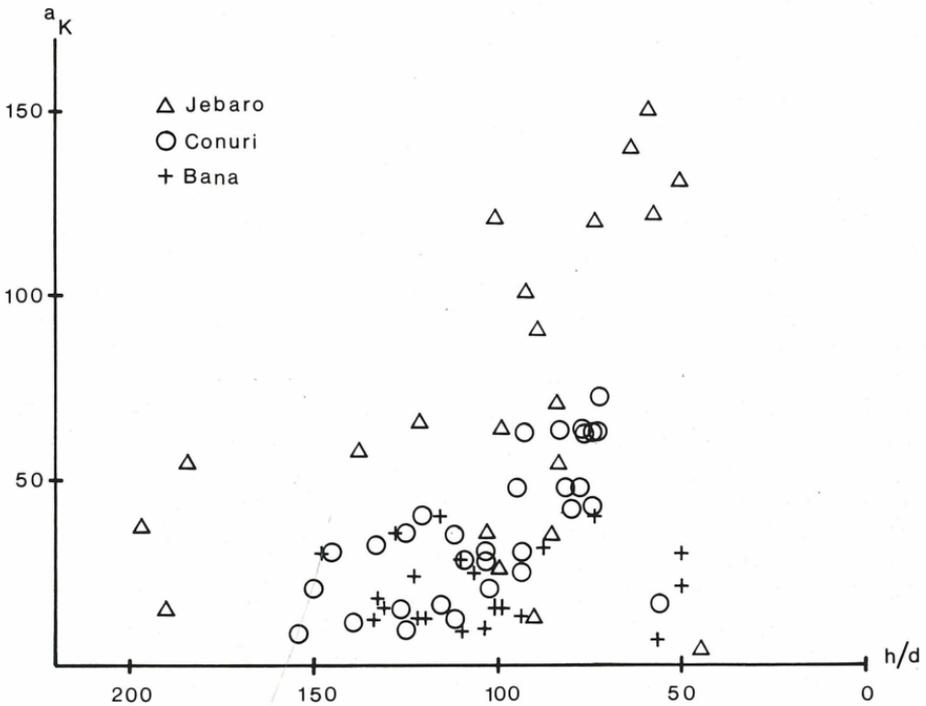


Abb. 7. Das Verhältnis der Kronenquerschnittsfläche a_K zum Schlankheitsgrad h/d der gleichen Bäume wie in Abb. 6. Die Bäume im tiefwurzelnden Yebarotyp (Dreiecke) haben bei gleichem Schlankheitsgrad im Durchschnitt eine größere Kronenquerschnittsfläche als die Bäume im Bana (Kreuze). Der Conurityp (Kreise) nimmt eine Mittelstellung ein.

intensiven Konkurrenz im Bestand angesehen werden, wenn wir den Ergebnissen von Untersuchungen an Korsischer Kiefer in Holland folgen (Dorschkamp Research Institute, 1975). Im niedrigen Bana besteht dagegen kein Zusammenhang zwischen Kronengröße und Schlankheitsgrad.

2.3 Geometrische Bestandesstruktur, Stabilität und Dynamik

In den Kerangas- und Torfmoorwäldern in Sarawak zeigten sich unter anderem komplexe Korrelationen zwischen Standortfaktoren und der aerodynamischen Oberflächenrauigkeit und Albedo des Kronendaches, dem Schlankheitsgrad der Bäume, der Artendiversität nach MacIntosh und einem eigens entwickelten integrierenden Diversitätsindex, der Bestandesdynamik, der Biomasseproduktivität und der Schadensanfälligkeit (Blitz, Sturm, Insekten, Dürre) (Brüning 1971, 1972, 1973a, b). Die vorläufigen Ergebnisse aus der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos de Rio Negro liefern weitere Hinweise für das Bestehen dieser kausalen und physio-ökologisch wichtigen Zusammenhänge.

Vorläufig fehlen Informationen aus experimenteller Forschung über die Zusammenhänge zwischen Kronenform, Verhältnis von Kronenvolumen zu Brusthöhendurchmesser, Schlankheitsgrad, Vitalität und Wachstum im Naturwald. Einige Ergebnisse liegen dagegen vor über die Zusammenhänge zwischen Bestandesstruktur, Baumform, aerodynamischer Rauigkeit des Kronendachs, Bestandesklima und Sturmfestigkeit (Banks 1973, Brüning 1973a, Larson 1963, Sturos 1973). Allgemein sind im stufigen, komplexen und daher aerodynamisch rauheren Kronendach die atmosphärischen Austauschprozesse intensiver und folglich die Wasseransprüche und die Sturmbelastung des Einzelbaumes größer. Die Widerstandsfähigkeit des Einzelbaumes und des Bestandes gegen Dürre und Sturm ist also weitgehend eine Funktion von Gestaltsmerkmalen, die sich durch den Schlankheitsgrad des Baumes und des Bestandes und die aerodynamische Rauigkeit kennzeichnen lassen.

In besonders dichtstehenden, einförmigen Partien des Conurityps tritt Windwurf selten und meist als Einzelwurf auf. Löcher entstehen meist durch Absterben einzelner Bäume und werden durch Kronenausbreitung der Nachbarn und durch Einwuchs aus dem Zwischenstand geschlossen. In oberflächenrauheren Partien des Conurityps ist gruppen- bis horstweiser Windwurf sehr häufig. Die größeren Löcher werden durch Verjüngung vorwiegend aus vorhandenem oder neu ankommendem Jungwuchs geschlossen. Folglich ist die geringere mechanische Widerstandsfähigkeit mit einer großen Bestandesdynamik und Artendiversität korreliert. Im oberflächenrauen, komplexen Yebarotyp ist Windwurf sehr häufig, tritt aber in der Regel nur als Einzel- oder Kleingruppenwurf auf. Die Verjüngung erfolgt vorwiegend aus dem Unter- und Zwischenstand.

Dieses Verteilungsmuster und die Art des Windwurfs in den verschiedenen Waldtypen entspricht genau den Verhältnissen in den Torfmoor- und Kerangaswaldtypen in Sarawak, die auf vergleichbaren Standorten eine ähnliche Bestandesphysiognomie und Bestandesdynamik besitzen (Brüning 1973c, 1974). In beiden Gebieten ist die Windwurfhäufigkeit und folglich die mechanische Widerstandsfähigkeit nicht mit dem Baumartenreichtum der Waldtypen korreliert.

Erste Ergebnisse der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Merkmalen

der Bestandesstruktur und des Bestandesklimas in San Carlos haben Heuvellop (1976) und Brünig & Heuvellop (1976) mitgeteilt. Das obere Kronendach im einförmigen Conurtyp mit steilgestellten Blättern läßt bei niedrigem Sonnenstand weniger Strahlung in den unteren Bestandesraum dringen als das komplexere Kronendach im Yebarotyp. Außerdem ist im oberflächennäheren Kronenraum des Yebarotyps der mittägliche, turbulente Luftaustausch intensiver. Die Folge sind günstigere Bedingungen für die Transpiration und Photosynthese im Unterstand als im Conurtyp. Dem entspricht der üppigere Unterstand und die größere Vitalität des Unterstands im Yebarotyp. Die sturmfestere Baumform der Bäume im oberen Kronendach des Yebarotyps ist Voraussetzung für das komplexe, aerodynamisch rauhe Kronendach, dessen geringerer Diffusionswiderstand atmosphärische Austauschprozesse intensiviert und dessen besondere Eigenschaften der Lichtdurchlässigkeit günstigere Voraussetzungen für die Entwicklung eines artenreichen, diversen und biomassereichen Unterstandes schaffen. Das einförmige, dichte Kronendach mit steilstehenden Blättern im Conurtyp vermindert die Belastung durch Dürre und Sturm, schafft aber ungünstigere Wachstumsbedingungen für Unterstandsarten und die Verjüngung, die entsprechend spärlich ausgebildet sind.

3. Folgerungen für die Bewirtschaftung der nordwestdeutschen Wälder

3.1 *Bestandesstruktur und Stabilität*

Das Verhältnis von Baumhöhe, Kronengröße und Stammdurchmesser beeinflußt die mechanischen Eigenschaften des Baumes (Sturmfestigkeit, Wassertransport usw.). Kronenform und Aufbau des Kronendaches bestimmen den Anteil des Einzelbaumes an der vom Bestand interzeptierten Strahlungs- und Windenergie und an der verdunsteten Wassermenge. Baumform und Kronendachaufbau beeinflussen daher wesentlich die Vitalität, Produktivität, Belastbarkeit und Stabilität des Einzelbaumes und des Waldbestandes (Brünig 1970, 1971, 1972, 1973a).

Der praxisübliche, forstliche Reinbestand wird in unserem Heimatgebiet baumzahlreich angelegt, erreicht in wenigen Jahren Kronenschluß und wächst dann bis zum ersten, meist späten Pflegeeingriff mit einer Baumanzahl, die der vom Standort bestimmten maximalen Bestockungsdichte nahekommt. Je größer der Dichtstand ist, umso höher ist der Konkurrenzdruck und umso geringer ist die Vitalität und Belastbarkeit des Einzelbaumes und des Bestandes, und umso geringer sind Artenreichtum und Artendiversität im Ökosystem. Die aerodynamische Rauigkeit des Kronendachs ist gering, der durchschnittliche Schlankheitsgrad hoch. Die Interzeption von Strahlungs- und Windenergie durch den im aerodynamisch glatten Kronendach eingebetteten kleinkronigen Einzelbaum und folglich seine Belastung sind relativ gering. Die Struktur des engständigen Reinbestandes ist vergleichbar mit dem Conurtyp im Amazonas oder frühen Phasen pyrogener Kiefernwälder in den Subtropen und im borealen Gebiet. Derartige Bestände sind bei hoher Bestockungsdichte dürreempfindlich, weil ihre Blatt- und Zweigoberfläche relativ groß ist. Der hohe Schlankheitsgrad führt zu extremer Sturmempfindlichkeit, wenn durch menschliche Eingriffe

oder Naturereignisse (Absterben, Blitzschlag) das Kronendach aufgerissen und damit aerodynamisch rauher wird. Die physiologisch und mechanisch ungünstigen Eigenschaften des Einzelbaumes in der dichtstehenden Monokultur sind ein kritischer Faktor der Instabilität des Gesamtsystems.

Natürliche Waldökosysteme besitzen bei gleichbleibenden Bodenverhältnissen eine große ökologische Stabilität und kehren auch nach schweren Störungen über kurz oder lang zu einem dem vorigen Zustand gleichen oder ähnlichen Zustand zurück. Hierbei spielen die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen sich gleichzeitig entwickelnden Tier- und Pflanzenarten (Stern & Roche 1974) und zwischen den sich gegenseitig ablösenden Phasen der zyklischen Vegetationsentwicklung eine stabilisierende Rolle. In den vom Menschen geschaffenen Wirtschaftswaldsystemen fehlen diese regulierenden Wirkungen in der Regel. Viele Pflanzen- und Tierarten fehlen, die in der standörtlichen natürlichen Lebensgemeinschaft vorkommen und eine stabilisierende Rolle spielen können. Die das natürliche Gesamtsystem stabilisierende Abfolge der Entwicklungsphasen der Vegetation mit ihrem Wechsel von biochemisch einfachen und komplexen sowie entropiereichen und -armen Zuständen kann im umweltgerechten Wirtschaftswald in dieser Form aus wirtschaftlichen und landeskulturellen Gründen nicht nachvollzogen werden. Dem Problem ist auch nicht dadurch beizukommen, daß man generell die forstliche Monokultur durch den standortgerechten Mischbestand ersetzt. Auf extremen Standorten ist oft nur noch eine Baumart anbauwürdig. Ein Beispiel ist die Kiefer auf sommertrockenen, nährstoffarmen Sanden der Lüneburger Heide. Aber auch auf günstigeren Böden ist die Mischung im Baumbestand kein wunderwirkendes Allheilmittel.

Genetische und taxonische Mannigfaltigkeit innerhalb und zwischen Beständen kann die Stabilität erhöhen, indem das Risiko von Schäden durch Tiere oder pflanzliche Schädlinge direkt oder über Räuber-Beute-Systeme vermindert wird (Murdoch et al. 1972). Wirtswechsel von Parasiten, allelopathische Wirkungen oder Konkurrenz um Wasser können aber auch das Gegenteil bewirken. Fichte und Kiefer konkurrieren stark um Wasser und Nährstoffe im humosen Oberboden (Mikola et al. 1966). Douglasie kann beigemischte Fichte in trockenen Jahren so schwächen, daß die Fichten absterben. Ein dichter Unterwuchs von Gras, Kräutern und Sträuchern kann sich auf bestimmten Standorten in Trockenperioden ungünstig auf den Wasserhaushalt auswirken oder Schädlinge und Krankheitsträger bergen. Konkurrenz zwischen üppiger Bodenvegetation und Baumbestand kann in Dürreperioden ebenso kritisch werden wie die Konkurrenz zwischen den Bäumen im Dichtstand. Ein Neben- und Unterstand aus anderen Arten erhöht aber die Konkurrenz nicht immer im gleichen Maße wie der entsprechende Dichtstand einer Art. Zum Beispiel ist in der Mohave-Wüste der mittlere Abstand zwischen Pflanzen mit gleicher, photosynthetisch aktiver Oberfläche signifikant geringer, wenn sie artverschieden sind (Yeaton & Cody 1976). Die Möglichkeiten des Aufbaus wirksamer Räuber-Beute-Systeme werden von der geometrischen Bestandesstruktur oft in gleichem Maße bestimmt wie von dem Artenreichtum des Baumbestandes. Zum Beispiel zeigten Untersuchungen auf verbuschten ehemaligen Ackerflächen in Michigan, daß die Varianz der Gesträuchhöhen mit der Insektenartendiversität eng korreliert war (Murdoch et al. 1972). Die Standortbedingtheit der geometrischen und taxono-

mischen Bestandesstruktur setzt aber auch hier dem Wirtschaftler enge ökologische Grenzen. Diverse Waldökosysteme benötigen viel Energie, das bedeutet hohe Raten der Absorption von Sonnenenergie durch die entsprechende komplexe Bestandesoberfläche und damit auch hohe Raten der Evapotranspiration und des turbulenten Austauschs im Kronenraum. Dies setzt der Strukturdiversität standörtliche Grenzen, die auch durch waldbauliche Maßnahmen wie Düngung nicht wesentlich ausgeweitet werden können.

3.2 Waldbauliche Möglichkeiten zur Verbesserung von Stabilität und Leistungsfähigkeit

Aus dem in Abschnitt 2 und 3.1 Gesagten ergeben sich einige wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung von waldbaulichen Programmen. Der Artenreichtum ist primär standortabhängig, der geometrische Bestandaufbau ist primär phasenbedingt, findet aber vor allem hinsichtlich der aerodynamischen Rauigkeit des Kronendachs standörtliche Grenzen (Wasserversorgung, Energieversorgung, Sturmgefährdung). Ein Baum mit niedrigerem Schlankheitsgrad ist unter sonst gleichen Bedingungen vitaler und mechanisch stabiler als ein sonst vergleichbarer Baum, der durch geringeren Wuchsraum einen höheren Schlankheitsgrad entwickelt hat.

Hiervon und von dem natürlichen Ausladungsvermögen der Baumkrone (a_K/d -Verhältnis) ausgehend haben wir in den Auermühler Produktionsprogrammen für Douglasie, Kiefer, Fichte und Lärche die Baumzahlhaltungen in den verschiedenen Bestandesaltern so geregelt, daß sich in der Jugend bei geringem Konkurrenzdruck durch möglichst niedrige Baumzahlen ein möglichst vitales Durchmesser- und Kronenwachstum ergibt. Im mittleren Bestandesalter (Stangenholzalter) wird durch wenige kräftige Stammzahlreduzierungen erreicht, daß die Bestandesgrundfläche nicht wie in den Ertragstafeln zunimmt, sondern etwa gleich bleibt. Der Zuwachs wird dabei auf möglichst wenige Bäume konzentriert. Ziel in dieser Altersphase ist es, durch ein niedriges h/d -Verhältnis und eine entsprechend gut ausgebildete Krone den in der Jugendphase erzielten günstigen physiologischen Zustand der Einzelbäume zu erhalten und gleichzeitig die Widerstandskraft der Bestände gegen Schäden trotz der relativ hohen aerodynamischen Rauigkeit des Kronendachs zu sichern. Die Bestände entsprechen in dieser Hinsicht dem Yebarotyp der MAB-Versuchsfläche bei San Carlos und bieten ebenfalls günstige bestandesklimatische Voraussetzungen für die Entwicklung eines ökologisch und landeskulturell wünschenswerten gemischten der Unterstandes an Bäumen und Sträuchern. Dies steht im deutlichen Gegensatz zu den Verhältnissen in den entstehenden echten Monokulturen der konventionellen forstlichen Praxis, die in dieser Phase keinen oder nur spärlichen Unterstand Bodenbewuchs aufkommen lassen und außerdem mechanisch und ökologisch wenig widerstandsfähig sind. Die labile Altersphase des Yebarotyps wird in den Auermühler Produkte-Programmen vermieden, indem in dieser Phase durch Kronenschluß eine übermäßige Erhöhung der aerodynamischen Rauigkeit verhindert wird. Die entscheidenden Vorsprünge in der Durchmesser- und Formentwicklung werden in der frühesten Jugendphase erzielt. In der Altersphase ist in dieser Hinsicht ohnehin nichts Entscheidendes mehr zu erreichen. Deshalb wird

in den Auermühler Produktionsprogrammen im letzten Umtriebsdrittel nicht mehr durchforstet, dafür aber gezielt gedüngt.

Prinzip unserer Auermühler Produktionsprogramme ist es, den Monokulturcharakter des Bestandes auf den tatsächlich wirtschaftlich mit Gewinn verwertbaren Anteil der Biomasse zu beschränken, das heißt auf den Starkholz erzeugenden Endbestand. Der so freiwerdende Wuchsraum wird durch dienende Mischbaumarten und Unterwuchs ausgenutzt, die zur Verbesserung des Biotopwertes und zur Bodenpflege beitragen. Die im Naturwald meist erst spät und mit erheblichen Energieverlusten (Mortalität, Sturmwurf) erfolgende Ausformung einer stabileren Baumgestalt und Bestandesstruktur wird durch gezielte Stammzahlreduzierung zeitlich in die Periode des vitalen Jugendwachstums vorverlegt. Hierdurch wird erreicht, daß die Bestände physiologisch gesund und mechanisch stabil in die mittleren Altersklassen einwachsen, in denen die Belastungen und die Gefährdungen ohnehin zunehmen und kritisch werden können. Hierbei spielen vor allem der Wasser- und Energiehaushalt des Standortes und in Nordwestdeutschland die Sturmgefährdung eine entscheidende Rolle. Die Auermühler Produktionsprogramme sind speziell für Standorte mit im Sommer häufig angespannter Wasserversorgung und hoher Sturmgefährdung für die Erzeugung von astfreiem Säge- und Schälholz entwickelt worden (Brünig 1975).

Auf sommertrockenen, armen Sanden ist es besonders wichtig, eine gedrungene Baumform zu erziehen, weil die Sturmwurfgefahr wegen der Flachwurzeligkeit hoch ist, der gedrungene Baum wahrscheinlich weniger dürregefährdet ist, und die frühere Hiebsreife das Risiko von Kalamitäten und Schäden vermindert. Ebenso wichtig ist es, das locker gestellte Kronendach aerodynamisch möglichst glatt zu halten. Die natürliche Entwicklung der Bestände geht auf diesen Standorten vor allem in den kontinentaleren östlichen Gebieten Nordwestdeutschlands ohnehin in diese Richtung. Ein aerodynamisch rauhes Kronendach läßt sich ganz allgemein in strahlungsreichen Gebieten mit häufigen trockenwarmen Winden wegen der mittäglichen Belastung auch dann nicht erziehen, wenn reichlich Bodenfeuchtigkeit zur Verfügung steht.

Die Auermühler Produktionsprogramme sind nur ein Beispiel von vielen Möglichkeiten, eine forstliche Monokultur so aufzubauen, daß der Bestand ökologisch stabiler und gleichzeitig wirtschaftlich und landeskulturell leistungsfähiger wird. Welcher Aufbau und welche waldbaulichen Methoden jeweils optimal sind, hängt vom Standort und den gesetzten Zielen ab. Die Komplexität des Bestandesaufbaus, insbesondere die aerodynamische Rauhigkeit des Kronendachs, hat besonders in sturm- und dürregefährdeten Gebieten enge standörtliche Grenzen. Im Prinzip geht es darum, die für natürliche Sukzessionen und konventionell erzogene Bestände typische labile Primitivstruktur in der vitalen Jugendphase zu ersetzen durch eine stabilere und artenreichere Komplexstruktur, die sich im Naturwald erst spät, im Kunstforst oft gar nicht einstellt. Das Eintreten labiler Altersphasen wird durch das rasche Durchmesserwachstum und die entsprechend kürzeren Produktionszeiträume vermieden. Die Komplexität der geometrischen Struktur des Bestandes erhöht die floristische und faunistische Vielfalt und damit die Chancen, durch gezielte waldbauliche Maßnahmen die Leistungsfähigkeit des Ökosystems für die Befriedigung der Bedürfnisse des Menschen nachhaltig und wirksam mit geringem Aufwand zu sichern.

Literatur

- Ashton, P.S. & Brünig, E.F. (1975): The variation of tropical moist forest in relation to environmental factors and its relevance to land-use planning. *Mitt. Bundesforsch. anst. Forst-Holzwirtschaft*. 109: 59–86.
- Banks, C.C. (1973): The strenght of trees. *J. Inst. Wood Science* 6: 44–50.
- Brünig, E.F. (1970): Stand structure, physiognomy and environmental factors in some low-land forests in Sarawak.
- Brünig, E.F. (1971): The water relations of malaysian forests. Trans. First Aberdeen-Hull Symposium on Malesian Ecology, 1970.
- Brünig, E.F. (1972): Erkenntnisse forstökologischer Forschung in den Tropen für die Umweltökologie der Bundesrepublik. *Forstarch*. 43: 114–119.
- Brünig, E.F. (1973a): Sturmschäden als Risikofaktor bei der Holzproduktion in den wichtigsten Holzerzeugungsgebieten der Erde. *Mitt. Bundesforschungsanst. Forst-Holzwirtschaft*, Reinbek 93: 17–34.
- Brünig, E.F. (1973b): Species richness and stand diversity in relation to site and succession in forests in Sarawak and Brunei, Borneo. *Amazoniana* 4: 293–320.
- Brünig, E.F. (1973c): Some further evidence on the amount of damage attributed to lightning and wind-throw in *Shorea albida*-forest in Sarawak. *Commonw. Forest. Rev.* 52, 153: 260–265.
- Brünig, E.F. (1974): Ecological studies in the Kerangas forests of Sarawak and Brunei. Borneo Literature, Bureau for Sarawak Forest Department. Kuching, 193 S., 23 Tab., 31 Abb.
- Brünig, E.F. (1975): Grundsätze zum umweltgerechten Wiederaufbau des privaten Wirtschaftswaldes im Sturmschadensgebiet in Nordwestdeutschland. Landwirtschaft – angewandte Wissenschaft, Heft 179. Landwirtschaftsverlag, Hiltrup, 311 S.
- Brünig, E.F. (1976): Tree forms in relation to environmental conditions: an ecological viewpoint. In: Tree physiology and yield improvement (Hrsg. M.G.R. Cannel & F.T. Last). Academic Press, London – New York – San Francisco. S. 139–156.
- Brünig, E.F. (1977): Structure and functions in a rainforest near San Carlos de Rio Negro. I. Structure. 4. International Symposium on Tropical Ecology, 7.-11.3.1977. Panama.
- Brünig, E.F. & Heuvelodp, J. (1976): Structure and functions in natural and man-made forests in the humid tropics. XVI. IUFRO World Congress, Oslo, Proc. Div. I, S. 500–511.
- Dobben, W.H. & Lowe-McConnell, R.H. (Hrsg.) (1975): Unifying concepts in ecology. Dr. W. Junk bv Publishers. The Hague.
- Dorschkamp Research Institute for Forestry and Landscape Planning (1975): Annual Report 1975. Wageningen, 83 S.
- Elston, J. & Monteith, J.L. (1975): Micrometeorology and vegetation. In: Vegetation and the atmosphere (Hrsg. J.L. Monteith). Academic Press, London – New York – San Francisco, Vol. I: 1–12.
- Heuvelodp, J. (1976): Erste Ergebnisse bestandesmeteorologischer Untersuchungen in einem tropischen Regenwald bei San Carlos de Rio Negro, Venezuela. *Mitt. Bundesforsch. Anst. Forst-Holzwirtschaft*, Hamburg-Reinbek, Nr. 115 (in press).
- Greenhill, A.G. (1881): Determination of the greatest height consistent with stability that a vertical pole or mast can be made, and of the greatest height to which a tree of given proportions can grow. *Proc. Cambr. Phil. Soc.* IV, Part II: 65–73.
- Larson, P.R. (1963): Stem form development of forest trees. For. Science, Monogr. 5.
- McIntosh, R.P. (1967): An index of diversity and the relation of certain concepts of diversity. *Ecol.* 48: 392–403.
- Murdoch, W.W., Evans, F.C. & Peterson, C.H. (1972): Diversity and pattern in plants and insects. *Ecol.* 53: 819–828.
- Paltridge, G.W. (1973): On the shape of trees. *J. Theor. Biol.* 38, 1: 111–137.
- Stern, K. & Roche, L. (1974): Genetics of forest ecosystems. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 330 S.
- Sturos, J.A. (1973): Theoretical methods for estimating moments of inertia of trees and boles. North Cent. For. Exp. Stn., St. Paul, Minn. 10 p., illus. (USDA For. Serv. Res. Pap. NC-96).

Yeaton, R.I. & Cody, M.L. (1976): Competition and spacing in plant communities: the northern Mohave desert. *J. Ecol.* 64, 2: 689–696.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. E.F. Brünig, Ordinariat und Institut für Weltforstwirtschaft, Universität Hamburg und Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Leuschnerstraße 91, 2050 Hamburg 80.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [6_1977](#)

Autor(en)/Author(s): Brünig E.F.

Artikel/Article: [Ökologische Stabilität von forstlichen Monokulturen als Problem der Bestandesstruktur 189-204](#)