

Eine neue Generation von Ertragstafeln

Die klassischen Ertragstafeln helfen Forstbetrieben seit langer Zeit bei der Planung, Bewirtschaftung und Bewertung der Wälder. Eine Überarbeitung der etablierten Ertragstafelsammlung von Schober [18] ist aufgrund des deutlich gestiegenen Zuwachsniveaus durch veränderte Standortbedingungen und gewandelter waldbaulicher Behandlungsprinzipien geboten. Die Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) stellt mit einer neuen Generation von Ertragstafeln für die Baumarten Eiche, Buche, Fichte, Douglasie und Kiefer jetzt ein nach den klassischen Vorbildern aufgebautes aktuelles Planungsinstrument zur Verfügung.

TEXT: MATTHIAS ALBERT, JÜRGEN NAGEL, MATTHIAS SCHMIDT, RALF-VOLKER NAGEL, HERMANN SPELLMANN

Die erste Ertragstafelgeneration, beginnend mit den örtlichen Erfahrungstabellen [12], basierte auf einer geringen Datengrundlage und hatte eine recht beschränkte regionale Gültigkeit. Die zweite Ertragstafelgeneration erfuhr eine Vereinheitlichung der Datengrundlagen und Konstruktionsmethodik mit einer Bindung an „normale“ Bestände [6]. Prominente Beispiele für diese

Großgebietsertragstafeln stammen von Schwappach [15] sowie deren Weiterentwicklungen durch Schober und Wiedemann [16, 23]. Die dritte Generation der Ertragstafeln, beginnend mit den Arbeiten von Assmann und Gehrhardt [2, 7], verwendet biometrisch-statistische Modelle, um aus Versuchsflächenbeobachtungen die Ertragstafelverläufe der Bestandesgrößen abzuleiten. Auch

viele neuere Ertragstafeln folgen dieser Methodik [vgl. 3, 4, 5, 9, 10, 14, 21].

Die Herleitung der neuen, vierten Generation von Ertragstafeln für die fünf Hauptbaumarten Eiche (*Quercus petraea* [Mattuschka] Liebl. resp. *Quercus robur* L.), Buche (*Fagus sylvatica*, L.), Fichte (*Picea abies*, [L.] Karst), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*, [Mirb.] Franco) und Kiefer (*Pinus silvestris*, L.)

Wie sind die Ertragstafeln aufgebaut?

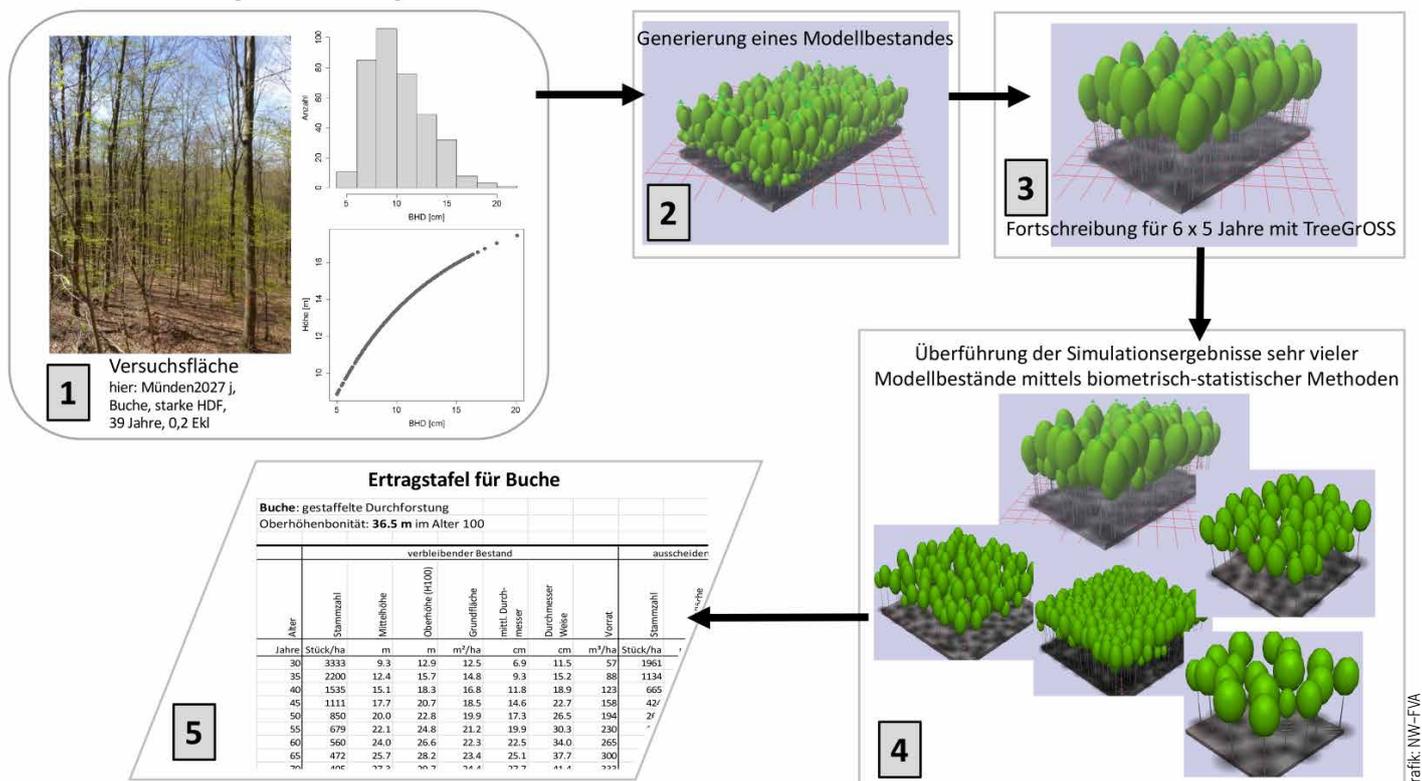


Abb. 1: Konstruktionsprinzip der neuen Ertragstafelgeneration als Kombination aus Versuchsflächenbeobachtungen und Waldwachstumssimulationen

Welche Datengrundlage wurde verwendet?

Tab. 1: Datengrundlage für die Ertragstafelerstellung für die fünf Hauptbaumarten: Anzahl der generierten Modellbestände mit ihren Alters- und Oberhöhenbonitätskennwerten

	Anzahl Modellbestände ¹⁾	Alter zu Beginn der Projektion [Jahre]			Oberhöhenbonität h_{100} [m]		
		Min.	Mittelwert	Max.	5%-Quantil	Mittelwert	95%-Quantil
Eiche	463 [101]	17	74	170	19,4	27,3	36,4
Buche	241 [61]	25	63	110	26,7	33,1	40,4
Fichte	278 [61]	19	42	99	30,1	37,9	42,2
Douglasie	478 [290]	15	40	77	35,1	41,7	47,8
Kiefer	142 [32]	16	43	96	24,9	30,6	35,7

¹⁾Die Anzahl ergibt sich aus der in Klammern angegebenen Anzahl von Versuchspartellen, multipliziert mit den verwendeten Aufnahmen abzüglich ausgesonderter Startkonstellationen.

geht über das Prinzip eines biometrisch-statistischen Ausgleichs von empirischen Beobachtungen hinaus, indem Versuchsflächendaten mit einem Einzelbaumwachstumssimulator jeweils für 30 Jahre fortgeschrieben werden.

Seit den ersten Ertragstafeln wurde die Methodik der Herleitung der Tafelwerke immer wieder angepasst, der ursprüngliche Aufbau blieb jedoch weitgehend unverändert. Auch die neuen Ertragstafeln der NW-FVA sind nach den klassischen Vorbildern aufgebaut.

Konstruktionsprinzip

Die Datengrundlage zur Herleitung der Ertragstafeln basiert auf Versuchsflächenbeobachtungen (Abb. 1, Schritt 1). Aus den empirischen Daten einer Versuchsfläche wird ein künstlicher Modellbestand generiert, der einer definierten Grundflächenhaltung entspricht und die Dimensionsverteilungen (BHD, Höhe etc.) der Versuchsfläche aufweist (Abb. 1, Schritt 2). Dieser generierte Modellbestand wird mit dem Einzelbaumwachstumssimulator TreeGrOSS [8, 19] in sechs Fünfjahresschritten fortgeschrieben (Abb. 1, Schritt 3). Auf diese Weise wird eine Vielzahl an unterschiedlichen Modellbeständen erzeugt und die resultierenden Simulationsergebnisse werden mittels biometrisch-statistischer Funktionsgleichungen in Altersverläufe der Ertragstafelparameter überführt (Abb. 1, Schritt 4). Das Ergebnis ist eine klassisch aufgebaute Ertragstafel (Abb. 1, Schritt 5).

Dieses Vorgehen hat zwei entscheidende Vorteile: Zum einen wird das Wachstum mit den Zuwachsfunktionen von TreeGrOSS auf dem aktuell herrschenden Zuwachsniveau projiziert, was aufgrund der sich ändernden

Standortverhältnisse bei langfristigen Versuchsflächen für weit zurückliegende Aufnahmen nicht gegeben wäre. Zweitens kann im Waldwachstumssimulator die von der NW-FVA empfohlene waldbauliche Behandlung einer gestaffelten Hochdurchforstung abgebildet werden, während die empirische Datenbasis für diese waldbauliche Vorgehensweise für eine Ertragstafelerstellung zu gering ist.

Datengrundlage und Gültigkeitsbereich

Die Erstellung der Ertragstafeln basiert auf zwei grundlegenden Festlegungen:

1. *Es wird ein mittleres Ertragsniveau abgebildet und*
2. *Es wird ein in der Jugend modifizierter, funktionalisierter Bonitätsfächer auf Basis der baumartenspezifischen Alters-Oberhöhen-Beziehungen der Ertragstafelsammlung von Schober angewendet [20].*

Die Datengrundlage stammt von ertragskundlichen Versuchsflächen der NW-FVA. Es wurden Versuchspartellen verwendet, die konsequent hochdurchforstet wurden und somit der abzubildenden waldbaulichen Norm einer gestaffelten Hochdurchforstung möglichst nahe kommen. Ziel war es dabei, ein möglichst breites Alters- und Bonitätsspektrum abzubilden. Anhand dieser Versuchsflächendaten wurden die mit dem Einzelbaumwachstumssimulator fortzuschreibenden Modellbestände generiert. Die entsprechenden Kennwerte der Modellbestände für die fünf Hauptbaumarten sind in Tab. 1 aufgelistet.

Der Altersbereich der Modellbestände deckt, insbesondere nach deren 30-jähriger Fortschreibung, den Gültigkeitsbereich der zu erstellenden Ertragstafeln

gut ab, nämlich vom Beginn der Durchforstungseingriffe bis zur einsetzenden End-/Zielstärkennutzung. Das Bonitätspektrum der verwendeten Versuchsflächen reicht bei Eiche von der -I. bis zur III., bei Buche von der -I. bis zur II,5., bei Fichte von der -I. bis zur II., bei Kiefer von der 0,5. bis zur II. und bei Douglasie von der 0,5. bis zur III. Ertragsklasse. Zur Validierung der Ergebnisse wurde auf eine weitaus größere Zahl Versuchsflächen zurückgegriffen.

Schneller ÜBERBLICK

Die neuen Ertragstafeln ...

- » bilden das aktuelle Zuwachsniveau ab
- » beschreiben ein mittleres Ertragsniveau
- » unterstellen einen in der Jugend modifizierten Bonitätsfächer auf Basis der baumartenspezifischen Alters-Oberhöhen-Beziehungen der Ertragstafelsammlung von Schober [18]
- » unterstellen eine gestaffelte Hochdurchforstung als waldbauliche Norm
- » beziehen sich nur auf den Oberstand (Gesamtheit aller Bäume, deren Höhe > 50 % der Bestandesoberhöhe (h_{100}) ist)
- » geben eine Grundflächenhaltung vor, die den Bestockungsgrad von 1,0 definiert
- » sollten nur für Planungszeiträume bis 20 Jahre angewendet werden
- » haben einen räumlichen Gültigkeitsbereich für Nordwestdeutschland
- » sehen eine periodische, in Zeitintervallen von ca. 10 bis 20 Jahren durchzuführende Neuparametrisierung der Zuwachsfunktionen und eine Überarbeitung der Ertragstafelwerte vor
- » sind auf der Internetseite der NW-FVA verfügbar

Oberhöhenbonitäten und Ertragsklassen

Tab. 2: Die absoluten Oberhöhenbonitäten in den Ertragstafeln und die korrespondierenden relativen Ertragsklassen (gerundet) nach [18]

	H100 [m]	Ekl
Eiche	33	-I
	30	0
	27	I
	24	II
	21	III
Buche	40.5	-I
	36.5	0
	32.5	I
	28.5	II
	24.5	III
Fichte	43	-I
	39	0
	35	I
	31	II
	27	III
Douglasie	50	0
	45	I
	40	II
	35	III
Kiefer	37	-I
	33	0
	29	I
	25	II
	21	III

Die herangezogenen Versuchsflächen stammen weit überwiegend aus dem heutigen Zuständigkeitsbereich der NW-FVA in den Bundesländern Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein sowie aus den Bundesländern Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland, in denen die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt (NFV) auf ausgewählten Versuchsflächen früher zuständig war und die noch heute in Beobachtung der NW-FVA stehen. Die neuen Ertragstafeln haben somit einen räumlichen Gültigkeitsbereich für Nordwestdeutschland. Es handelt sich um Großgebietstafeln.

Waldbauliches Behandlungskonzept

Das in den Ertragstafeln abgebildete Behandlungskonzept zielt darauf ab, stabile, vertikal und horizontal strukturierte Bestände guter Qualität zu erzie-

Grundflächenentwicklung bei Buche

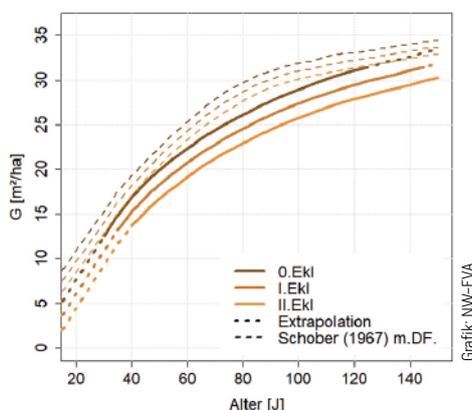


Abb. 2a: Grundflächenentwicklung gemäß der neuen Buchenertragstafel; gestaffelte Durchforstung (durchgezogene Linien) und als Referenz die Verläufe laut Buchenertragstafel Schober (1967), mäßige Durchforstung (gestrichelte Linien)

hen, die eine möglichst risikoarme Entwicklung der Volumen- und Werterzeugung gewährleisten und Handlungsspielräume für die Verjüngungsphase schaffen (vgl. Waldbaumerkblätter [11]). Dazu wird das von der NW-FVA empfohlene Konzept einer gestaffelten Hochdurchforstung umgesetzt, welches bei den ersten Eingriffen starke Durchforstungen im Herrschenden zur konsequenten Förderung einer baumartenspezifisch bemessenen Anzahl von Z-Bäumen, danach einen Übergang zu mäßigen, die Z-Bäume pflegenden und den Bestandesschluss erhaltenden Eingriffen vorsieht und schließlich mit Einsetzen der End-/Zielstärkennutzung ausläuft. Die Phase der End-/Zielstärkennutzung selbst ist in den Tafeln nicht abgebildet.

Maßgebliches Kriterium für die Durchforstungsstärke ist die in bestimmten Altern bzw. bei bestimmten Oberhöhen anzustrebende Grundflächenhaltung im Oberstand. Der Unter-

Vorratsentwicklung bei Buche

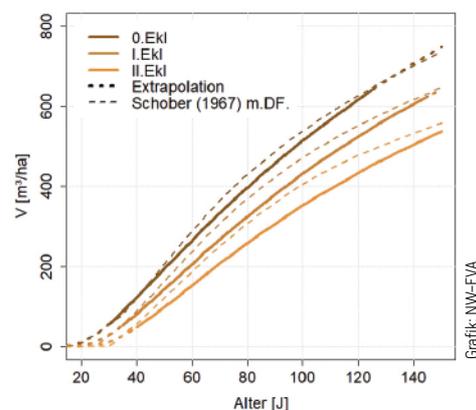


Abb. 2b: Vorratsentwicklung gemäß der neuen Buchenertragstafel; gestaffelte Durchforstung (durchgezogene Linien) und als Referenz die Verläufe laut Buchenertragstafel Schober (1967), mäßige Durchforstung (gestrichelte Linien)

stand, definiert im Anhalt an Assmann [1] als die Bäume, deren Höhe $\leq 50\%$ der Oberhöhe (H_{100}) des Bestandes in gegebenem Alter ist, wird nicht bei der Bemessung der Eingriffsstärken und auch nicht in den Grundflächenangaben der Ertragstafeln für den verbleibenden und ausscheidenden Bestand berücksichtigt.

Die vorgegebene Grundfläche des verbleibenden Bestandes ist die Bezugsgröße und definiert den Bestockungsgrad B^0 von 1,0 für die neuen Ertragstafeln.

Bonitierung

Die Bonitierung der Bestände erfolgt mittels des Bestandesalters und der Oberhöhe (H_{100}) anhand der den Ertragstafeln zugrunde liegenden Bonitätsfächer. Die Ertragstafeln sind nach absoluten Oberhöhenbonitäten im Alter 100 gegliedert. Die Beziehungen der absoluten Oberhöhen zu den relativen Ertragsklassen laut Ertragstafelsammlung nach Schober [18] sind in Tab. 2 aufgeführt.

Aufbau der Ertragstafeln

Die Ertragstafeln stellen für verschiedene absolute Oberhöhenbonitäten die Entwicklungen der ertragskundlichen Bestandeskennwerte – getrennt nach verbleibendem und ausscheidendem Bestand – in Fünfjahresschritten dar. Die Angaben beginnen mit der Fünfjahres-Altersperiode, in dem der Bestand

FÖRDERUNG

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (Förderkennzeichen 22027816) durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Buche: gestaffelte Durchforstung

Tab. 3 Oberhöhenbonität: 36,5 m im Alter 100

(Albert, M., Nagel, J., Schmidt, M., Nagel, R.-V. und Spellmann, H., 2021)

Alter [Jahre]	verbleibender Bestand							ausscheidender Bestand						
	Stammzahl [Stück/ha]	Mittelhöhe [m]	Oberhöhe (H100) [m]	Grundfläche [m ² /ha]	mittl. Durchmesser [cm]	Durchmesser Weise [cm]	Vorrat [m ³ /ha]	Stammzahl [Stück/ha]	Grundfläche [m ² /ha]	mittl. Durchmesser [cm]	Vorrat [m ³ /ha]	laufender Volumenzuwachs [m ³ /ha/J]	Gesamtwuchsleistung [m ³ /ha]	durchschnittl. Gesamtwuchs [m ³ /ha/J]
30	3.333	9,3	12,9	12,5	6,9	11,5	57	1961	7,2	6,8	29	11,2	121	4,0
35	2.200	12,4	15,7	14,8	9,3	15,2	88	1134	6,1	8,3	35	13,3	188	5,4
40	1.535	15,1	18,3	16,8	11,8	18,9	123	665	5,4	10,2	39	14,7	261	6,5
45	1.111	17,7	20,7	18,5	14,6	22,7	158	424	4,9	12,2	43	15,6	339	7,5
50	850	20,0	22,8	19,9	17,3	26,5	194	261	4,6	15,0	45	16,2	421	8,4
55	679	22,1	24,8	21,2	19,9	30,3	230	171	4,3	17,9	47	16,6	504	9,2
60	560	24,0	26,6	22,3	22,5	34,0	265	119	4,0	20,7	49	16,8	587	9,8
65	472	25,7	28,2	23,4	25,1	37,7	300	87	3,8	23,6	50	16,8	672	10,3
70	405	27,3	29,7	24,4	27,7	41,4	333	67	3,6	26,2	50	16,8	756	10,8
75	352	28,8	31,1	25,3	30,3	45,0	366	54	3,5	28,7	51	16,7	839	11,2
80	307	30,1	32,3	26,1	32,9	48,5	398	44	3,3	30,9	51	16,5	922	11,5
85	270	31,4	33,5	26,9	35,6	52,0	428	37	3,2	32,9	51	16,4	1.004	11,8
90	239	32,6	34,6	27,7	38,4	55,3	458	32	3,0	35,0	51	16,1	1.084	12,0
95	212	33,6	35,6	28,3	41,3	58,6	487	27	2,9	37,1	51	15,9	1.164	12,3
100	188	34,6	36,5	29,0	44,3	61,8	515	23	2,8	39,3	51	15,7	1.242	12,4
105	168	35,6	37,4	29,5	47,3	64,9	541	20	2,7	41,5	50	15,4	1.319	12,6
110	151	36,4	38,2	30,1	50,4	67,9	567	18	2,6	43,7	50	15,1	1.395	12,7
115	135	37,2	38,9	30,6	53,7	70,9	593	15	2,6	46,0	49	14,9	1.469	12,8
120	122	38,0	39,6	31,1	57,0	73,7	617	13	2,5	48,5	49	14,6	1.542	12,9
125	110	38,7	40,3	31,5	60,3	76,5	640	12	2,4	50,9	48	14,4	1.614	12,9

eine Oberhöhe (H_{100}) von 11 m erreicht bzw. überschritten hat und erstmals durchforstet wird. Die Angaben enden, wenn die Endnutzung mit Aufkommen zielstarker Bäume einsetzt oder die festgesetzte Altersobergrenze der Tafeln erreicht ist (Eiche = 180 Jahre, Buche = 150 Jahre, Fichte = 120 Jahre, Douglasie = 120 Jahre, Kiefer = 120 Jahre). Einen Auszug der neuen Buchenertragstafel zeigt Tab. 3. Die Grundflächen- und Vorratsentwicklungen mit Referenz zur Buchenertragstafel von Schober [17], mäßige Durchforstung, sind in Abb. 2 dargestellt.

Die Angaben des laufenden Zuwachses beziehen sich auf die der Zeile vorangehenden Fünfjahresperiode, z. B. entspricht der in der Ertragstafel Buche, Oberhöhenbonität 36,5 m, im Alter 50 angegebene laufende Volumenzuwachs von 16,2 m³/ha/J. einem 5-jährigen

periodischen Zuwachs von 81 m³/ha in der Altersperiode 45 bis 50 (vgl. Tab. 3). Dieser Bezug auf das Ende der Zuwachsperiode entspricht den Angaben der Fichten-Ertragstafel von Wiedemann [22], während sich der laufende Zuwachs in der Buchen-Ertragstafel von Schober [17] jeweils auf die der Zeile folgende Periode bezieht.

Anmerkungen zur Anwendung der Ertragstabelfn

Oberhöhenbonität und Alter

Bei der Anwendung der Ertragstabelfn kann zwischen den Oberhöhenbonitäten und den Altern linear interpoliert werden. Für Angaben außerhalb der in den Ertragstabelfn aufgespannten Bonitäts- und Altersrahmen sind die Möglichkeiten der linearen Extrapolation begrenzt.

Bestockungsgrad und Bestandesaufbau

Die Ertragstabelfn sind für gleichartige, vollbestockte Reinbestände konzipiert. Je stärker die realen Bestände von dieser Norm abweichen, desto ungenauer sind die Ertragstabelfnschätzungen.

Bei Abweichungen vom unterstellten Bestockungsgrad $B^{\circ} = 1,0$ (Grundflächenhaltung der gestaffelten Hochdurchforstung) sind die Zuwachskorrekturfaktoren anzuwenden, um den aus abweichenden Bestandesdichten resultierenden Mehr- bzw. Minderzuwachs zu berücksichtigen.

Auch Baumartenmischungen können zu signifikanten Mehr- bzw. Minderzuwachsen des Gesamtbestandes führen. Je intensiver die Mischungsform ist (Einzelmischung, trupp- bzw. gruppenweise Mischung), desto ungenauer sind die Ertragstabelfnschätzungen für

„Die forstliche Praxis verlangt nach aktualisierten Ertragstafeln. Die neue Generation von Ertragstafeln trägt den veränderten Umweltbedingungen sowie den weiterentwickelten Begründungs- und Pflegekonzepten Rechnung.“

MATTHIAS ALBERT

die jeweiligen ideellen Anteilflächen der Mischbaumarten. Pretzsch [13] hat daher für Baumartenmischungen Zuwachskorrekturfaktoren bei der Anwendung von Ertragstafeln vorgeschlagen.

Zusammengefasst

Die neuen Ertragstafeln beschreiben modellgestützt die Altersentwicklung mittlerer Bestandeskennwerte bei einer gestaffelten Hochdurchforstung. Sie dienen sowohl als Referenz zur Beurteilung von Waldzuständen als auch zur Planung und Kontrolle von forstwirtschaftlichen Maßnahmen. Für den derzeit noch großen Anteil an gleichaltri-

Literaturhinweise:

Download des Literaturverzeichnisses unter: www.forstpraxis.de/downloads

gen Reinbeständen und gering bzw. nicht intensiv gemischten Beständen in Deutschland bieten die neuen Ertragstafeln ein nützliches Instrument, das die veränderten Standortbedingungen berücksichtigt und ein empfehlenswertes waldbauliches Behandlungskonzept unterstellt.

Bei der Verwendung der Ertragstafeln muss jedoch stets bedacht werden, dass ihre Aussagekraft umso stärker limitiert ist, je struktureicher und gemischerter ein Waldbestand ist. Auch Bonitätsänderungen und Ausfallrisiken können in den dargestellten Altersverläufen der Ertragstafelgrößen nicht berücksichtigt werden.

Ein Fazit und wie es mit den Ertragstafeln weitergeht

Aufgrund der sich rapide ändernden Standortbedingungen sollten die Ertragstafeln nicht für langfristige Planungen bzw. Prognosezeiträume > 20 Jahre verwendet werden. Anwendungen über diesen Zeitraum hinaus können ggf. zu deutlichen Abweichungen zwischen den in der Ertragstafel unterstellten Standort-Leistungs-Beziehungen und deren künftiger Dynamik führen. Daher ist von der NW-FVA eine periodische, in Zeitintervallen von ca. 10 bis 20 Jahren durchzuführende Neuparametrisierung der modellbasierten Ertragstafeln vorgesehen, um den vor allem durch den Klimawandel weiter fortschreitenden Veränderungen der Standort-Leistungs-Beziehungen sowie waldbaulichen und methodischen Weiterentwicklungen Rechnung zu tragen.

Die neuen Ertragstafeln für die fünf Hauptbaumarten sowie die Zuwachskorrekturfaktoren sind vollständig auf der Internetseite der NW-FVA unter <https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/waldpflege-und-nutzung/neue-ertragstafeln-verfuegbar>.



PD Dr. Matthias Albert

Matthias.Albert@nw-fva.de

ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sachgebiet Wachstums- und Risikomodellierung der Abt. Waldwachstum an der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (NW-FVA).

Prof. Dr. Jürgen Nagel leitete das Sachgebiet bis zu seinem Eintritt in den Ruhestand 2020.

Dr. Matthias Schmidt ist sein Nachfolger.

Ralf-Volker Nagel leitet das Sachgebiet Ertragskunde.

Prof. Dr. Hermann Spellmann war bis zu seiner Pensionierung 2020 Direktor der NW-FVA und leitete die Abteilung Waldwachstum.

Wo der Wind weht, ist Erntezeit

Es liegt Zukunft in der Luft:
Sichern Sie sich langfristig
kulturnutze Einnahmen durch
Verpachtung oder Beteiligung.
Unabhängig von Marktpreisen
Wasser oder Wetter.

Tel: +49 5971-8609 49
mfhlerdy@cpc-germany.com



Wind, Wälder, Acker...
Wir suchen Ihre Fläche



land-check.cpc-germany.com

Echt Wild

JETZT BESTELLEN!

NUR 14,90 €
zzgl. Versand

pirsch.de/echtwild

PIRSCH