

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 135 (1984)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Zur Kontrolle der Bestandesdichte und der Durchforstungsstärke  
**Autor:** Schütz, Jean-Philippe  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-766762>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.02.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Zur Kontrolle der Bestandesdichte und der Durchforstungsstärke<sup>1</sup>

Von Jean-Philippe Schütz

Oxf: 242:531:535

(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich, Fachbereich Waldbau)

## Einleitung

Die Kontrolle der Bestandesdichte beziehungsweise der Wettbewerbsverhältnisse in einem Baumkollektiv ist eine der Hauptaufgaben der Waldpflege; ferner bildet sie eine der Zentralfragen bei vielen anderen, damit verbundenen waldbaulichen Problemen.

Auf der Suche nach geeigneten Kriterien zur Charakterisierung der Bestandesdichte werden jene Variablen bevorzugt ausgewählt, die möglichst einfach zu erfassen sind, gleichzeitig aber über eine hohe Relevanz verfügen, das heisst die Konkurrenzphänomene möglichst gut erfassen. Schwierigkeiten ergeben sich dabei, weil sich die Dimensionsgrössen infolge der kontinuierlichen zeitlichen Änderung der Baumgestalt im dreidimensionalen Raum im Laufe der Entwicklung nicht linear verändern. Erschwerend wirkt ferner der Umstand, dass die Reaktion der Bäume auf den Wettbewerb einerseits durch den Standort, andererseits durch die biologische Alterung zusätzlich verändert wird.

Je nach Sprachregionen haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Kriterien zur Erfassung der Bestandesdichte eingebürgert. Im angelsächsisch-französischen Sprachgebiet werden Standraumkoeffizienten verwendet (Hart, 1928; Becking, 1952; Ottorini, 1978), im deutschsprachigen Raum die mittlere Grundflächenhaltung (Assmann, 1954), und in Amerika wird mit Kronenwettbewerbsfaktoren wie «Tree area ratio» beziehungsweise TAR (Chisman, Schumacher, 1940) oder «Crown competition factor» beziehungsweise CCF (Krajicek, Brinkman, Gingrich, 1961) gearbeitet. Allen diesen Kenngrössen ist gemeinsam, dass sie die Bestandesdichte beziehungsweise die Wettbewerbssituation für ganze Bestände beschreiben. In diesem Zusam-

<sup>1</sup> Vortrag gehalten am 27. September 1983 anlässlich der Tagung der IUFRO-Arbeitsgruppe P 4.02 (Durchforstung) in Budapest, Ungarn.

menhang darf wohl die Frage gestellt werden, ob nicht eine bessere Lösung des Bestandesdichteproblem es über die Erfassung der multiplen Wechselbeziehungen der Einzelbäume und ihrer anschliessenden Integration erreicht werden könnte.

Der einfachen Erfassbarkeit wegen wurde in den letzten Jahren sehr oft die Stammzahl (N) als Funktion einer weiteren Entwicklungsgrösse wie beispielsweise der Oberhöhe (Ho) verwendet, um die Bestandesdichte zu kennzeichnen. Teilweise wurde auch der reziproke Wert ( $1/N \cdot 10^4$ ) als Ausdruck für die durchschnittliche Standfläche der Bäume verwendet oder gar die Form der Quadratwurzel ( $100/\sqrt{N}$ ) als Ausdruck für den durchschnittlichen Abstand (A) zwischen den Bäumen. Letzterer Wert findet beispielsweise Anwendung im bekannten «Hart-Becking-Durchforstungsindex» ( $k = A/Ho \cdot 100$ ).

So anschaulich solche Kenngrössen auch sind, dürfen sie doch nicht darüber hinwegtäuschen, dass sie erstens Konkurrenzverhältnisse im horizontalen Schluss unterstellen, die in Wirklichkeit nicht auftreten, weil die verschiedenen Bestandesglieder in einer oft sehr differenzierten Hierarchie stehen und dass sie zweitens lineare Beziehungen zwischen Standraum und Kronendimensionen voraussetzen. Gleichwohl können sie als Bestandesindikator einen guten Aussagewert haben.

### **Definition von Grössen zur Charakterisierung der Kronenkonkurrenz im Bestand**

Einer bestimmten Stammzahl entspricht also ein mittlerer Standraum pro Baum von ( $1/N \cdot 10^4$ ). Je nach der tatsächlichen Breite der Baumkrone wird dieser Standraum unterschiedlich ausgenützt; die Kronen sind mehr oder weniger stark eingeklemmt. Das Verhältnis zwischen dem zur Verfügung stehenden Standraum und der effektiven Kronengrösse kann entsprechend als Ausdruck für den Konkurrenzgrad verwendet werden, eine Grösse, die zudem bonitätsunabhängig ist. Bei vereinfachter, jedoch durchaus plausibler Annahme einer Dreieckverteilung der Bäume im Bestand und dass die Kronen der Bäume sich mehr oder weniger dem zur Verfügung stehenden quadratischen Standraum anpassen, können wir den ersten Konkurrenzgrad folgendermassen definieren:

a) *Der Standraumausnützungsgrad (SAG)*

$$SAG = \frac{KD^2 \cdot N}{10\ 000} \quad (1) \quad \text{wobei } KD = \text{Kronendurchmesser} \\ (= 2 \text{ KR Kronenradien})$$

Der Standardraumausnutzungsgrad gibt den Anteil am durchschnittlichen Standardraum an, der durch die Kronendimensionen ausgenutzt wird. Der Ausdruck ist  $> 1$ , wenn die Kronen den verfügbaren Standardraum überschreiten, das heisst sich gegenseitig überlappen; er ist  $< 1$  bei Unterbrechung des Kronenschlusses, also bei nicht vollständiger Ausnutzung des Standardraumes. Der zweite Konkurrenzbegriff lautet wie folgt:

b) *Der Kronenbedrängungsgrad (KBG)*

$$KBG = \sqrt{SAG} = \frac{KD \sqrt{N}}{100} \quad (2)$$

Der Kronenbedrängungsgrad gibt die durchschnittliche seitliche Überlappung der Kronen ( $KBG = > 1$ ) beziehungsweise den durchschnittlichen Abstand zwischen den Kronen ( $KBG = < 1$ ) an. Der Kronenbedrängungsgrad eignet sich sehr, die durchschnittlichen Wettbewerbsverhältnisse im Bestand darzustellen; er ist damit auch ein geeigneter Weiser zur Charakterisierung der Dichteverhältnisse. Wie üblich in der Ertragskunde beziehen sich die beiden Grössen auf den Zustand unmittelbar nach Stammzahlreduktionen.

### **Kronendimensionen und Bestandesdichte**

Die Kenntnisse der Kronendimensionen sowie deren Entwicklung und Abhängigkeit von den Konkurrenzverhältnissen bilden die Grundlage für das Verständnis der Dichtehaltungsphänomene. In verschiedenen früheren Arbeiten wurde schon die straffe lineare Abhängigkeit zwischen BHD und Kronendurchmesser nachgewiesen, ebenso der deutliche Einfluss der Bestandesdichte auf die Kronengrösse (Gingrich, 1967; Curtin, 1970). Anhand von 72 Beobachtungen in 29 Douglasien-Jungbeständen sind in *Abbildung 1* die mittleren Kronenradien als Funktion der Oberhöhe ( $H_o$ ) und der Bestandesdichte, gemessen am Kronenbedrängungsgrad (KBG), dargestellt. Sehr deutlich ist der lineare Zusammenhang zwischen Kronenradien und Entwicklungszustand ( $H_o$ ) für Bestände, welche den Kronenschluss noch nicht erreicht haben ( $KBG < 1$ ). Bei höherem Bedrängungsgrad sind die Kronen bei gleichem Entwicklungsstand wesentlich (bis 50 %) kleiner. Offenbar steht die Begrenzung der Kronendimensionen in einem Zusammenhang mit der Bedrängung durch Nachbarbäume. In der Tat zeigen genaue Beobachtungen der Kronenentwicklung von Lärchen, die an unserem Institut durchgeführt wurden, eine sehr deutliche, statistisch gesicherte Reduktion des Kronenseitenzuwachses um rund 25 %, sobald die Kronen sich um  $\pm 0,2$  m nähern (Schönbächler, 1982).

Die Zusammenhänge in *Abbildung 1* können mit folgender Schätzfunktion angenähert werden:

$$\widehat{KR} = a + b \cdot Ho + c \cdot Ho \cdot KBG \quad (3)$$

wobei KR = mittlerer Kronenradius

Ho = Oberhöhe (Höhe der 100 stärksten Bäume pro ha)

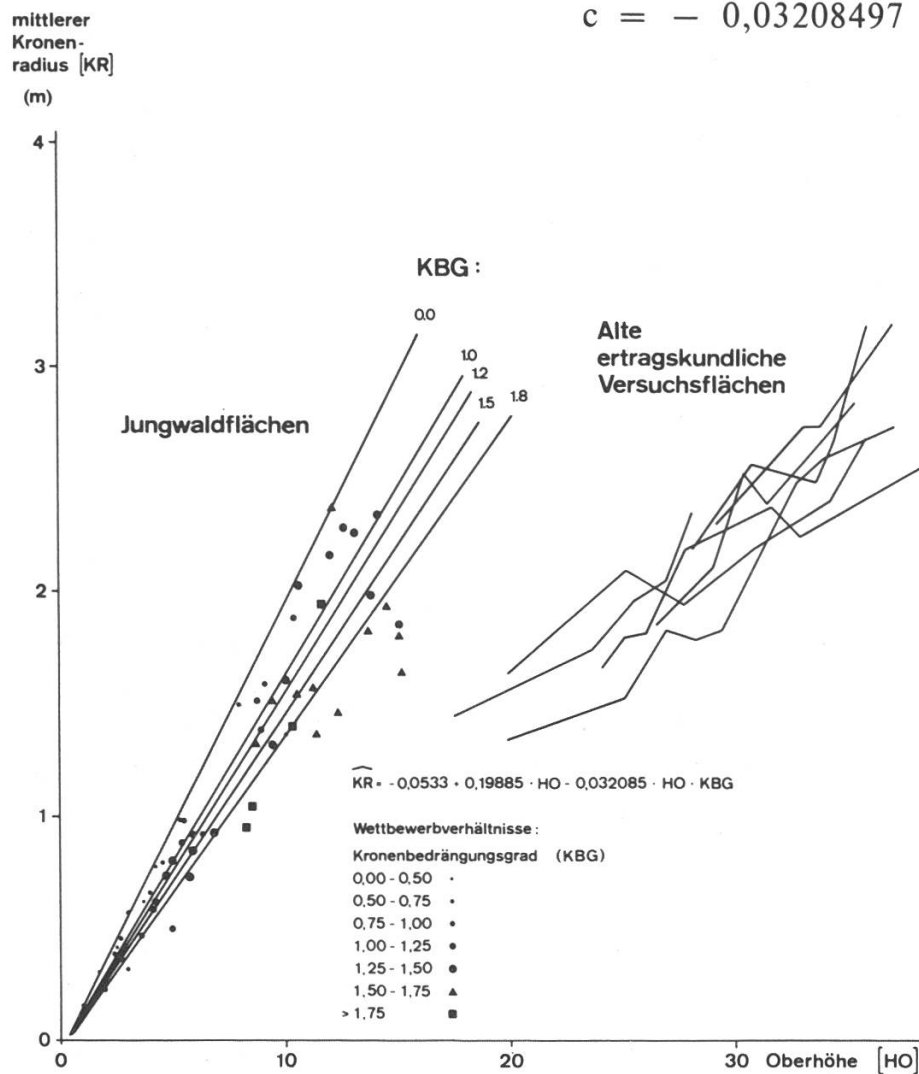
KBG = Kronenbedrängungsgrad =  $2 Kr \sqrt{N}/100$

Mit einem  $R^2$  von 0,91 ist die Schätzung mit dieser Funktion sehr gut. Durch den Einbau des zweiten Regressors  $Ho \cdot KBG$  ist gegenüber dem reduzierten Ansatz der einfachen Regression eine hochsignifikante Verbesserung der Funktion (mit einem F-Wert von 96 bei 68 Freiheitsgraden) erreicht worden. Die Koeffizienten der Schätzfunktion (3) für das Beispiel in *Abbildung 1* weisen folgende Werte auf:

$$a = -0,05331$$

$$b = 0,19885$$

$$c = -0,03208497$$

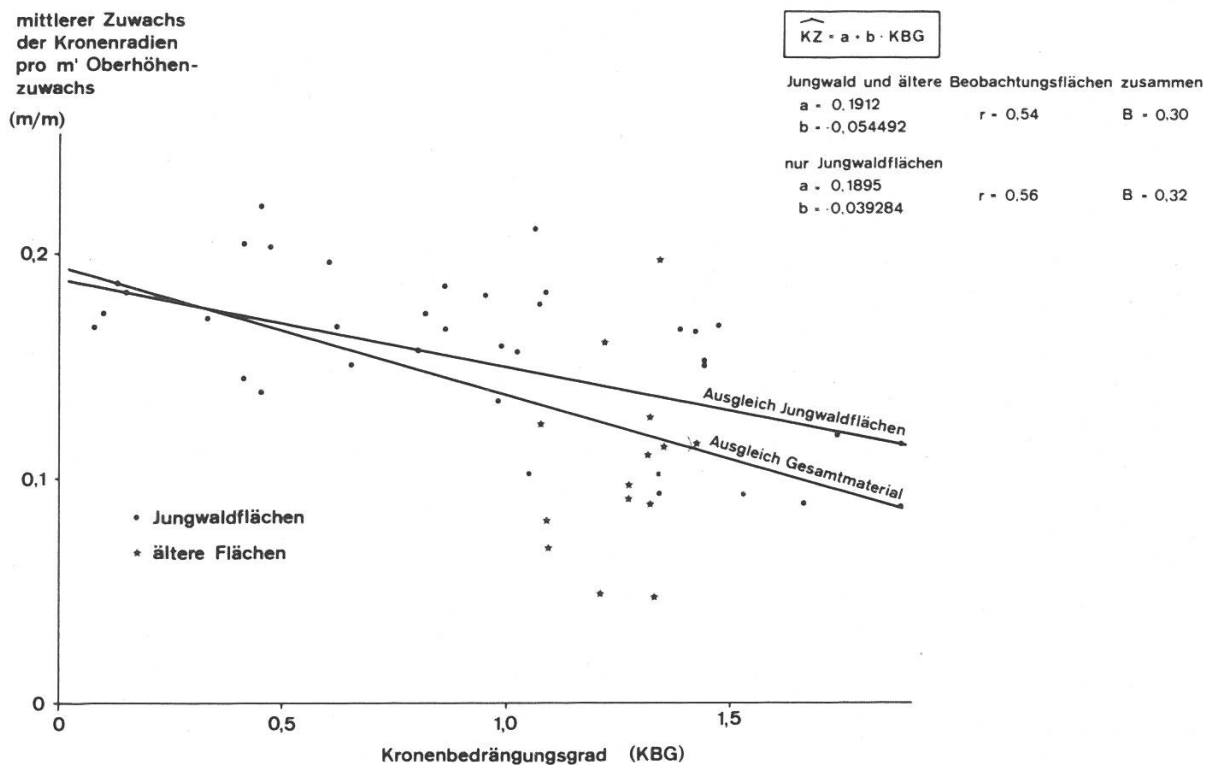


*Abbildung 1.* Mittlere Kronenradien von verschiedenen Jungdouglasienbeständen in Abhängigkeit der Oberhöhe.

Lange in dichtem Stand erwachsene Bäume weisen folglich viel kleinere Kronendimensionen auf als Bäume, die von Jugend an mit wenig Konkurrenz aufgewachsen sind. Aufschlussreich in dieser Hinsicht ist die rechte Darstellung der *Abbildung 1*, die die Entwicklung der Kronenradien in älteren ertragskundlichen Beobachtungsflächen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf (EAFV) wiedergibt. Das abweichende Verhalten der Kronendimensionen erklärt sich durch die sehr hohe Dichtehaltung in der Jugend, herrührend von zurückhaltender bis fehlender Pflege, wie dies offenbar zu Beginn dieses Jahrhunderts üblich war. Entsprechend wiesen bei Beobachtungsbeginn die Bäume im Mittel nur halb so stark entwickelte Kronenbreiten auf, wie sie bei aktiver Pflege möglich gewesen wären. Interessanterweise zeigen diese Flächen trotz starker Bedrängung in der Jugend in der Folge unter der aktiven Pflege gleichwohl eine durchaus befriedigende Kronenreaktion, die kaum von der Reaktion in Jungbeständen abweicht.

### Kronenzuwachs und Bedrängung

Die Schätzfunktion (3) erfasst lediglich den Einfluss der aktuellen Bestandesdichte auf die Kronendimensionen. Wie wir soeben am Beispiel der älteren Beobachtungsflächen gesehen haben, kann jedoch die Dauer der



*Abbildung 2.* Kronenradienzuwachs von Douglasienbeständen in Abhängigkeit der Bestandesdichte.

früheren Bestandesdichte wesentlichen Einfluss auf die heutigen Kronendimensionen ausgeübt haben. Um dieses Phänomen zu berücksichtigen, kann man beispielsweise den seitlichen Kronenzuwachs, das heisst den mittleren Zuwachs der Kronenradien pro Laufmeter Oberhöhenzuwachs, in Abhängigkeit des Kronenbedrängungsgrades analysieren, was in *Abbildung 2* dargestellt ist. Obwohl die Beziehung mit einem  $R^2$  von 0,30 bis 0,32 nicht sehr straff ist, lässt sich ein klarer Zusammenhang zwischen Bestandesdichte (Bedrängungsgrad) und Kronenreaktion nachweisen, was mit der folgenden Funktion wiedergegeben werden kann:

$$\widehat{KZ} = a + b \cdot KBG \quad (4)$$

wobei  $KZ$  = mittlerer Kronenradienzuwachs pro m' Oberhöhenzuwachs  
 $KBG$  = Kronenbedrängungsgrad

Eine Überprüfung lässt keinen wesentlichen Einfluss der Bestandesentwicklung auf den seitlichen Kronenzuwachs erkennen. Die Koeffizienten der Funktion (4) ergeben für unser Beispiel folgende Werte:

Jungwaldflächen:  $a = 0,1895$ ,  $b = -0,03928$   
 Junge und alte Flächen:  $a = 0,1912$ ,  $b = -0,05449$

### Praktische Anwendung für die Kontrolle der Bestandesdichte

Mit Hilfe der Beziehung (3) lassen sich für bestimmte, konstante Kronenbedrängungsgrade die entsprechenden Stammzahlen während der Bestandesentwicklung errechnen (*Abbildung 3*). Solche generellen Stammzahlleitkurven können bei der Kontrolle der Bestandespflege, insbesondere bei der Festlegung und Überwachung der Eingriffsstärke, als Orientierungshilfe herangezogen werden.

Aufgrund langjähriger Beobachtungen und Kontrollen in der Jungwaldpflege können die Kronenbedrängungsgrade als Mass für die Bestandesdichte wie folgt umschrieben werden:

$KBG: 1,0$  – Bei Flächen, die noch nicht in Kronenschluss getreten sind:  
           Beginnende Kronenberührung  
           – Bei geschlossenen Beständen: Unterbrechung des Kronenschlusses  
 1,1     Starke Eingriffe  
 1,2     Kräftige Eingriffe; für Stangenhölzer und Baumhölzer waldbaulich als optimal zu betrachten  
 1,8     Beobachtete natürliche Bestockungsdichte



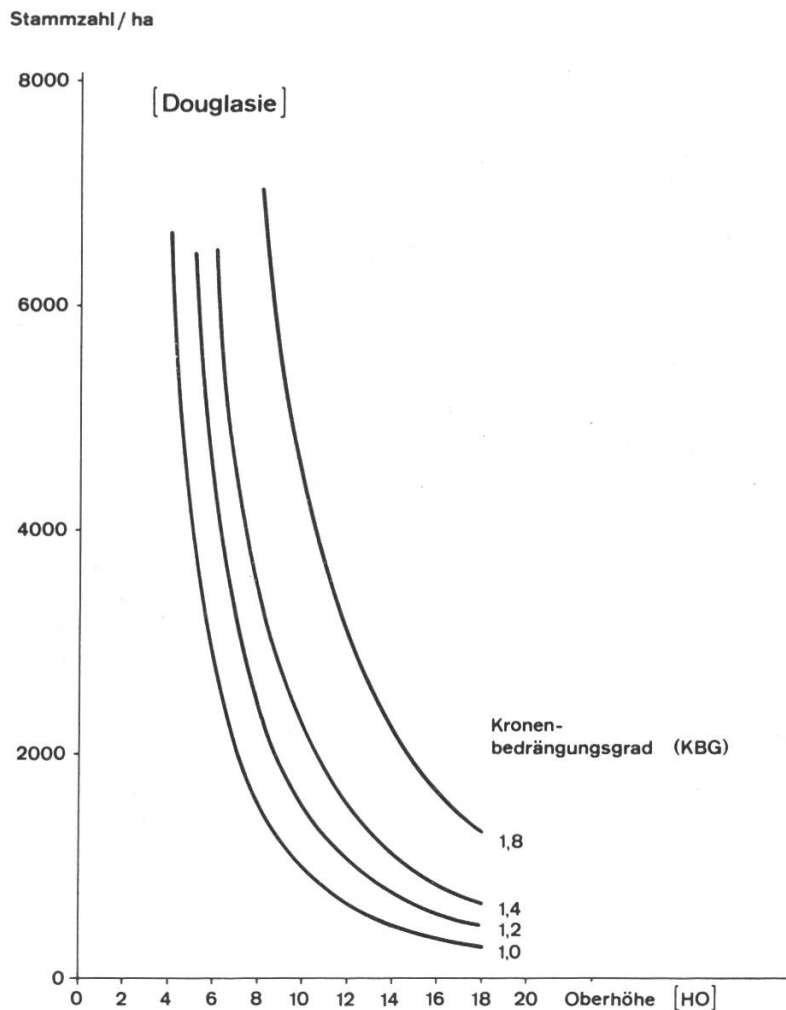


Abbildung 3. Stammzahlnormkurven für bestimmte Bestandesdichten.

Zwischen den Kurven  $KBG = 1,1$  und  $KBG = 1,8$  liegt der Spielraum für verschiedene Durchforstungsmöglichkeiten.

Standraum und Stammzahlen hängen von den effektiven Kronenbreiten ab; diese wiederum sind, wie wir gesehen haben, in entscheidender Weise von der Bestandesgeschichte beziehungsweise von der Dauer der bisherigen Kronenbedrängung beeinflusst. Folglich können normierte Stammzahlkurven nur für Bestände gelten, die seit langer Zeit annähernd gleich behandelt wurden wie die Modellbestände. Bestände, welche in früherer Zeit in dichtem Schluss erwachsen sind, besitzen vergleichsweise kleinere Kronen; sie erreichen entsprechend die Bestockungsdichte von beispielsweise  $KBG = 1,2$  bei wesentlich höherer Stammzahlhaltung als in der Normkurve angegeben. In einer solchen Situation würde die Reduktion der Stammzahl auf den Normwert zu einer völligen Unterbrechung des Kronenschlusses führen, verbunden mit einer entsprechenden Zunahme in der Gefährdung für die Bestandesstabilität. Unter diesen Voraussetzungen müssen Stammzahl-Normkurven als gefährliches Hilfsmittel betrachtet werden.

In solchen Fällen scheint es wesentlich sinnvoller, mit der Beziehung (4)



zu arbeiten, da sie erlaubt, für jede Ausgangssituation der Bestandesverhältnisse mit schrittweiser Integration die Stammzahl/Kronengrösse/Dichte-Kenngrössen zu berechnen, selbst dann, wenn die Dichteverhältnisse im Laufe der Entwicklung geändert haben. Das folgende Beispiel in *Tabelle 1*

*Tabelle 1.* Errechnete Stammzahlen, Kronenbreiten und Kronenbedrängungsgrade für zwei Fallbeispiele mit unterschiedlicher Dichtehaltung (Erklärung im Text).

Oberhöhe	Fall A Begründung N = 4500 1 Stammzahlreduktion bei KBG 1.2 dann konstanter KBG von 1.2			Fall B Begründung N = 4500 bis Oberhöhe 13 ohne Pflege dann Reduktion auf KBG von 1.2			Stammzahlen- unterschied bei gleicher Kronenbedrängung  Δ N, %
	N	KBG	KD	N	KBG	KD	
1	4500	0.19	0.291	4500	0.19	0.291	
3	4500	0.68	1.013	4500	0.68	1.013	
5	4500	<u>1.09</u>	1.630	4500	1.09	1.630	
7	3098	1.2	2.156	4500	1.45	2.156	
9	2035	1.2	2.660	4500	<u>1.75</u>	2.605	
11	1438	1.2	3.164	3626	1.8	2.939	
13	1070	1.2	3.668	2868	<u>1.8</u>	3.361	
15	827	1.2	4.172	1033	1.2	3.733	25 %
17	659	1.2	4.676	803	1.2	4.236	22 %
19	537	1.2	5.180	641	1.2	4.739	19 %
21	446	1.2	5.684	524	1.2	5.242	17 %

soll die Unterschiede zeigen. Für zwei ursprünglich gleich dicht begründete Bestände (N = 4500), die in der Folge hingegen eine unterschiedliche Dichtentwicklung durchlaufen haben, sind die Kronenbreiten, Kronenbedrängungsgrade und die entsprechenden Stammzahlen im Laufe der Bestandesentwicklung errechnet worden. Bestand A wird vom Zeitpunkt der Erreichung des Kronenschlusses ab einer Oberhöhe von rund 6 Metern auf einer konstanten Dichte (KBG = 1,2) gehalten. Bestand B hingegen wird bis zu einer Oberhöhe von 13 Metern ungepflegt belassen und anschliessend mit einem Eingriff auf die gleiche Dichtehaltung reduziert wie A.

Auffällig sind die Unterschiede in den mittleren Kronenbreiten, die bei rund 15 Metern Oberhöhe mit 12 % ihr Maximum erreichen. Die Bedrängung im Bestand B, die nicht einmal allzu lange anhält, führt immerhin dazu, dass nach dem ersten Eingriff (bei Ho 15 m) der Bestand 25 % mehr Stammzahl aufweisen muss als Bestand A, um die gleiche Dichte zu erreichen. Der Rückstand in den Kronendimensionen des Bestandes B im Vergleich zu Bestand A verringert sich langsam im Laufe der weiteren Entwicklung, bleibt jedoch bis zuletzt erhalten.

Das Beispiel dieser beiden Bestände zeigt, wie wichtig es ist, für die Kontrolle der Bestandesdichte Methoden zu finden, welche die wirklichen, durch die Bestandesdichte geprägten Kronendimensionen berücksichtigen. Ist in einem Bestand der mittlere Kronendurchmesser bekannt, eine Grösse die an und für sich ohne allzu grosse Schwierigkeiten ermittelt werden kann, so

lassen sich die benötigten Stammzahlen zur Erreichung einer bestimmten Bestandesdichte mit folgender einfacher Formel bestimmen:

$$N = \left\{ \frac{\text{KBG}_{\text{opt.}} \cdot 100}{\text{KD}} \right\}^2 \quad (5)$$

wobei  $\text{KBG}_{\text{opt.}}$  für Douglasie bei 1,2 liegt.

### **Folgerungen für die Anlage zukünftiger Pflegeversuche**

Die Kontrolle der Bestandesdichte durch Bestandesparameter, die vorher versucht wurde zu zeigen, ist ein erster Schritt für unsere Erkenntnisse der Mechanismen der biologischen Produktion im Hinblick auf deren optimale Steuerung. Damit sind noch bei weitem nicht alle Probleme gelöst. Unsere Kenntnisse der individuellen Gegenseitigkeiten der einzelnen Bäume im Kollektiv sind noch lückenhaft. Es stellt sich zum Beispiel die Frage, ob gewisse Teilkollektive, welche man durch die waldbauliche Auslese fördern kann, sich vom Gesamtkollektiv wesentlich unterscheiden, um überhaupt den Erfolg einer Auslese quantifizieren zu können. Es stellt sich auch die Frage einer möglichst treffenden Erfassung der Wettbewerbsverhältnisse zwischen den einzelnen Bäumen, welche in der Tat unterschiedliche soziologische Stellung im Bestand aufweisen. Schliesslich sind die Konsequenzen bestimmter Wettbewerbssituationen beziehungsweise Eingriffe für deren Regelung auf die Bestandesstabilität von grosser Bedeutung.

Zukünftige Pflegeversuche sollen so angelegt werden, um auf solche Fragen Antwort zu erhalten; sie setzen eine baumindividuelle Erfassung der wichtigsten ertragskundlichen Kriterien im Bestand voraus sowie eine vernünftige Definierung, womöglich Quantifizierung, der oft sonst nur gutachtlich erfassbaren waldbaulichen Eigenschaften.

## Résumé

### Le contrôle de la densité des peuplements et de l'intensité des éclaircies

Pour la mesure de la densité des peuplements on présente deux expressions simples se fondant sur la connaissance de la largeur moyenne des houppiers (KD) et du nombre de tiges (N): d'une part le degré d'utilisation de l'espace,  $SAG = KD^2 \cdot N / 10\ 000$  et d'autre part le degré d'imbrication des cimes  $KBG = KD \cdot \sqrt{N/100}$ .

A l'exemple de jeunes peuplements de Douglas on montre le développement des dimensions moyennes des houppiers en fonction de la densité des peuplements. Etant donné que les dimensions des houppiers dépendent surtout de la durée de la compétition au niveau des cimes au cours du développement, on propose un modèle simple se fondant sur la réaction des couronnes (accroissement des dimensions des houppiers) qui permet de calculer l'évolution des dimensions des cimes, par une méthode itérative. Cela permet de prévoir l'évolution de la densité des peuplements.

Le fait que selon l'histoire antérieure du peuplement les dimensions des houppiers peuvent être très différentes, démontre que des normes de nombre de tiges, dans certaines circonstances, fournissent une image faussée de la densité des peuplements et par conséquent doivent être utilisées avec précautions critiques.

Finalement l'on rend attentif à la nécessité de la définition de critères dendrométriques et sylvicoles portant sur les individus d'un peuplement pour de futurs essais d'éclaircie.

### Literatur

- Assmann, E., 1954: Grundflächenhaltung und Zuwachsleistung Bayerischer Fichten-Durchforstungsreihen. Forstw. Cbl., vol. 73, no. 9/10, pp. 257–271
- Becking, J. H., 1952: (The economy of heavy thinning in douglas fir plantations.) Nederl. Bosbouw Tijdschrift, vol. 24, no. 10, pp. 257–269
- Chisman, H. H., Schumacher, F. X., 1940: On the tree-area ratio and certain of its applications. Jour. For., vol. 38, pp. 311–317
- Curtin, R. A., 1970: Dynamics of tree and crown structure in *Eucalyptus obliqua*. For. Sci., vol. 16, no. 3, pp. 321–328
- Gingrich, S. F., 1967: Measuring and evaluating stocking and stand density in Upland hardwood forests in the Central States. For. Sci., vol. 13, no. 1, pp. 38–53
- Hart, H. M. F., 1928: Stamtal en dunning; Een orienteerend onderzoek naar de beste plantwijdte en dunningswijze voor den djati. Diss., H. Veenman & Zonen, Ed., Wageningen, 219 p.
- Krajicek, J. E., Brinkman, K. A., Gingrich, S. F., 1961: Crown competition, a measure of density. For. Sci., vol. 7, no. 1, pp. 35–42
- Ottorini, J. M. 1978: Aspects de la notion de densité et croissance des arbres en peuplement. Ann. Sci. For., vol. 35, no. 4, pp. 299–320
- Schönbächler, D., 1982: Kronenregeneration von Junglärchen. Diplomarbeit Abt. Forstw. ETH Zürich, 45 p. (nicht veröffentlicht)