

Eine neue Generation dynamischer Ertragstafeln für Nordwestdeutschland - erste Ergebnisse für die Baumart Buche

*Matthias Albert, Jürgen Nagel, Ralf-Volker Nagel und Hermann Spellmann
Abt. Waldwachstum, NW-FVA Göttingen*

1 Einleitung

Veränderte Standortsbedingungen und neue waldbauliche Bewirtschaftungskonzepte lassen eine grundlegende Überarbeitung der in der Forstpraxis verbreiteten aktuellen Ertragstafeln sinnvoll und notwendig erscheinen. Die Standortsveränderungen, maßgeblich hervorgerufen durch die stark gestiegene Stickstoffdeposition seit den 1960er Jahren, Klimawandel mit höheren Temperaturen und längeren Vegetationszeiten und vielerorts Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit nach Aufgabe der Streunutzung, führen vielfach zu einem deutlich höheren Zuwachsniveau (RÖHLE 1995; SPIECKER et al. 1996; PRETZSCH et al. 2014). Dieses veränderte Wachstumsverhalten resultiert zum einen in besseren Bonitäten durch ein größeres Höhenwachstum und zum anderen in einer Erhöhung des Volumenzuwachses bei gegeben Bonität. Folglich entsprechen die neuen Wachstumsgänge vielfach nicht mehr denen in heute noch gebräuchlichen Ertragstafeln abgebildeten. Die Diskrepanz zwischen den heute beobachteten und den in vielen Ertragstafeln unterstellten Wachstumsgängen wird zusätzlich durch veränderte waldbauliche Bewirtschaftungskonzepte hervorgerufen und verstärkt. Die meisten gängigen Ertragstafeln basieren auf Versuchsflächendaten aus gleichaltrigen Reinbeständen, die Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts noch eng begründet, niederdurchforstet und im Kahlschlag- bzw. kurzfristigen Schirmschlagbetrieb bewirtschaftet wurden (SCHÖBER 1995). Heutige Waldbaukonzepte favorisieren weitere Verbände, Hoch- oder Auslesedurchforstungen mit gestaffelten Eingriffsstärken und eine über Zielstärken gesteuerte Endnutzung. Die Konsequenz veränderter waldbaulicher Bewirtschaftungskonzepte sind gegenüber den gängigen Ertragstafelangaben höhere Mitteldurchmesser und geringere Stammzahlen.

Die Nachfrage der Praxis nach Ertragstafeln als einem einfach zu handhabenden und Orientierung gebenden Instrument für die Forstplanung, die weiterhin große Bedeutung der Ertragstafel als objektive Norm bei der Waldbewertung und auch die Verwendung des in der Ertragstafel niedergelegten Produktionsmodells von Bestandesgrößen im zeitlichen Verlauf einer Umtriebszeit für forstökonomische Fragestellungen verdeutlicht die Notwendigkeit, die Tafelwerke mit aktualisierten Bestandeskennwerten zu hinterlegen.

Ziel des hier vorgestellten Forschungsprojektes ist es, aus einer Kombination von Versuchsflächendaten und einzelbaumbasierten Wachstumssimulationen, die den heutigen Verhältnissen in Nordwestdeutschland angepassten Ertragstafelgrößen herzuleiten. Am Beispiel der Baumart Buche werden im Folgenden erste Ansätze und Ergebnisse präsentiert.

2 Material und Methoden

Die Erstellung einer neuen Generation dynamischer Ertragstafeln folgt dem Konzept der dritten Ertragstafelgeneration, indem ein System von Funktionsgleichungen zur Ableitung der Ertragstafelgrößen über dem Alter aufgestellt wird (PRETZSCH 2001, S. 106 ff.). Die Datengrundlage zur Herleitung der Wachstumsgänge basiert auf Waldwachstumssimulationen von ertragskundlichen Versuchsflächen und die unterstellten waldbaulichen Behandlungskonzepte werden anhand ausgewählter Versuchsflächen quantitativ definiert.

2.1 Arbeitshypothese

Als Arbeitshypothese wird formuliert, dass für eine praxistaugliche Anwendbarkeit der neuen Ertragstafeln die Wachstumsgänge aus Versuchsflächen allen Alters, die unter den gegenwärtigen Wachstumsbedingungen fortgeschrieben werden, abgeleitet werden müssen. Dabei ist die Geschichtlichkeit der Bestände zu berücksichtigen, d.h. die bisherige Entwicklung der Bestandesgrößen im Laufe des konkreten Bestandeslebens muss beachtet werden. Diese Anforderungen sind durch eine Zeitscheibensimulation zu realisieren, d.h. aus einer Vielzahl von Versuchsflächenaufnahmen unterschiedlichen Alters t werden für die Waldwachstumsbibliothek TreeGrOSS (HANSEN und NAGEL 2014) Startkonstellationen generiert und diese dann für 30 Jahre ($t+30$) fortgeschrieben. Die

Verwendung der aktuellen Bestandesgrößen und der Bonität des zu simulierenden Bestandes spiegelt die Standortbedingungen des bisherigen Bestandeslebens wider. Die Zuwachsschätzung geschieht mit den Wachstumfunktionen aus TreeGroSS, die durch Neuparametrisierung dem aktuellen Zuwachsniveau angepasst wurden (NW-FVA 2018).

Es werden für die Erstellung der Ertragstafeln zwei Annahmen getroffen: (1) es wird ein mittleres Ertragsniveau abgebildet und (2) der anamorphe Bonitätsfächer der Ertragstafel SCHOBER (1995) wird angewendet. Des Weiteren werden zwei Anforderungen an die Ertragstafeln gestellt: (1) wie bereits ausgeführt müssen die Wachstumsgänge den Zuwachs unter aktuellen Standortbedingungen widerspiegeln und (2) es sollen heute empfohlene Durchforstungs- und Nutzungskonzepte abgebildet werden.

2.2 Datengrundlage

Für die Erstellung der Buchen-Ertragstafel werden Startkonstellationen von 241 Versuchsfächern verwendet. Alle Aufnahmen entstammen hochdurchforstungsartig behandelten Versuchsfächern. Das Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme wurde auf 110 Jahre begrenzt.

In Abbildung 1 ist das Bonitätsspektrum der Versuchsfächern über dem Alter dargestellt.

Abbildung 1 verdeutlicht die gute Abdeckung der Bonitäten über dem Alter in einer Spanne zwischen 0. und II. Ertragsklasse. Absolute Spitzenbonitäten werden jedoch nur bis zu einem Alter von ca. 55 Jahre beobachtet.

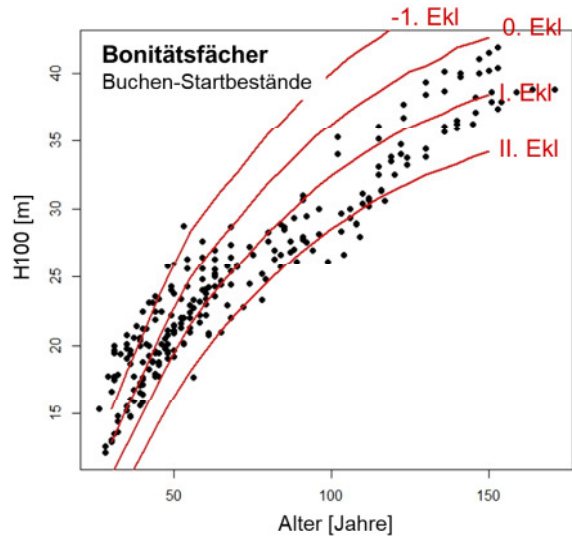


Abb. 1: Bonitätsfächer der 241 Buchen-Startbestände (als Referenz sind die Ertragsklassen nach SCHOBER 1995 angegeben).

2.3 Durchforstungs- und Nutzungskonzepte

Auf der Grundlage von, aus der Sicht des Sachgebiets Ertragskunde der NW-FVA, idealtypisch behandelten Versuchsfächern werden die empfohlenen Grundflächenhaltungen der drei waldbaulichen Konzepte mäßige, starke und gestaffelte Hochdurchforstung hergeleitet (Abb. 2). Diese idealtypischen Versuchsfächern umfassen 12 Parzellen, die mäßig hochdurchforstet wurden, und 23 Parzellen, die stark hochdurchforstet wurden. Diese 35 Parzellen sind ein Teildatensatz der Datengrundlage, die zur Erzeugung der Startbestände herangezogen wurde.

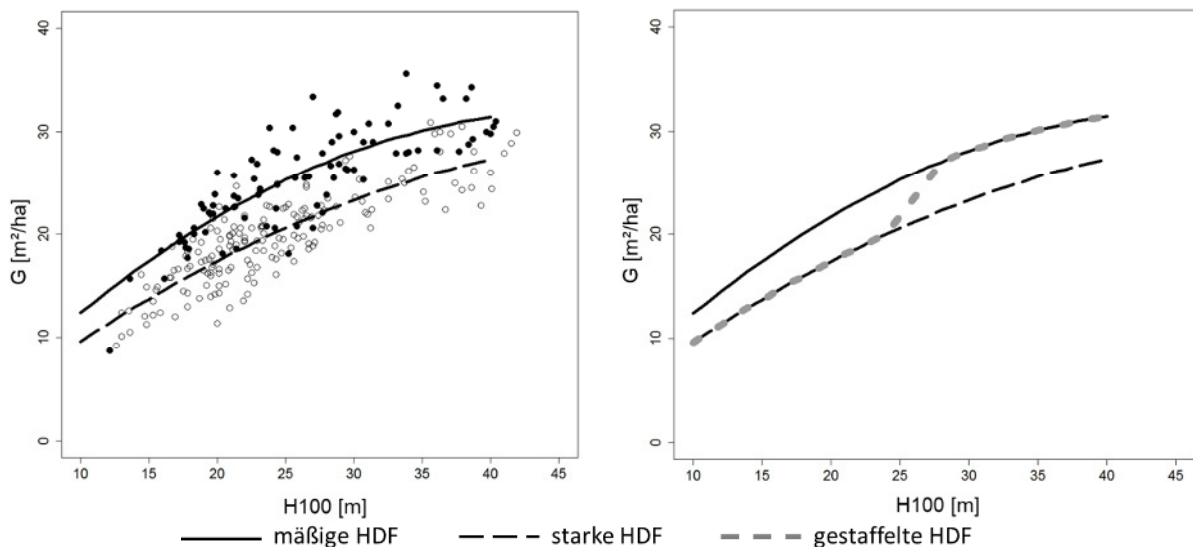


Abb. 2: Grundflächenhaltung für Buchenreinbestände in Abhängigkeit von der Bestandesoberhöhe für die drei Waldbaukonzepte mäßige, starke und gestaffelte Hochdurchforstung.

Anhand der beobachteten Grundflächen wird eine Regressionskurve der Grundflächenhaltung für das Konzept der mäßigen und der starken Hochdurchforstung über der Bestandesoberhöhe hergeleitet (Abb. 2, links). Für das Konzept der gestaffelten Durchforstung stehen nicht genügend Beobachtungen zur Verfügung, so dass die Grundflächenhaltung von Experten definiert wird (vgl. Abb. 2, rechts). Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Grundflächenhaltung bis zu einer Bestandesoberhöhe von 24 m der starken Hochdurchforstung entspricht und danach auf das Niveau der mäßigen Hochdurchforstung angehoben wird und diesem dann folgt.

Alle drei waldbaulichen Behandlungskonzepte wählen Z-Bäume aus, die konsequent gefördert werden. Die Anzahl der Z-Bäume variiert je nach Bonität und Behandlungskonzept ebenso wie die angestrebten Zielstärken (Tab. 1).

Tab. 1: Zielstärken und Z-Baum-Zahlen für die drei waldbaulichen Behandlungskonzepte mäßige, starke und gestaffelte Hochdurchforstung.

relative Bonität SCHÖBER	Oberhöhenbonität, Alter 100	mäßige HDF		starke HDF		gestaffelte HDF	
		Zielstärke cm	Z-Bäume N/ha	Zielstärke cm	Z-Bäume N/ha	Zielstärke cm	Z-Bäume N/ha
(-) I	40	65	70	70	60	70	70
0	36	60	90	65	70	65	80
I	32	60	90	60	80	60	90
II	28	55	100	60	80	60	90
III	24	55	100	55	100	55	100

Je Z-Baum werden unter mäßiger Durchforstung 0,5 Bedränger und unter starker bzw. gestaffelter Durchforstung 2 Bedränger entnommen. Als Bedränger wird ein Nachbarbaum angesehen, wenn die Krone mit der Z-Baum-Krone überlappt. Die restliche ausscheidende Grundfläche bis zum Erreichen der definierten Zielgrundfläche wird aus dem Füllbestand entnommen.

2.4 Erstellung der Startbestände

Aus jeder Durchmesserverteilung der 241 Versuchsflächenaufnahmen werden zufällig Durchmesser gezogen, bis die Zielgrundfläche des unterstellten waldbaulichen Behandlungskonzeptes, definiert über die oben dargestellte Grundflächenhaltung, erreicht ist. Allerdings entspricht die Bestandesentwicklung nicht jeder Versuchsflächenparzelle dem zu simulierenden Behandlungskonzept, so dass es zu Diskrepanzen zwischen der beobachteten und der erwarteten Durchmesserverteilung kommen kann. Um diese mögliche Verzerrung zu überprüfen und auszugleichen, werden Schätzfunktionen für den Dg und D100 mit Hilfe der Daten der bereits für die Herleitung der Grundflächenhaltung herangezogenen Versuchsflächenparzellen wie folgt formuliert:

mäßige HDF	$dg_{soll} = 0,364 * Alter - 0,103 * H100$	$R^2_{adj} = 0,98$	[1.1]
	$D100_{soll} = 0,187 * Alter + 0,740 * H100$	$R^2_{adj} = 0,99$	[1.2]
starke HDF	$dg_{soll} = 0,441 * Alter - 0,330 * H100$	$R^2_{adj} = 0,98$	[2.1]
	$D100_{soll} = 0,230 * Alter + 0,663 * H100$	$R^2_{adj} = 0,99$	[2.2]

Bei der Modifikation der Durchmesserverteilung wird die gestaffelte Durchforstung wie die starke Hochdurchforstung behandelt. Entsprechend der Funktionen [1.1] bis [2.2] werden die beobachteten Werte der 241 Versuchsflächenaufnahmen mit den Sollwerten abgeglichen, indem zuerst die gesamte Durchmesserverteilung um die Differenz $dg_{soll} - dg_{ist}$ verschoben wird.

In einem zweiten Schritt wird die Durchmesserverteilung um das Streckenverhältnis

$$\frac{D100_{soll} - dg_{soll}}{D100_{ist} - dg_{ist}}$$

gestaucht bzw. gestreckt. Diese modifizierte Durchmesserverteilung dient nunmehr als Grundlage für die oben angeführte Zufallsziehung von Durchmessern.

Entsprechend der erzeugten Durchmesserverteilungen für die 241 Startbestände werden aus den Versuchsflächendaten die dazugehörigen Einzelbaumhöhen ergänzt und weitere benötigte Einzelbaumparameter, wie Kronenansatzhöhe und Kronenbreite, über in TreeGroSS verfügbare Funktionen ergänzt. Als Resultat stehen dann auf Einzelbaumbasis 241 Startbestände mit einer Bestandesgröße von jeweils 0,2 ha für die Wachstumssimulation zur Verfügung. Diese Startbestände erhalten die Bonität der entsprechenden Versuchsflächenparzelle, es werden Z-Bäume ausgewählt und die Bestandesentwicklung wird entsprechend dem Konzept der Zeitscheibensimulation in sechs 5-Jahres-Simulationsschritten für 30 Jahre fortgeschrieben.

2.5 System von Funktionsgleichungen

Die Simulationsergebnisse sind die Grundlage zur Herleitung von Funktionsgleichungen für alle relevanten Ertragstafelgrößen. Zentraler Kennwert des Wachstumsganges ist die zeitliche Entwicklung der Gesamtwuchsleistung. Diese ist jedoch in den Simulationsergebnissen aufgrund der Zeitscheibensimulation nicht direkt ablesbar. Da aber gilt $GWL' = IZ$, kann die GWL über die simulierten laufenden Zuwächse geschätzt werden.

Folgendes System von Funktionsgleichungen wird erstellt (Tabelle 2):

Tab. 2: Herleitung der Ertragstafelgrößen aus Wachstumssimulationen.

Ertragstafelgröße	Modellform	Bemerkungen
GWL	$GWL' = IZ$ $= abc(Bon^d)e^{-bt}(1 - e^{-bt})^{c-1}$	Parameter der Zuwachsfunktion der Chapman-Richards-Gleichung werden mit IZ geschätzt; eingesetzt in Wachstumsfunktion ergibt GWL
Grundfläche		Die Werte werden entsprechend der Grundflächenhaltung direkt in Abhängigkeit von H100 erzeugt.
Durchmesser Weisescher Oberhöhenstamm	$DOW = (Bon^d)(1 - e^{-bt})^c$	DOW ist bei Hochdurchforstung weniger abhängig von Grundflächenhaltung, Z-Baumzahlen und Zielstärken als der D100
Dg	$dg = a(Dow) + b(H100) + c(alt) + d(alt^2)$	
Hg	$hg = a(H100) + b(H100^2) + c(Bon)$	
Vorrat	$vha = a(gha)(Dow)^b(c * H100)^d$	
ausscheidender Vorrat	$vhaa = \Delta GWL - \Delta vha$	
ausscheidende Grundfläche	$ghaa = vhaa / (a * H100^b)$	
Stammzahl		ergibt sich rechnerisch aus Grundfläche und Dg
ausscheidende Stammzahl		ergibt sich aus der Differenz
Dg ausscheidender Bestand		ergibt sich rechnerisch aus G_{aus} und N_{aus}
IZ, dGZ		rechnerisch aus GWL

Die Parameter werden getrennt für die drei waldbaulichen Behandlungskonzepte hergeleitet. Alle Koeffizienten sind fast ausnahmslos hoch signifikant (nicht signifikant: unter mäßiger HDF b in Dg-Modell; unter starker HDF c in Dg-Modell) und die Erklärungsgüte der Funktionen ist hoch¹.

Bei der Herleitung der GWL gibt es noch das Problem, dass in den meisten Fällen bereits eine GWL ausgegeben wird, während es noch keinen Derbholzvorrat gibt. Das hängt damit zusammen, dass der Vorrat erst nach Überschreiten der Derbholzschwelle auftritt, die GWL aus dem Zuwachs hergeleitet

¹ Da es sich um ein vorläufiges Modell handelt, werden die Parameterwerte hier nicht aufgeführt. Diese können jedoch bei den Autoren nachgefragt werden.

wird und die Funktion auch Zuwächse unterhalb der Derbholzschwelle auswirft. Deshalb muss der Zuwachs, der vor dem Erreichen der Derbholzschwelle ausscheidet, berücksichtigt werden. Der hier gewählte Lösungsansatz verringert die GWL um den Wert, der sich aus der Differenz zum ersten Auftreten von Derbholzvorrat ergibt.

3 Ergebnisse

Die Ertragstafeln werden durch Aufspannen eines Altersrahmens und Bonitätsfächers und Berechnung der Größen über das oben aufgeführte System von Funktionsgleichungen erstellt. Die Tafelwerte werden in den ertragstafelüblichen 5-Jahresschritten bis zu einem Alter ausgegeben, an dem 20% der Z-Bäume Zielstärke erreicht haben und der Übergang zur Endnutzung ansteht. Die folgenden Abbildungen 3 bis 8 verdeutlichen die vorläufigen Ergebnisse grafisch.

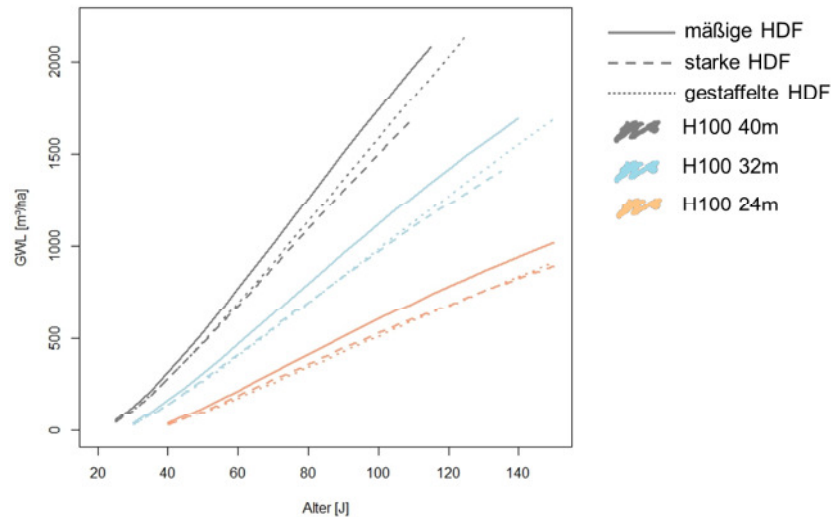


Abb. 3: Gesamtwuchsleistung (GWL) der Buche über dem Alter unter drei waldbaulichen Konzepten für drei exemplarische Oberhöhenbonitäten.

Über alle Bonitäten hinweg gilt, dass die GWL der mäßigen Hochdurchforstung deutlich oberhalb der Werte der starken und gestaffelten Hochdurchforstung liegt. Es werden somit unter starker und gestaffelter Durchforstung Produktivitätsverluste auf der Fläche zugunsten der Z-Baum-Entwicklung in Kauf genommen (Abb. 3). Einschränkend für den GWL-Verlauf unter Oberhöhenbonität 40 muss gesagt werden, dass der Extrapolationsbereich bereits ab Alter 55 Jahre beginnt und somit die langfristig projizierte Entwicklung mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Diese Einschränkung gilt ebenso für die unten aufgeführten Größen laufender Zuwachs (IZ), durchschnittlicher Gesamtwuchs (dGZ) und Durchmesser des Weiseschen Oberhöhenstammes (DOW).

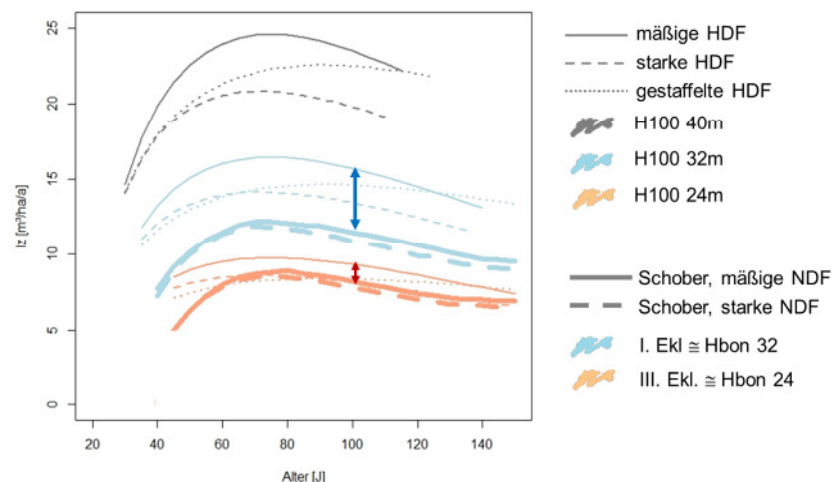


Abb. 4: Laufender (periodischer) Zuwachs (IZ) der Buche über dem Alter unter drei waldbaulichen Konzepten für drei exemplarische Oberhöhenbonitäten und laut Ertragstafel SCHOBBER (1995) als Referenz.

Erwartungsgemäß verschiebt sich der Zeitpunkt der Kulmination des IZ mit abnehmender Bonität nach hinten und die Zuwachskurven verlaufen insgesamt flacher (Abb. 4). Die als Referenz aufgeführten Zuwachsverläufe laut Ertragstafel SCHOBER (1995) verdeutlichen das bei vergleichbarer Bonität deutlich höhere Zuwachsniveau der neuen Ertragstafel. Diese hohen Zuwachswerte, teilweise über 20 m³/ha/a, werden auf Versuchsflächen und bei der Betriebsinventur der Niedersächsischen Landesforsten sowie der Bundeswaldinventur aktuell beobachtet.

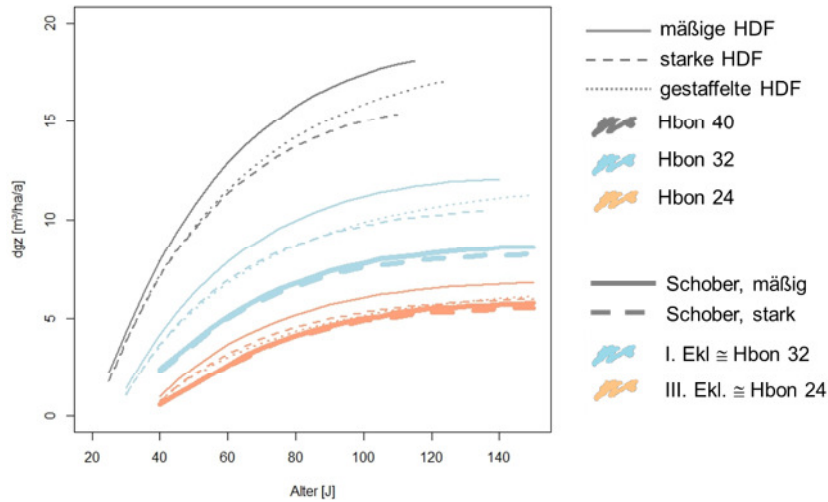


Abb. 5: Durchschnittlicher Gesamtzuwachs (dGZ) der Buche über dem Alter unter drei waldbaulichen Konzepten für drei exemplarische Oberhöhenbonitäten und laut Ertragstafel SCHOBER (1995) als Referenz.

Der Verlauf des dGZ zeigt bis zum Alter 140 keine Kulmination (Abb. 5). Im Vergleich zu den Werten der Ertragstafel SCHOBER (1995) zeigt sich auch hier das deutlich gesteigerte Wachstum bei vergleichbaren Bonitäten.

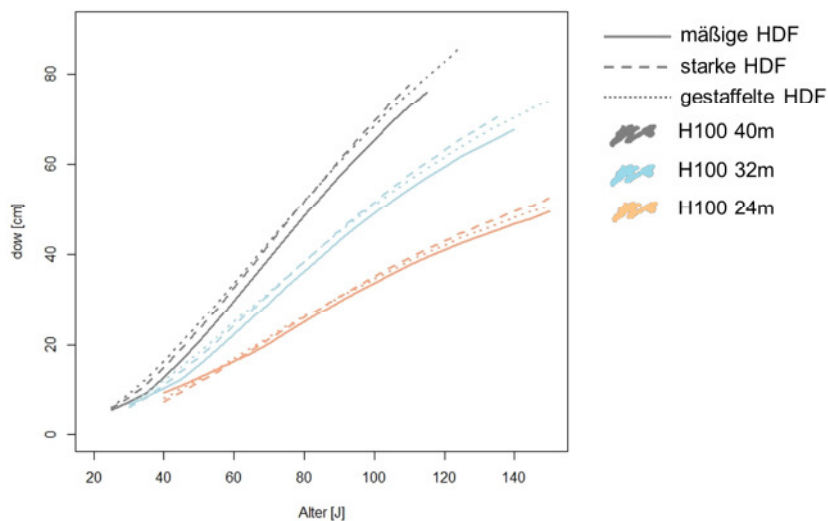


Abb. 6: Durchmesser des Weiseschen Oberhöhenstammes (DOW) der Buche über dem Alter unter drei waldbaulichen Konzepten für drei exemplarische Oberhöhenbonitäten.

Die Verläufe der Durchmesser des Weiseschen Oberhöhenstammes zeigen insbesondere den Dimensionsvorsprung unter starker bzw. gestaffelter Hochdurchforstung gegenüber der mäßigen Hochdurchforstung (Abb. 6). Die oben genannten Produktivitätsverluste in der Fläche müssen für eine ertragskundliche und ökonomische Vorteilhaftigkeit des waldbaulichen Konzeptes durch Dimensionsvorsprünge der Z-Bäume (hier repräsentiert durch die Weiseschen Oberhöhenbäume) kompensiert werden. In Tabelle 3 in absoluten Zahlen dargestellt, erweist sich der Effekt der Durchforstungsstärke auf die Dimensionentwicklung als nicht allzu stark.

Tab. 3: Dimensionsvorsprung des Durchmessers des Weiseschen Oberhöhenstammes unter gestaffelter bzw. starker Hochdurchforstung bezogen auf die mäßige Hochdurchforstung, wenn hier Zielstärke erreicht wird.

Oberhöhenbonität	Zielstärke		
	mäßige HDF [cm]	gestaffelte HDF [cm]	starke HDF [cm]
40	65,0	+3,1	+4,2
32	60,0	+2,1	+3,7
24	55,0	+/-0	+3,8

Die frühe und starke Begünstigung der Z-Bäume in der Phase der hohen Wachstumsdynamik unter gestaffelter und starker Durchforstung erbringt einen Dimensionsvorsprung gegenüber der mäßigen Durchforstung. In der späteren Phase erbringt die geringere Grundflächenhaltung der starken Durchforstung gegenüber dem Konzept der gestaffelten Durchforstung nur einen geringen zusätzlichen Dimensionseffekt. Insgesamt verdeutlichen die absoluten Zahlen, dass schon bei mäßiger Eingriffsstärke und höherer entsprechender Grundflächenhaltung die Z-Bäume fast optimal freigestellt werden (Tab. 3).

Ein weiterer wichtiger Bestandteil von Ertragstafeln sind die Zuwachsreduktionsfaktoren. Die Herleitung der Zuwachsreduktionsfaktoren erfolgt hier ebenfalls simulativ, indem die Startbestände in unterschiedlichen Dichten aufgebaut und projiziert werden. Dazu wird jeder der 241 Bestände wie für die Ertragstafelsimulation mit einer Korrektur der Durchmesser- und d100-Verteilung in Dichten von 0,1 bis 1,6 Bestockungsgraden zu der Bezugs-ertragstafel (mäßige Hochdurchforstung) aufgebaut. Der erzeugte Bestand wird für die Dauer von 5 Jahren im Wachstum simuliert, wobei keine Eingriffe vorgenommen werden, kein Einwuchs projiziert wird sowie die Mortalitätsroutine vor dem Wachstum ausgeführt wird. Der Zuwachs ergibt sich aus der Differenz der Volumina.

Die Darstellung der Zuwächse über dem natürlichen Bestockungsgrad zeigt, dass die Simulationsergebnisse den Gesetzmäßigkeiten der optimalen Grundflächenhaltung nach ASSMANN (1961) entsprechen (Abb. 7).

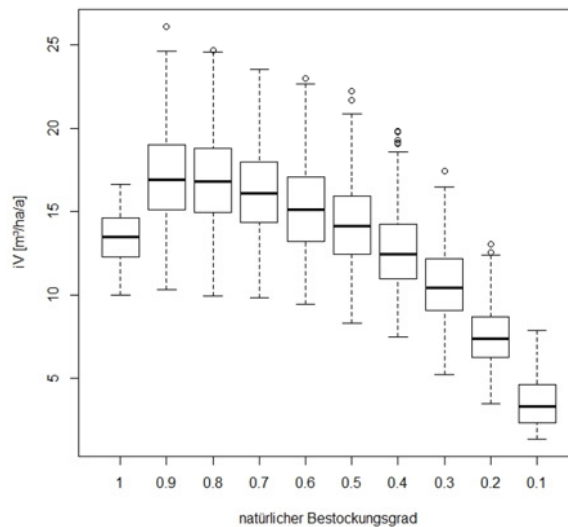


Abb. 7: Simulierter Volumenzuwachs über dem natürlichen Bestockungsgrad.

Die Darstellung in Abbildung 7 ist eine Auswertung über alle Altersklassen. Eine nach Altersklassen differenzierte Analyse ergibt einen deutlichen Assmann-Effekt in jüngeren Beständen, der mit zunehmendem Alter nachlässt und im hohen Alter nicht mehr nachweisbar ist. Weitere Analysen zeigen, dass die Simulationsergebnisse in Übereinstimmung mit dem von PRETZSCH (2005) nachgewiesenen Dimensions- und Standorteffekt sind. Die Unterschiede in den abgeleiteten Reduktionsfaktoren hinsichtlich Bestandesalter und Bonität werden jedoch zugunsten einer einfachen Handhabung der Ertragstafeln in der Dokumentation nicht berücksichtigt, vielmehr werden generalisierte Reduktionsfaktoren nur in Abhängigkeit vom Bestockungsgrad angegeben.

Der in der neuen Ertragstafel ausgewiesene Zuwachsreduktionsfaktor wird bezogen auf die Grundflächenhaltung der Tafel mäßige Durchforstung berechnet. Der Reduktionsfaktor ergibt sich

durch die Differenz des Zuwachses bei einem gegebenen Bestockungsgrad zu dem Zuwachs bei einem Bestockungsgrad von 1,0 (Abb. 8).

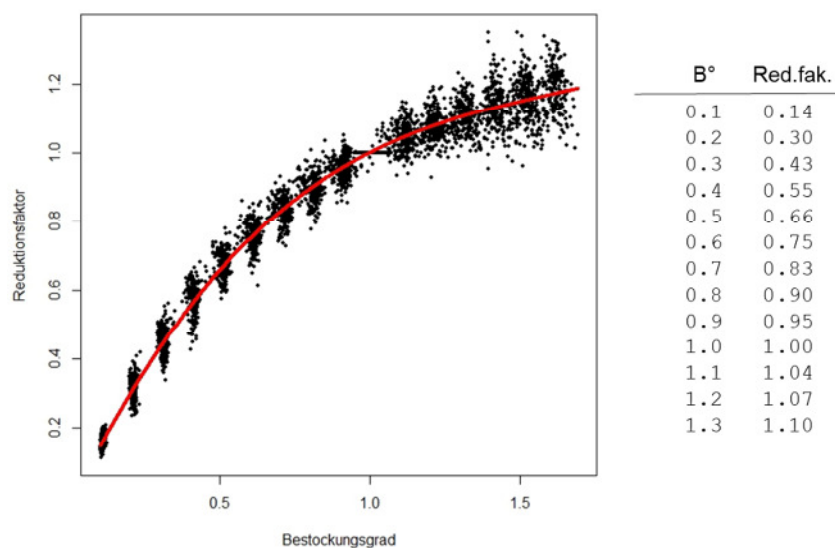


Abb. 8: Herleitung der Zuwachsreduktionsfaktoren bezogen auf den Bestockungsgrad 1,0 der Tafel mäßige Hochdurchforstung.

Im Gegensatz zu den alten Zuwachsreduktionstabellen (vgl. KRAMER und AKÇA 1987, S. 202), bei denen ab einem Bestockungsgrad über 1,0 der Zuwachs nicht mehr korrigiert wird, steigt in der Simulation der modellierte Zuwachs an und folglich sind Zuwachskorrekturfaktoren nötig (Abb. 8).

4 Diskussion und Ausblick

Grundsätzlich werden als Gültigkeitszeitraum für die abgeleiteten Ertragstafelwerte die nächsten ca. 20 Jahre angesehen. Danach werden sich höchstwahrscheinlich die Standortsverhältnisse derart verändert haben, dass sowohl die Zuwachsfunktionen des hier eingesetzten Waldwachstumssimulators neu parametrisiert als auch die hergeleiteten Ertragstafelgrößen neu berechnet werden müssen. Die zeitliche Veränderung kommt in der Bezeichnung „eine neue Generation *dynamischer* Ertragstafeln“ zum Ausdruck und verdeutlicht die bereits angedachte Erneuerung.

Der Umstand sich verändernder Standortsbedingungen in Zeiträumen deutlich unterhalb einer Umtriebszeit erbringt allerdings nicht nur die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Überprüfung und Neuauflage der Ertragstafeln, sondern er schränkt den unmittelbaren Gebrauch jeder Ertragstafel ein. Je länger der Planungszeitraum, für den die Tafelwerte als ertragskundliche Grundlage dienen, desto stärker wird die reale Entwicklung von den in den Tafeln abgebildeten Wachstumsgängen abweichen. Dies gilt es insbesondere bei der Anwendung der Ertragstafel als ökonomischem Produktionsmodell oder im Rahmen der Waldbewertung zu berücksichtigen. Andere Modellansätze, die eher auf geozentrischer Bonitierungsgrundlage arbeiten und die Dynamik in den Standort-Leistungsbeziehungen berücksichtigen (vgl. BONTEMPS und BOURIAUD 2013; DĂNESCU et al. 2017; SCHMIDT 2019) erscheinen besser geeignet, diese, einen eher langfristigen Zeitraum umspannenden Fragestellungen zu bearbeiten.

Die „neue Generation dynamischer Ertragstafeln“ wird neben der hier beschriebenen Buche ebenso die Baumarten Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie behandeln. Darüber hinaus sollen Korrekturfaktoren für den potenziellen Mehr- bzw. Minderzuwachs in Mischbeständen, wie von PRETZSCH (2016) vorgeschlagen, hergeleitet werden.

Abschließend ist festzustellen, dass der hier aufgezeigte Weg, eine Kombination aus Versuchsflächendaten und einzelbaumbasierter Waldwachstumssimulation in Zeitscheiben, geeignet erscheint, ein System von Funktionsgleichungen zu parametrisieren, mit dem Ertragstafelgrößen berechnet werden können. Eine direkte und ausschließliche Verwendung von Versuchsflächendaten für die Ertragstafelkonstruktion scheitert daran, dass keine ausgeglichene Datenstruktur von beobachteten Bonitäten über dem Alter vorhanden ist und zusätzlich die Anzahl von Versuchsflächen, die entsprechend den empfohlenen Waldbaukonzepten mäßige, starke und insbesondere gestaffelte Hochdurchforstung behandelt wurden, recht gering ist. Insbesondere die empfohlenen Durchforstungs-

und Nutzungskonzepte als orientierende Norm bedingen auch, dass eine reine Kalibrierung bestehender Ertragstabellen (vgl. STAUPENDAHL und SCHMIDT 2016) nicht die Zielsetzungen der neu zu erstellenden Ertragstabellen erfüllen.

Folgende vier Schlussfolgerungen werden im Hinblick auf die Erstellung und Anwendung einer „neuen Generation dynamischer Ertragstabellen“ gezogen. (1) Wie alle bisherigen Ertragstabellen stellen die neuen Tabellen einfache Wachstums- und Behandlungsmodelle dar und dienen als orientierende Norm für die Forstwirtschaft mit klarer praxisbezogener Aussage. (2) Die Nützlichkeit ihrer Anwendung ist umso größer, je geringer die quantitative Datengrundlage, z.B. aus Inventuren, im Betrieb für waldwachstumskundliche und forstplanerische Fragestellungen ist. (3) Andere Modelle, wie z.B. einzelbaumbasierte Waldwachstumssimulatoren, können bei entsprechender Datengrundlage detailliertere Informationen zur Waldentwicklung liefern. Sie zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität aus, z.B. hinsichtlich zu erstellender Szenarien. Dies kann andererseits für den Nutzer ein Problem darstellen, da anders als bei Ertragstabellen keine Norm vorgegeben wird. Eine objektive, nachvollziehbare Planung anhand von Referenzwerten ist somit erschwert. (4) Die Limitationen des Ertragstafelansatzes sind klar zu benennen: je länger der Planungshorizont, desto stärker sind die Auswirkungen von Standortsveränderungen und Ausfällen durch abiotische und biotische Störereignisse. Auch zunehmende Ungleichaltrigkeit der Bestände kann von Ertragstabellen nicht adäquat abgebildet werden. Solche Fragestellungen erfordern alternative Planungsinstrumente.

5 Zusammenfassung

Veränderte Standortbedingungen und neue waldbauliche Bewirtschaftungskonzepte lassen eine grundlegende Überarbeitung der in der Forstpraxis verbreiteten aktuellen Ertragstabellen sinnvoll und notwendig erscheinen. Auf der Grundlage ertragskundlicher Versuchsflächen der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt werden mit den statistischen Waldwachstumsfunktionen der TreeGrOSS-Bibliothek neue Ertragstabellen für die Baumarten Buche, Eiche, Fichte, Kiefer und Douglasie hergeleitet. Ziel ist es, sowohl für Reinbestände als auch für definierte Baumartenmischungen ein praxistaugliches Planungsinstrument im Anhalt an die traditionellen Tafelwerke zu erstellen. Die zukünftigen Standortveränderungen sollen durch eine „dynamische“ Neuparametrisierung der Wachstumsfunktionen und entsprechend neu abgeleiteter Tafelwerte im ca. 20-jährigen Turnus berücksichtigt werden.

Der Beitrag stellt das Konzept und die zugrunde liegenden Funktionalitäten zur Herleitung der neuen Ertragstabellen am Beispiel der Baumart Buche vor.

Abstract

The commonly used yield tables in Germany need to be adapted to changing site conditions, for example triggered by nitrogen deposition and climate change, and to the new, currently recommended silvicultural management concepts. Based on experimental plots of the Northwest German Forest Research Institute and using the growth functions of the TreeGrOSS library new yield tables for European beech, Pedunculate and sessile oak, Norway spruce, Scots pine and Douglas-fir are derived. The new yield tables apply to pure even-aged stands, but correction factors are derived for species mixtures as well. The new yield tables like the previously used ones serve as guidance for practical forestry and provide orientation. Future changes in site will be covered by a “dynamic” reparameterization of the growth functions and new yield tables, respectively, after about 20 years.

This paper illustrates the concept and functionalities to derive the new yield tables taking European beech as an example.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 22027816 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. BLV Verlagsgesellschaft, München, Bonn, Wien. 490 S.
- BONTEMPS J.-D., BOURIAUD O. (2013): Predictive approaches to forest site productivity: recent trends, challenges and future perspectives. *Forestry* 2014; 87, 109–128, doi:10.1093/forestry/cpt034
- DĂNESCU A., ALBRECHT A. T., BAUHUS J., KOHNLE U. (2017): Geocentric alternatives to site index for modeling tree increment in uneven-aged mixed stands. *Forest Ecology and Management*, Volume 392, 15: 1-12: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2016.06.005>
- HANSEN, J. und NAGEL, J. (2014): Waldwachstumskundliche Softwaresysteme auf Basis von TreeGrOSS - Anwendung und theoretische Grundlagen. Beiträge aus der NW-FVA, Band 11, 224 S.
- KRAMER, H. und AKÇA, A. (1987): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main. 287 S.
- PRETZSCH, H. (2001): Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Blackwell-Wissenschafts-Vlg. Berlin, 380 S.
- PRETZSCH, H. (2005): Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): evidence from long-term experimental plots. *Eur.J.Forest Res.*, 124: pp. 193-205.
- PRETZSCH, H., BIBER, P., SCHÜTZE, G., UHL, E., RÖTZER, T. (2014): Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*.
- PRETZSCH, H. (2016): Ertragstafel-Korrekturfaktoren für Umwelt- und Mischungseffekte. *AFZ/Der Wald* 14: 47-50.
- RÖHLE, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern. *Mitt. aus der Staatsforstverwaltung Bayerns*, 48. Heft. 272 S.
- SCHMIDT, M. (2019): Standortsensitive und kalibrierbare Bonitätsfächer: Wachstumspotenziale wichtiger Baumarten unter Klimawandel. *AFJZ*, eingereicht.
- SCHÖBER, R. (1995): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl., J. D. Sauerländers Verlag, Frankfurt a. M., 166 S.
- SPIECKER, H.; Mielikäinen, K.; Köhl, M. und Skovsgaard, J.P. (Eds.) (1996): Growth Trends in European Forests. *European Forest Institute Research Report*, No. 5, Springer: 372 p.
- STAUPENDAHL K., Schmidt M. (2016): Kalibrierung der Ertragstafeln für die Hauptbaumarten in Hessen mithilfe der Daten der Bundeswaldinventur. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 187(9/10):197-216.