

# Ertragstafel-Korrekturfaktoren für Umwelt- und Mischungseffekte

Ertragstafeln sind die Meisterleistung der Forstwissenschaften des 19. und 20. Jahrhunderts und werden bis in die Gegenwart verwendet. Seit ihrer Entwicklung haben sich aber Wuchsbedingungen, Waldaufbauformen und Behandlungsprogramme grundlegend verändert. Wie können nun Fehler bei der Anwendung der Ertragstafeln bei der Inventur und Planung überschlägig korrigiert werden?

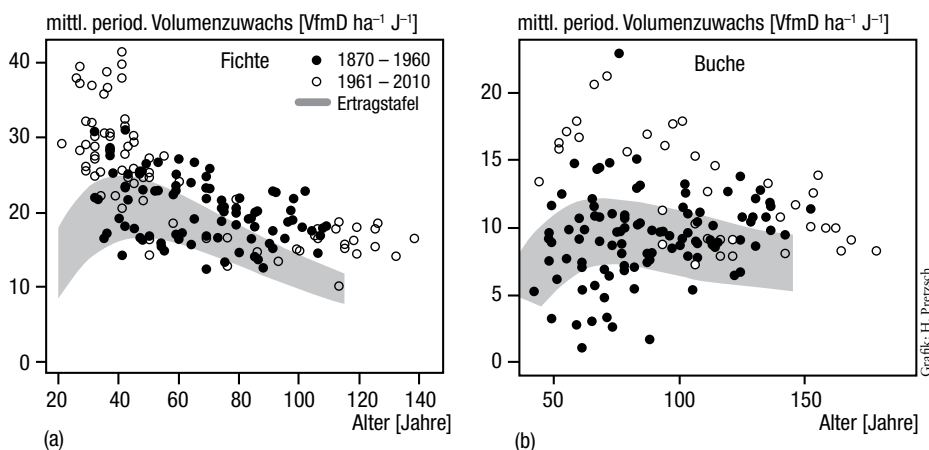


Abb. 1: Die Volumenzuwächse von Fichte und Buche liegen gegenwärtig oft über den Werten der Ertragstafeln (grau dargestellte Bereiche). Diese Tendenz hat seit 1960 deutlich zugenommen. Dargestellt sind auf langfristigen Versuchsflächen gemessene und den Tafeln nach erwartete Zuwächse von Fichte und Buche seit 1870. Dargestellt sind der gemessene periodische Volumenzuwachs ( $m^3 ha^{-1} J^{-1}$ ) bis 1960 (ausgefüllte Symbole) und nach 1960 (leere Symbole), verglichen mit gebräuchlichen Ertragstafeln für die Fichte (Oberhöhenbonitäten 2 – 40) und für die Buche (Ertragsklassen I – IV) nach [7, 8].

Hans Pretzsch

**P**ermanente Stichproben und Waldwachstumssimulatoren liefern gegenwärtig für einen Großteil der Wälder verlässliche ertragskundliche Basisdaten für die Inventur und Planung. Einzelbaumsimulatoren geben der forstlichen Planung Informationsgrundlagen zu Rein- und Mischbeständen aller Alterszusammensetzungen und für ein breites Spektrum unterschiedlicher waldbaulicher Behandlungen an die Hand [1, 2]. Insbesondere für ungleichaltrige Rein- und Mischbestände, wie sie von vielen Waldbauprogrammen angestrebt werden, sind die klassischen Ertragstafeln ungeeignet.

## Schätzung von Vorrat und Zuwachs

In gleichaltrigen Rein- und Mischbeständen kommen aber, insbesondere im

Kommunal- und Privatwald, auch immer noch Ertragstafeln zum Einsatz. Seit ihrer Entwicklung haben sich allerdings die Wuchsbedingungen, Waldaufbauformen und Behandlungsprogramme grundlegend

verändert. Im Folgenden wird gezeigt, wie Fehler bei der Anwendung der Ertragstafeln für die Zuwachsschätzung in gleichaltrigen Rein- und Mischbeständen pauschal korrigiert werden können.

## Richtwerte zur Korrektur der Volumenzuwächse

Im Vergleich zu der Zeit, in der die Ertragstafeln entwickelt wurden, wachsen Waldbestände in Mitteleuropa gegenwärtig schneller [3, 4]. Wissenschaftliche Untersuchungen führen die Beschleunigung primär auf die großregionale Temperaturerhöhung, die Verlängerung der Vegetationszeit, Nährstoffeinträge und Erhöhung der atmosphärischen  $CO_2$ -Konzentration zurück [5, 6].

Ertragstafeln basieren überwiegend auf Daten langfristiger Versuchsflächen und repräsentieren die Wuchsbedingungen und Bestandesdynamik der letzten ein bis zwei Jahrhunderte. Der Vergleich zwischen den gegenwärtig auf langfristigen Versuchsflächen gemessenen Zuwachswerten und den Ertragstafeln zeigt insbesondere für die Wachstumsraten (Abb. 1) und den stehenden Vorrat nach 1960 Überschreitungen der Ertragstafelwerte um 50 % bis 100 %. Diese Abweichungen zeigen grundlegende Veränderungen der Wuchsbedingungen an und stellen die Gültigkeit der Ertragstafeln infrage.

Tab. 1 zeigt für vier Baumarten die Erhöhung der Volumenzuwächse im Vergleich zu dem Zeitraum vor 1960, in welchem nahezu alle gängigen Ertragstafeln entwickelt wurden. Die in Tab. 1 angegebenen Korrekturfaktoren von 1,10 bis 1,30 sind als konservative Richtwerte zu verstehen. Werden die Volumenzuwächse der Ertragstafeln mit ihnen multipliziert, so ergeben sich wirklichkeitsnähere Volumenzuwächse. Die Befunde zur Erhöhung

### Schneller Überblick

- Aufgrund veränderter Wuchsbedingungen wachsen Waldbestände gegenwärtig je nach Baumart um 10 bis 33 % schneller
- Mischbestände aus sich ergänzenden Baumarten können um 11 bis 30 % über dem Zuwachs benachbarter Reinbestände liegen
- Überschlägige Korrekturfaktoren können solche Umwelt- und Mischungseffekte bei Inventur und Planung berücksichtigen

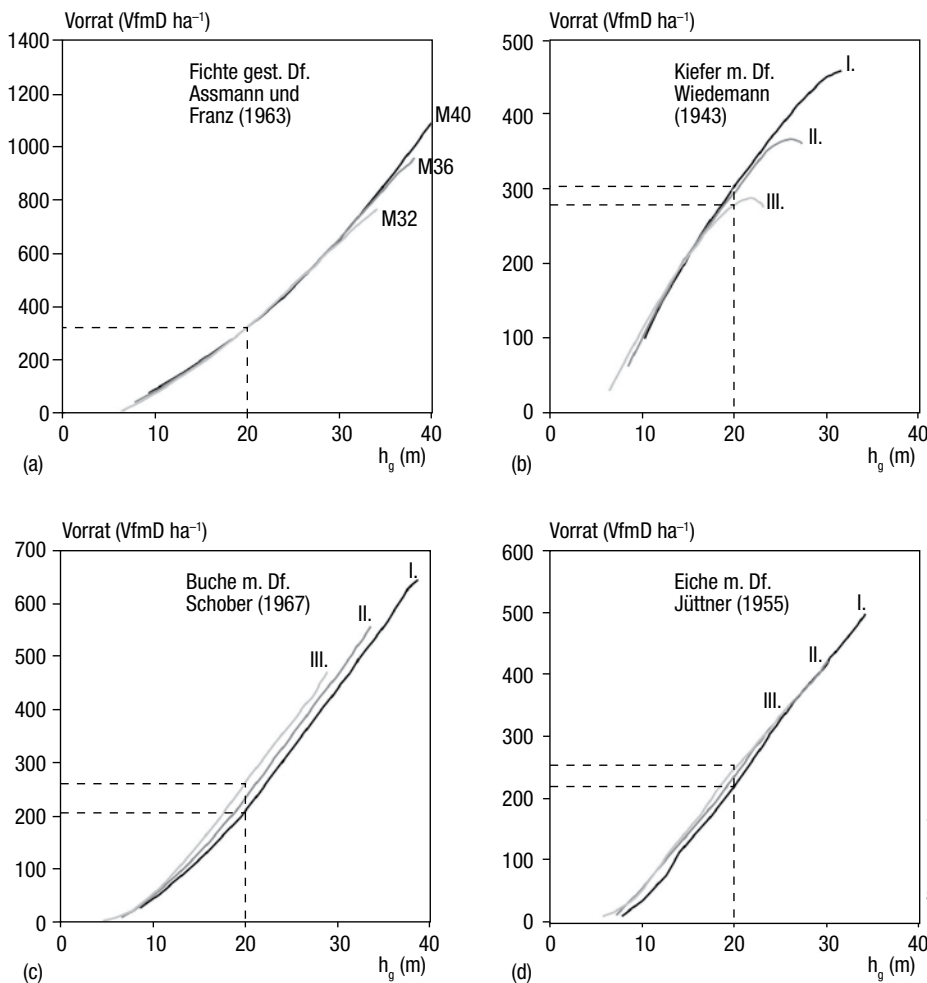


Abb. 2: Weil der Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und stehendem Vorrat (Eichhorn'sches Gesetz [10]) für verschiedene Bonitäten sehr ähnlich ist, eignen sich Ertragstafeln auch bei umweltbedingten Bonitätsänderungen noch immer für die Vorratsschätzung in Abhängigkeit von der Bestandeshöhe. Die gestrichelten Linien zeigen, dass die Vorräte von Beständen bester, guter und mittlerer Bonität bei einer Bestandeshöhe von 20 m ähnlich liegen. Noch bestehende Unterschiede im Vorrat können über Korrekturen mit dem Bestockungsgrad ausgeglichen werden. Dargestellt ist der Zusammenhang zwischen Bestandeshöhe und stehendem Vorrat für Fichte, Kiefer, Buche und Eiche bei verschiedenen Bonitäten nach gängigen Ertragstafeln [7, 11, 8 bzw. 12].

der Volumenzuwächse und Ableitung von Korrekturfaktoren gründen auf schwach und mäßig durchforsteten langfristigen Versuchsflächen in Mitteleuropa. Auf fruchtbareren Standorten und in jüngeren Beständen liegt die Zuwachsbeschleunigung und damit auch der Korrekturbedarf eher höher als auf ärmeren Standorten und in älteren Beständen [9].

### Gültigkeit der Ertragstafeln für die Vorratsermittlung

Waldbestände wachsen heute häufig mehr zu und erreichen in jüngerem Alter größere Höhen und Vorräte, was einer Verbesserung der Bonität entspricht. Was sich trotz dieser Beschleunigung wenig verändert hat, sind die allometrischen Grundzusammenhänge, z. B. der Zusammenhang zwischen Mittelhöhe und Bestandesvorrat, die u. a. für die Vorratsschätzung verwendet werden und direkt oder indirekt in den Ertragstafeln abgebildet sind. Die Bestände „durchteilen“ die Ertragstafeln aber wesentlich schneller als früher [3, 4].

Die oben genannten Bonitätsveränderungen dürften deshalb nur zu geringen Fehleinschätzungen bei der Vorratsermittlung führen. Abb. 2 zeigt, dass der Vorrat zumindest in einem breiten Bereich mittlerer Höhen zwischen den Bonitäten kaum variiert. Es gilt also annähernd der erstmals von Eichhorn [10] gefundene bonitätsübergreifende Zusammenhang zwischen Vorrat und Bestandeshöhe. Fehler bei Volumenermittlung durch doch noch bestehende Differenzen zwischen den Bonitäten können weiter reduziert werden, wenn die aus den Ertragstafeln abgegriffenen Vorratswerte mit dem wirklichen Bestockungsgrad korrigiert werden ( $Vorrat_{\text{geschätzt}} = Vorrat_{\text{ET}} \times BG_G$ ). Der grundflächenbezogene Bestockungsgrad ( $BG_G$ ) lässt sich besonders einfach über Winkelzählproben in dem betreffenden Bestand ermitteln ( $BG_G = G_{\text{WZP}}/G_{\text{ET}}$ ), wobei  $G_{\text{WZP}}$  und  $G_{\text{ET}}$  für die Bestandesgrundflächen aus der Winkelzählprobe bzw. Ertragstafel stehen.

*Buchenbestände wachsen gegenwärtig durchschnittlich 30 % schneller als Ertragstafeln, die die Wuchsbedingungen vor 1960 widerspiegeln.*

*Fichten-, Kiefern- und Eichenbestände können im Zuwachs um 10 %, 33 % bzw. 18 % über dem Niveau der Ertragstafeln liegen.*



Foto: Leonhard Steinacker

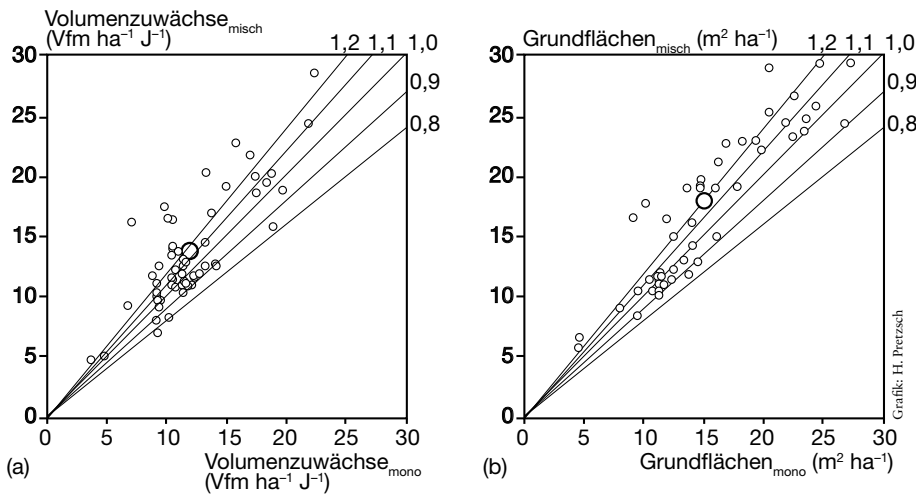


Abb. 3: In Mischung liegen die (a) mittleren periodischen Volumenzuwächse und (b) Bestandesgrundflächen um durchschnittlich 16 ( $\pm 4$ ) % bzw. 17 ( $\pm 3$ ) % über dem gewichteten Mittel benachbarter Reinstände. Bei Gleichheit von Rein- und Mischbestand lägen die Werte auf der Winkelhalbierenden (1,0-Linie), Werte über der 1,0-Linie zeigen erhöhte Zuwächse bzw. Bestandesdichten an. Ergebnisse für die Baumartenkombinationen Kiefer/Buche, Kiefer/Fichte, Lärche/Fichte und Eiche/Buche.

### Effekt der Mischung auf den Zuwachs und die Vorratshöhe von Waldbeständen

Reinbestandsertragstabellen werden mangels besser geeigneten Informationsgrundlagen häufig auch auf Mischbestände angewendet. Dabei werden die Anteile der einzelnen Baumarten (Mischungsanteile  $m_1, m_2, \dots, m_n$ ) und der Bestockungsgrad des gesamten Bestandes von Mischbeständen durch einen Vergleich der gemessenen Grundfläche mit den entsprechenden Angaben der Ertragstabellen für Reinstände berechnet (siehe Anteilflächenberechnung nach Kramer und Akça [13]). Weitere Charakteristika der Mischbestände werden dann üblicherweise aus den Reinstandstabellen abgegriffen, mit den berechneten Mischungsanteilen und dem Bestockungsgrad gewichtet, um Schätzwerte für Mischbestände zu erhalten [13].

Bei diesem Vorgehen wird unterstellt, dass sich die Zustands- und Entwicklungsgrößen von Mischbeständen als gewichtetes Mittel der Reinstände ergeben, die Mischung also lediglich einen additiven Effekt auf den Zuwachs und andere Bestandescharakteristika hat. Zahlreiche neuere Untersuchungen belegen aber multiplikative Effekte. Der Zuwachs und die Bestandesdichte von Mischbeständen können demnach das gewichtete Mittel von benachbarten Reinständen signifikant übertreffen. Für Kombinationen aus Licht- und Schattenbaumarten

(Kiefer/Buche, Kiefer/Fichte, Lärche/Fichte und Eiche/Buche) zeigt Abb. 3 beispielhaft eine solche Überlegenheit von Misch- gegenüber Reinständen für den mittleren periodischen Volumenzuwachs (a) und die Bestandesgrundfläche (b). Die Abbildung bezieht sich auf voll bestockte, nur schwach durchforstete Bestände und vermeidet so eine Überlagerung von Mischungs- mit Durchforstungseffekten.

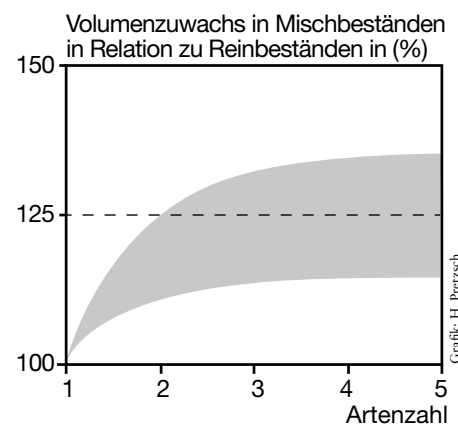


Abb. 4: Degressiver Anstieg der Bestandesproduktivität bei zunehmender Artenzahl in schematischer Darstellung. Der grau eingekreiste Korridor zeigt maximale Mehrzuwächse von 35 % bei Kombination mehrerer sehr komplementärer Baumarten und untere Rahmenwerte von 15 % bei weniger komplementären Arten. Zur Mischung von mehr als vier Baumarten gibt es in Mitteleuropa kaum Versuche.

Artenmischungen können den Zuwachs im Vergleich zum gewichteten Mittel der Reinstände im Mittel um 11 bis 30 % erhöhen (Tab. 2). Werden Baumarten mit relativ ähnlichen ökologischen Nischen gemischt (z. B. Fichte und Buche, Fichte und Tanne), so liegen die Mehrzuwächse eher im unteren Bereich des genannten Rahmens (Multiplikation der Tafelwerte mit 1,1). In sehr komplementären Mischungen (z. B. Kiefer und Buche, Lärche und Buche) werden deutlich höhere Werte erreicht (Multiplikation der Tafelwerte mit 1,2). Tab. 2 zeigt auf Versuchsfeldern gemessene Zuwachserhöhungen und daraus abgeleitete, konservativ gewählte Korrekturfaktoren gegenüber dem Zuwachs in Reinständen. Demnach sollten die Zuwachswerte der Reinstandsertragstabellen bei Anwendung auf Mischbestände mit einem Faktor von 1,1 bis 1,2 multipliziert werden. Die Korrekturfaktoren wurden aus Beständen abgeleitet, in denen beide Baumarten etwa zu gleichen Anteilen vertreten und in Einzel- bis Gruppenmischung assoziiert sind. Die durch Mischung verursachten Mehrzuwächse kommen zu den zuvor gezeigten Zuwachserhöhungen durch veränderte Wuchsbedingungen hinzu.

Bei diesen Korrekturfaktoren handelt es sich um grobe Richtwerte, die der weiteren Präzisierung in ihrer Abhängigkeit von Baumartenkombination, Bestandesalter und Standortbedingungen bedürfen. Die hier dargestellten Mischungseffekte wurden auf langfristigen Versuchsfeldern in Mitteleuropa gemessen, und sie stimmen in der Größenordnung mit Ergebnissen weltweiter Meta-Analysen, die Mehrzuwächse von 18 % [14] bzw. 23,7 % [15] berichten, gut überein. Sie reichen aber nicht an Mehrzuwächse von etwa 50 % heran, wie sie in Graslandssystemen [16] oder in Wäldern mit Beteiligung von stickstoffbindenden Arten [17] gemessen wurden.

Derartige, überschlägige Korrekturen eignen sich selbstverständlich nur für gleichaltrige und einschichtige Mischbestände. Die Zuwachsleistung von ungleichaltrigen, mehrschichtigen Mischbeständen sollte auf keinen Fall aus Ertragstabellen abgeleitet werden, weil Ungleichaltrigkeit und Mehrschichtigkeit weitere inner- und zwischenartliche Interaktionen auslösen, die in Ertragstabellen keinerlei Berücksichtigung finden.

Die Korrekturwerte für den Zuwachs gelten für die am häufigsten vorkommenden Mischbestände aus zwei Arten. Mit zunehmender Artenzahl nimmt der Mischungseffekt auf die Produktivität nur degressiv zu und nähert sich asymptotisch einem Maximalwert (Abb. 4). Während also eine 2-Arten-Mischung gegenüber Reinbeständen besonders merkbare



Foto: Leonhard Steinacker

Mehrzuwächse (z. B. 10 bis 25 %) auslösen kann, steigt der Mehrzuwachs bei Beimischung einer zusätzlichen Art nicht in gleichem Maße weiter an (z. B. nur um weitere 5 %). Denn die ökologischen Nischen werden mit jeder hinzukommenden Art immer vollständiger ausgefüllt, sodass immer weniger zusätzliche Ressourcen ausgeschöpft und damit auch weniger Mehrzuwächse erbracht werden können [18]. In Mischbeständen aus drei oder vier Arten (z. B. Eiche/Kiefer/Buche, Fichte/Tanne/Buche/Ahorn) wurden in Süddeutschland Mehrzuwächse gegenüber dem gewichteten Mittel benachbarter Reinbestände von 24 bis 43 % gemessen [18].

### Effekt der Baumartenmischung auf den Bestandesvorrat

Mischbestände können mit zunehmender Komplementarität der ökologischen Nischen ihrer Baumarten auch höhere Bestandesdichten erreichen als Reinbestände [19, 20]. Komplementarität kann erreicht werden durch Mischung von

*Mischbestände aus Buche und Douglasie oder anderen sich ergänzenden Baumarten können um 10 bis 30 % über dem Zuwachs benachbarter Reinbestände liegen.*

- Licht- mit Schattenbaumarten,
- Nadel- mit Laubbaumarten,
- Flach- mit Tiefwurzlern,
- früh- mit spätaustreibenden Baumarten oder
- Beimischung von stickstoffbindenden Arten.

Zahlreiche Untersuchungen in unbehandelten und nur schwach bis mäßig durchforsteten Beständen zeigen, dass die Bestandesdichte in Mischbeständen um circa 10 bis 30 % höher liegen kann als das gewichtete Mittel benachbarter Reinbestände. In Mischbeständen können also bei gleicher Bestandeshöhe um etwa 10 bis 30 % mehr Bäume, höhere Grundflächen und höhere Vorräte stehen. Das ist gleichbedeutend mit einer Zunahme des Ertragsniveaus. Entsprechend sollten die Vorratswerte der Reinbestandesertragstafeln bei Anwendung auf Mischbestände mit Faktor 1,1 bis 1,3 multipliziert wer-

den. Aufgrund dieser Dichteüberlegenheit ist bei der Anwendung der Ertragstafeln für die Vorratsschätzung in gleichaltrigen Mischbeständen die Korrektur mit dem Bestockungsgrad besonders zu empfehlen. Auf Basis der Ertragstafeln ermittelte Vorräte werden dann nach Ermittlungen des Bestockungsgrades bei überlegenen Dichten der Mischbestände auf wirklichkeitsnähere Dichte mit dem gemessenen Bestockungsgrad ( $BG_G = G_{WZP}/G_{ET} > 1.0$ ) erhöht.

### Schlussfolgerungen

Welche Mechanismen der Veränderung des Bestandeswachstums durch Umweltbedingungen und Mischung zugrunde liegen, ist bisher nicht annähernd verstanden. Über die Größenordnung der Auswirkungen sind wir dank langfristiger Versuchsflächen aber relativ gut informiert. Die angegebenen Korrekturfaktoren spiegeln vorsichtige Schätzungen der mittleren Effektstärke wider, die natürlich räumlich und zeitlich erheblich variieren kann. Eine weitere Präzisierung nach Standorten, Baumarten etc. wird noch viel Forschungsarbeit erfordern. Die forstliche Praxis muss ihre Arbeit aber trotz unvollständiger Wissenslage fortsetzen – und dafür sind die überschlägigen Korrekturfaktoren gedacht.

Längerfristig werden durch die Kombination aus terrestrischen Inventuren mit Verfahren der Fernerkundung und prozessorientierter Modellierung immer genauere Informationsgrundlagen im Hinblick auf die räumliche und zeitliche Auflösung zur Verfügung stehen [22]. Die hier aufgeführten Korrekturfaktoren stellen also nur eine Übergangslösung dar.

Baumart	Fichte	Kiefer	Eiche	Buche	Mittel
Erhöhung (± SE) in %	10 (±9)	33 (±7)	18 (±5)	30 (±17)	20
Korrekturfaktor	1,10	1,30	1,10	1,20	1,20

Tab. 1: Mittlere Erhöhung des Volumenzuwachses im Vergleich zur Ertragstafel in % (± SE). Bei den empfohlenen Faktoren zur Korrektur der Ertragstafelwerte handelt es sich um eher konservative Richtwerte.

Baumartenkombination	Fichte/Buche	Kiefer/Buche	Eiche/Buche	Buche/Douglasie	Kiefer/Fichte	Lärche/Fichte	Fichte/Tanne	Mittel
Erhöhung (± SE) in %	21 (± 3)	30 (± 9)	20 (± 3)	11 (± 8)	21 (± 11)	25 (± 6)	13 (± 6)	
Korrekturfaktor	1,10	1,20	1,10	1,10	1,20	1,20	1,10	1,10

Tab. 2: Mischungseffekte auf den Volumenzuwachs verschiedener Baumartenkombinationen und Korrekturfaktoren für die Anpassung von Zuwachswerten der Reinbestandes-Ertragstafeln

### Literaturhinweise:

Das Literaturverzeichnis mit den Referenzen 1 bis 22 kann heruntergeladen werden von [http://web2.wzw.tum.de/wwk/fileadmin/publications/Literaturzusammenstellung\\_AFZ.pdf](http://web2.wzw.tum.de/wwk/fileadmin/publications/Literaturzusammenstellung_AFZ.pdf).

Prof. Dr. Dr. h. c. Hans Pretzsch, H.Pretzsch@lrz.tum.de, leitet den Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München und das Ertragskundliche Versuchswesen in Bayern.



Literaturverzeichnis zur Publikation „Korrekturfaktoren für Umwelt- und Mischungseffekte bei der Anwendung von Ertragstafeln auf gleichaltrige Rein- und Mischbestände“ von Hans Pretzsch, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde der Technischen Universität München, erschienen in AFZ-DerWald, 71. Jg., 2016.

- (1) Nagel, J., Duda, H., Hansen, J. (2006) Forest Simulator BWINPro7, Forst u. Holz, 61: 427-429.
- (2) Pretzsch, H., Biber, P., Ďurský, J. (2002) The single tree based stand simulator SILVA. Construction, application and evaluation. Forest Ecology and Management, 162: 3-21.
- (3) Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, Th. (2014) Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870, Nat. Commun. 5:4967 doi:10.1038/ncomms5967.
- (4) Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Bielak, K. (2014). Changes of forest stand dynamics in Europe. Facts from long-term observational plots and their relevance for forest ecology and management. Forest Ecology and Management, 316, 65-77.
- (5) Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J. P. (Hrsg.) (1996) Growth trends in european forests. Europ For Inst, Res Rep 5, Springer-Verlag, Heidelberg, 372 S.
- (6) Hunter, I., Schuck, A. (2002). Increasing forest growth in Europe—possible causes and implications for sustainable forest management. Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology, 136(2), 133-141.
- (7) Assmann, E., Franz, F. (1963) Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. Forstl Forschungsanst München, Inst Ertragskd, 104 S.
- (8) Schober, R. (1967) Buchen-Ertragstafel für mäßige und starke Durchforstung, In: Schober, R. (Hrsg.) (1972) Die Rotbuche 1971. Schr Forstl Fak Univ Göttingen u Niedersächs Forstl Versuchsanst 43/44, JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 333 S.
- (9) Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., Rötzer, Th. (2014) Veränderte Dynamik von süddeutschen Waldbeständen seit 1870, In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.) (2014) Das forstliche Versuchswesen in Bayern, LWF Wissen, 76: 72-87.
- (10) Eichhorn, F. (1902) Ertragstafeln für die Weißtanne. Verlag Julius Springer, Berlin, 81 S. + annex.
- (11) Wiedemann, E. (1943) Kiefern-Ertragstafel für mäßige Durchforstung, starke Durchforstung und Lichtung, In: Wiedemann, E. (1948) Die Kiefer 1948. Verlag M & H Schaper, Hannover, 337 S.
- (12) Jüttner, O. (1955) Eichenertragstafeln. In: Schober, R. (Hrsg.) (1971) Ertragstafeln der wichtigsten Baumarten. JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, S. 12-25, 134-138.

- (13) Kramer, H., Akça, A. (1995) Leitfaden zur Waldmeßlehre. JD Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 266 S.
- (14) Gritti, E. S., Castagneyrol, B., Drössler, L., Forrester, D. I., Mason, W., Morin, X., Pretzsch, H., Jactel, H. (in Begutachtung) Worldwide evidence of a positive diversity-productivity relationship in forests, which increases with precipitation.
- (15) Zhang, Y., Chen, H. Y., Reich, P. B. (2012). Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. *Journal of Ecology*, 100(3), 742-749.
- (16) Hector, A., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., Caldeira, C M., Diemer, M., Dimitrakopoulos, P. G., Finn, J. A., Freitas, H., Giller, P. S., Good, J., Harris, R., Högberg, P., Huss-Danell, K., Joshi, J., Jumpponen, A., Körner, C., Leadly, P. W., Loreau, M., Minns, A., Mulder, C. P., O'Donovan, G., Otway, S. J., Pereira, J. S., Prinz, A., Read, D. J., Scherer-Lorenzen, M., Schulze, E. D., Siamantziouras, A. S. D., Spehn, E. M., Terry, A. C., Troumbis, A. Y., Woodward, F. I., Yachi, S., and Lawton, J. H. (1999) Plant Diversity and Productivity Experiments in European Grasslands. *Science* 286: 1123-1127.
- (17) Forrester, D. I., Bauhus, J., Cowie, A. L. und Vanclay, J. K. (2006) Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: A review. *Forest Ecology and Management* 233: 211-230.
- (18) Pretzsch, H. (2013) Facilitation and competition in mixed-species forests analysed along an ecological gradient. *Nova Acta Leopoldina* 114 (391): 159-174
- (19) Pretzsch, H., Biber, P. (2016) Tree species mixing can increase maximum stand density. *Canadian Journal of Forest Research*, DOI: 10.1139/cjfr-2015-0413
- (20) Pretzsch, H., del Río, M., Ammer, Ch., Avdagic, A., Barbeito, I., Bielik, K., Brazaitis, G., Coll, L., Dirnberger, G., Drössler, L., Fabrika, M., Forrester, D. I., Godvod, K., Heym, M., Hurt, V., Kurylyak, V., Löf, M., Lombardi, F., Matović, B., Mohren, F., Motta, R., den Ouden, J., Pach, M., Ponette, Q., Schütze, G., Schweig, J., Skrzyszewski, J., Sramek, V., Sterba, H., Stojanović, D., Svoboda, M., Vanhellemont, M., Verheyen, K., Wellhausen, K., Zlatanov, T., Bravo-Oviedo, A. (2015) Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *Eur J Forest Res*, 134 (5): 927-947
- (21) Pretzsch, H., Grote, R., Reineking, B., Rötzer, T., Seifert, S. (2008) Models for forest ecosystem management: A European perspective. *Ann Bot* 101: 1065-1087.
- (22) Pretzsch, H., Rötzer, T. (2016). Indicating Forest Ecosystem and Stand Productivity: From Deductive to Inductive Concepts, pp. 415-444. In: Larocque, G. R. (Hrsg.) (2016) *Ecological Forest Management Handbook*, CRC Press, Taylor & Francis Group Boca Raton, Fl., London, New York.

Nachfragen bitte an Hans Pretzsch, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Technische Universität München, Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, D-85354 Freising, Bavaria, Germany, email: [H.Pretzsch@lrz.tum.de](mailto:H.Pretzsch@lrz.tum.de), Tel: ++49-8161-714710