

## Erfahrungen aus dem Lausitzer Braunkohlenrevier

# Ertrags- und Wachstumsprognosen von Kiefernbeständen auf Kippen

Von Christoph Ertle, Günter Wenk, Lutz Böcker, Karl Preußner, Finsterwalde

**Herkömmliche Ertragstafelmodelle gewachsener Altwaldstandorte sind als Planungsinstrument für Kippen-Kiefernbestände wenig geeignet. Aus dieser Erkenntnis leitete sich das Ziel ab, kippenspezifische Ertragstafeln zu entwickeln, die das reale Wachstum der Kiefernerstaufforstungen widerspiegeln. Waldwachstumskundliche Kenngrößen aus 14 Kiefernjugbeständen dienten der Herleitung zuverlässiger Startwerte für die neue Basisertragstafel. In 15 mittelalten Weiserflächen wurden Zuwachsuntersuchungen durchgeführt, um die vorhandene Datenbasis abzusichern und die Ergebnisse der neuen Basisertragstafel überprüfen zu können. Es wurde eine Basisertragstafel entwickelt, die den gesamten Altersbereich der rekultivierten Kiefernbestände abdeckt und Prognosen bis zum Alter 100 ermöglicht. Neben der grafischen Darstellung des Höhenbonitätsfächers werden die einzelnen Bonitäten in klassischer Tabellenform dargestellt. Damit ist ein geeignetes Planungsinstrument für den Forstpraktiker auf Kippenforsten geschaffen worden. Unterschiede zur Ertragstafel nach [6] für gewachsene Standorte konnten aufgezeigt werden.**

*C. Ertle und Dr. L. Böcker sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften in Finsterwalde. Prof. Dr. habil. G. Günter Wenk arbeitete bis zu seiner Pensionierung am Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik der TU Dresden. Dr. K. Preußner leitet die Forstabteilung der Vattenfall Europe AG in Cottbus. Die Untersuchungen wurden durch die Vattenfall AG finanziell unterstützt.*

### Untersuchungsgebiet und Methodik

Um die Grundgesamtheit der Standorte, für welche die Ertragstafel anwendbar sein soll, klar abgrenzen zu können, wurden als Datengrundlage nur Ergebnisse von Versuchsflächen verwendet, die annähernd gleiche Standortverhältnisse aufwiesen. Es wurden Kipp-Reinsande mit überwiegenden Anteilen an Mittelsand gewählt, die zum Teil geringe Kohlebeimengungen ( $Ct < 2\%$ ) aufweisen. Auf dieser kippsubstratsystematischen Einheit kann die Baumart *Pinus sylvestris* als naturnah und standortgerecht angesehen werden. Hier wird sie auch künftig in der Lausitzer Region bestandesbildend vorkommen.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Großklimabereich des pseudo-maritim beeinflussten „Lausitzer Klimas“ ( $\phi$ , Phi) sowie im Übergangsbereich zum kontinental beeinflussten „Südmärkischen Klima“ ( $\gamma$ , Gamma). Es herrscht die Klimastufe „mäßig trockenes Tieflandsklima“ (m) vor, die durch eine Jahresmitteltemperatur von 8,0 bis 8,5 °C und einen mittleren Jahresniederschlag von 580 bis 660 mm charakterisiert wird [5].

### Datenbasis/Modellphilosophie

Es bestand die Aufgabe, mithilfe wachstumskundlicher Ausgangsdaten von einem sehr frühen Entwicklungsstadium Prognosen bis zum Alter 100 aufzustellen. Da auf Kippen in der Lausitz keine Wälder existieren, die älter als 80 Jahre sind und der überwiegende Anteil dieser Kiefernerstaufforstungen im Al-

tersbereich 20 bis 40 Jahre liegt, muss die weitere Bestandesentwicklung mithilfe von Programmen simuliert werden. Dafür wurde das von WENK entwickelte und auf einer Vielzahl von Versuchsflächen angewendete Bestandeswachstumsmodell DYNAMOBEM sowie deren weiterentwickelte Version Yield & Growth (Y&G) verwendet [9, 10, 11].

Die Aufnahme von 14 Kiefernjugbeständen (Alter 10 bis 30 Jahre) diente zur Herleitung zuverlässiger Startwerte für die Modellierung. Von 15 mittelalten Kiefernbeständen standen die Daten einer 1. Messung (Bestandesalter 42 bis 69 Jahre) und einer Wiederholungsmessung nach 6 bis 7 Jahren zur Verfügung. Zur ersten Aufnahme wurden außerdem von je drei Bäumen (Baumklasse 1 nach KRAFT) pro Versuchsfläche Höhenanalysen angefertigt. Aus diesen Analysen wurden die Wachstumsparameter für eine neue Ertragstafel hergeleitet. Für ausgewählte Versuchsflächen wurden Zuwachsuntersuchungen nach der Methode der mittleren Querschnittsfläche an liegenden Probestämmen durchgeführt.

Die Modellphilosophie besteht darin, dass die Triebkräfte des Wachstums abhängig sind vom Standort und den genetischen Eigenschaften des Individuums. Bereits in einem frühen Entwicklungsstadium sind wesentliche Informationen über diese Triebkräfte vorhanden, die über die zukünftige Entwicklung entscheiden. Mit dieser Annahme und dem generellen Ausschluss von Katastrophen sind Prognosen ab einem geringen Alter für einen langen Zeitraum möglich.

In der Lausitz haben die Aktivitäten zum Abbau von Braunkohle bis Ende 2004 eine Inanspruchnahme von 81.500 ha Landfläche zur Folge [3]. Bei der Rekultivierung bildet die forstliche Nutzung den Hauptanteil mit bisher 28.300 ha und zukünftig 18.000 ha Waldfläche. Neben der Begründung von Laubmischwald-Gesellschaften kommt der Baumart Kiefer auch in Zukunft aufgrund der standörtlichen Verhältnisse eine sehr große Bedeutung zu [7].

In früheren Arbeiten [1, 2] konnte belegt werden, dass die ersten Kiefernforsten auf Kippen einen anderen Wachstumsverlauf aufweisen als vergleichbare Bestände unverritzter Standorte. Nach anfänglich stark depressivem Wachstum folgt eine deutlich progressive Entwicklungsphase, bis sich das Wachstum der Kippenerstaufforstungen auf hohem Niveau an das Ertragsniveau von Altwaldstandorten annähert.

Zur Umsetzung waldbaulicher Maßnahmen (Pflege- und Durchforstung) dienen in den Kippenwaldbeständen gegenwärtig Ertragstafeln, die auf der Bestandesentwicklung unverritzter Standorte basieren. Diese herkömmlichen Modelle sind jedoch aufgrund des kippenspezifischen Wuchsganges als Planungsinstrument für Kippenkiefernbestände ungeeignet.

Vor dem Hintergrund der Vermarktung der neu angelegten Waldflächen durch das Energieunternehmen Vattenfall Europe Mining & Generation AG ist eine zuverlässige Prognose zukünftiger Wuchseleistungen von Kippenbeständen von großer Bedeutung. Zur Lösung des Problems wurden kippenspezifische Ertragstafeln entwickelt, die das reale Wachstum der Kiefernerstaufforstungen widerspiegeln und somit angepasste waldbauliche Maßnahmen ermöglichen.

### Ergebnisse

Im Unterschied zur bestandesindividuellen Modellierung, die an kein Bonitätssystem gebunden ist und mit der deshalb beliebige Wachstumsverläufe simuliert werden können, setzen Ertragstafeln ein bestimmtes System voraus. Im Allgemeinen erwartet man von Ertragstafeln, dass sich die Wachstumskurven nicht schneiden und die Abstände von Bonität zu Bonität regelmäßig oder gar konstant sind. Die

# Rekultivierung

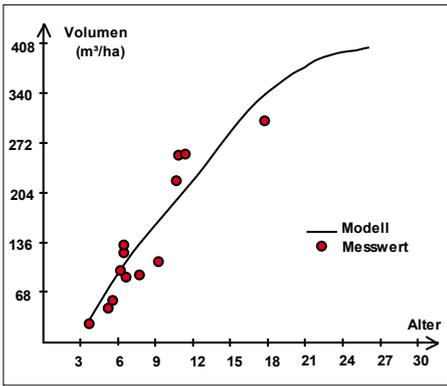


Abb. 1: Simulierte Volumenentwicklung der Bonität 26, Basisertragstafelwerte und Messwerte der Probeflächenaufnahmen

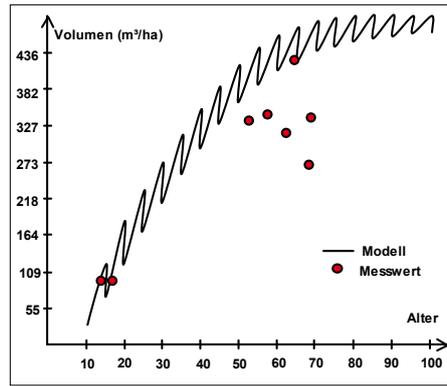


Abb. 2a: Simulierte Volumenentwicklung der Bonität 28, Ertragstafelwerte und Messwerte der Probeflächenaufnahmen

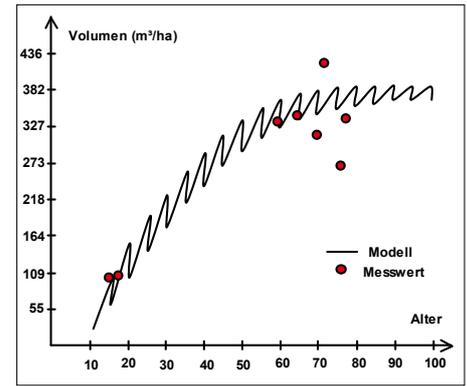


Abb. 2b: Volumenentwicklung der Bonität 28, Ertragstafelwerte nach Veränderung der Leitbeziehungen und Messwerte der Probeflächenaufnahmen

Folge ist, dass die Wachstumsverläufe in ein starres System hineingezwängt werden müssen und infolgedessen nur durchschnittliche Wachstumsverläufe repräsentiert werden können. Wobei der Begriff „durchschnittlicher Wachstumsverlauf“ selten definiert ist, weil die Grundgesamtheit, für die eine Ertragstafel gültig sein soll, in der Regel nicht definiert ist. Für die Kippen-Kiefern-ertragstafel gilt eine klar definierte Grundgesamtheit. Es sind rekultivierte Braunkohlenkippenstandorte auf armen Sanden (siehe Kasten).

Die Modellierung der Volumenentwicklung der Waldbestände ist der wichtigste Baustein im Simulationsprogramm DYNAMOBEM und der weiterentwickelten Form Yield and Growth. Dabei spielen Wachstumsparameter die zentrale Rolle, da sie die Funktion des relativen Volumenzuwachses bestimmen und so die Volumenentwicklung beeinflussen [11].

Es galt im ersten Schritt eine Basisvariante zu simulieren, die gut an die Jungbestandsdaten angepasst ist und als Grundlage für die anderen zu simulierenden

Bonitäten dienen kann. Abb. 1 zeigt die Volumenentwicklung in Abhängigkeit von der Mittelhöhe nach dem Basismodell der „neuen“ Ertragstafel. Die wirklichen Volumina aller 14 Jungbestände sind als Punkte eingetragen. Abb. 1 veranschaulicht, dass das Basismodell als Grundlage für die Konstruktion der neuen Ertragstafel geeignet ist. Die Höhenentwicklung entspricht einer Mittelhöhenbonität von 26 m. Das Bezugsalter für die Bonität beträgt 100 Jahre.

Zur Überprüfung wurden für alle Aufnahmen die Bonitäten mit der „neuen“ Ertragstafel bestimmt und die Ertragstafelwerte mit den wirklichen Werten der Versuchsflächen verglichen. Für geringe Bonitäten fiel die Überprüfung mit den wirklichen Werten der Versuchsflächen günstig aus. Die Ertragstafel ermöglicht jedoch für die guten Bonitäten offensichtlich keine realistische Volumenschätzung bei mittelalten Beständen, die Volumina sind zu hoch.

Abb. 2a zeigt die gemessenen Volumina aller Aufnahmen, die zur simulier-

ten Bonität 28 gehören. Die Parameter dieser entwickelten Ertragstafel wurden gespeichert, da sie vermutlich gut zur Ertragseinschätzung von Jungbeständen geeignet ist.

Es hat sich gezeigt, dass die nach den 60er-Jahren begründeten Kiefernbestände ein besseres Wachstum zeigen als die vor diesem Zeitpunkt (heutige mittelalte Bestände). Gründe hierfür liegen in dem wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn zu den Kippsubstraten und deren Umsetzung bei den Rekultivierungsverfahren. Die Auswirkungen von Klimaveränderungen können aber auch nicht ausgeschlossen werden. Hieraus kann sich die Konsequenz ergeben, hinsichtlich der Prognosen von Wachstumsgrößen getrennte Ertragstafeln für Jung- und mittelalte Bestände zu konstruieren. Der Ansatz dieser Arbeit bestand jedoch darin, eine Ertragstafel für den gesamten Altersbereich vom Kiefernjungbestand bis zum mittelalten Kiefernbestand als Kompromisslösung zu entwickeln, um die Einführung in die Forstpraxis zu erleichtern. Aus diesem Grund

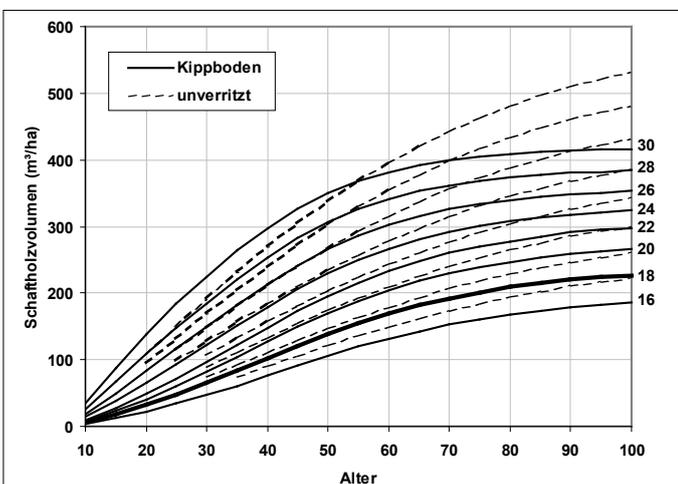


Abb. 3: Vergleich der Volumenentwicklung der Basisertragstafel (Kippboden) mit der DDR-Ertragstafel (unverritz) nach [6]

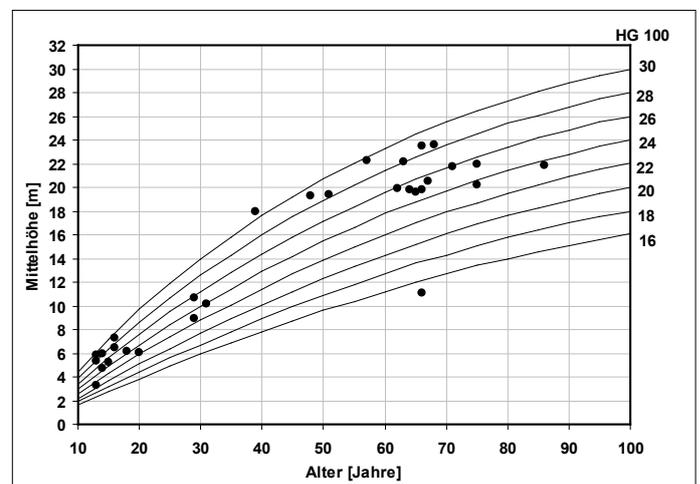


Abb. 4: Höhenbonitätsfächer und verwendete Versuchsflächen der Basisertragstafel

**Tab. 1: Tabellarische Darstellung der Höhenbonität 28 der Basisertragstafel für Kiefer auf Kippsubstraten**

Verbleibender Bestand								Ausscheidender Best.				Gesamtbestand											
Alter J	HG m	HO m	G m <sup>2</sup>	DG cm	N Stück	V m <sup>3</sup> /ha	FH	G m <sup>2</sup>	DG cm	N Stück	V m <sup>3</sup> /ha	DG cm	H m	G m <sup>2</sup>	N Stück.	V	LZ m <sup>3</sup> /ha	SUVN	GWL	DGZ m <sup>3</sup> /ha/a	FH	DHZ cm	Alter J
10	3,9	4,8	8,8	3	12.000	26	2,97	0	0	0	0	3,1	3,9	8,8	12.000	26	2,6	0	26	2,6	2,96	0	10
15	6,4	7,6	16,9	5,4	7.434	67	3,97	8,1	4,8	4566	32	5,2	6,4	25	12.000	99	14,6	32	99	6,6	3,96	0,55	15
20	8,6	10,1	22,3	7,6	4.886	109	4,89	9,2	6,8	2548	45	7,3	8,6	31,5	7.434	154	17,4	77	186	9,3	4,88	0,49	20
25	10,7	12,3	25,9	9,7	3.520	148	5,71	8,1	8,7	1366	46	9,4	10,7	34	4.886	194	17	123	271	10,8	5,7	0,44	25
30	12,6	14,2	28,7	11,6	2.723	185	6,46	6,9	10,5	797	44	11,3	12,5	35,6	3.520	230	16,3	167	352	11,7	6,45	0,39	30
35	14,3	16,1	30,9	13,4	2.205	221	7,16	6	12,2	518	43	13,1	14,3	36,9	2.723	264	15,8	210	431	12,3	7,15	0,36	35
40	16	17,7	32,5	15,2	1.787	254	7,81	5,5	12,9	418	42	14,8	15,9	38	2.205	296	15	252	506	12,6	7,79	0,33	40
45	17,5	19,3	33,6	17	1.478	283	8,41	5,1	14,4	309	42	16,6	17,4	38,7	1.787	325	14,1	294	577	12,8	8,4	0,31	45
50	18,9	20,7	34,2	19	1.206	307	8,98	4,7	14,9	272	42	18,3	18,9	38,9	1.478	348	13,1	336	643	12,9	8,96	0,28	50
55	20,2	22	34,3	20,9	1.000	326	9,5	4,4	16,4	206	41	20,2	20,2	38,7	1.206	367	12	377	703	12,8	9,48	0,26	55
60	21,4	23,2	34,2	23,1	814	341	9,98	4	16,5	186	39	22,1	21,4	38,2	1.000	381	10,9	416	757	12,6	9,96	0,24	60
65	22,6	24,2	33,9	25,3	674	353	10,42	3,6	18,1	140	37	24,2	22,5	37,5	814	390	9,9	453	806	12,4	10,4	0,21	65
70	23,6	25,2	33,5	27,4	568	362	10,82	3,2	19,7	106	34	26,3	23,5	36,7	674	397	8,7	487	849	12,1	10,8	0,19	70
75	24,5	26,1	33	29,4	487	369	11,19	2,9	21,3	81	32	28,4	24,5	35,9	568	401	7,8	519	888	11,8	11,2	0,17	75
80	25,4	26,9	32,5	31,2	424	374	11,52	2,6	22,7	63	29	30,3	25,3	35,1	487	403	6,9	548	922	11,5	11,5	0,16	80
85	26,1	27,6	32	33	374	378	11,82	2,3	24	50	26	32,1	26,1	34,2	424	404	6	574	952	11,2	11,8	0,14	85
90	26,8	28,2	31,5	34,6	334	381	12,09	2	25,2	40	23	33,8	26,8	33,5	374	404	5,1	597	978	10,9	12,1	0,13	90
95	27,5	28,7	31	36,2	302	382	12,33	1,8	26,4	32	21	35,3	27,4	32,8	334	403	4,5	618	1000	10,5	12,3	0,11	95
100	28	29,2	30,6	37,6	276	384	12,55	1,5	27,5	26	19	36,8	28	32,1	302	402	4,2	637	1021	10,2	12,5	0,1	100

wurden neue Leitbeziehungen hergeleitet, um eine Ertragstafel zu schaffen, die den genannten Anforderungen entspricht.

Abb. 2b zeigt die Volumenentwicklung der Bonität 28 der Basisertragstafel auf der Grundlage der veränderten Leitbeziehungen. Die gemessenen Werte streuen jetzt deutlich geringer um die Modellwerte.

Aufbauend auf die neuen Leitbeziehungen wurde die „neue“ Ertragstafel als „Basisertragstafel“ fertig gestellt. Damit wird der gesamte Altersbereich der rekultivierten Kiefernbestände abgedeckt. Mit den absoluten Höhenbonitäten 16 bis 30 lässt sich das Wachstum der Kiefern auf rekultivierten Kippstandorten beschreiben. Der Hauptanteil der Versuchsflächen befindet sich in den Bonitäten 24 und besser (Abb. 4).

Neben der grafischen Darstellung des Höhenbonitätsfächers werden die einzelnen Bonitäten in klassischer Tabellenform in Anlehnung an [6] dargestellt (Tab. 1). Mit der Basisertragstafel ist zum ersten Mal überhaupt ein anwendbares Planungsinstrument für den Forstpraktiker auf Kippstandorten geschaffen worden. Einmalig ist die Tatsache, dass mit der Basisertragstafel bereits in einem sehr frühen Stadium (ab Bestandesalter 10) Wachstumsprognosen bis zum Alter 100 möglich sind.

### Vergleich der Basisertragstafel mit der DDR-Kieferntragstafel [6]

Auffällig ist bei der Basisertragstafel für Kippstandorte der frühe Beginn, der erste

Prognosen über die weitere Bestandesentwicklung ab einem Alter von 10 Jahren ermöglicht. Bezüglich der Volumenentwicklung, die als wichtigste Größe im Modell wirkt, weist die Kieferntragstafel gewachsener Standorte nach [6] bei den guten und mittleren Bonitäten deutlich niedrigere Vorräte in den Jungbeständen im Vergleich zur Basisertragstafel für die Kippenstandorte aus. Im mittleren Bereich schneiden sich die Kurven. Im höheren Alter liegen die Vorräte gewachsener Standorte deutlich über denen der Basisertragstafel. In den geringeren Bonitäten liegen die Vorräte unverritzter Standorte generell über denen der Basisertragstafel. Der Höhenverlauf ist im Gegensatz zu Kiefernbeständen unverritzter Standorte durch ein schnelleres Höhenwachstum in der Jugendphase charakterisiert. Ab einem Alter von 30 bis 40 Jahren sind die Unterschiede zwischen verritzten und unverritzten Standorten bei den geringen Bonitäten unwesentlich. In den besseren Bonitäten erfolgt die Annäherung an die Bonitätskurven von Altwaldstandorten etwa 20 Jahre später.



Abb. 5: Untersuchungsfläche 14: 59-jähriger Kiefernreinbestand auf einem Kippreinsand

Foto: Ertle

#### Literaturhinweise:

- [1] BÖCKER, L.; STÄHR, F.; KATZUR, J. (1998): Waldwachstum auf Kippenstandorten des Lausitzer Braunkohlenreviers. AFZ-DerWald Nr. 13, S. 691-694. [2] BÖCKER, L.; KATZUR, J.; STÄHR, F. (1999): Bodenkenwerte und Waldwachstum der Kippen-Erstaufforstungen. AFZ-DerWald, Nr. 25, S. 1336-1338. [3] Deutscher Braunkohlen-Industrie-Verein e.V. (DEBRIV) (2005): Jahresbericht 2004, Köln. [4] ERTLE (2002): Entwicklung von Ertragstafeln für Kiefernbestände auf Kippenflächen zum Nachweis des Wachstums rekultivierter Forstflächen und zur Ableitung optischer Rekultivierungsverfahren, Jahresbericht für Vattenfall AG, unveröff. [5] KOPP, D.; SCHWANECKE, W. (1994): Standortlich-naturräumliche Grundlagen ökologischer Forstwirtschaft. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. [6] LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR, O. (1976): DDR-Kiefern-Ertragstafel 1975, Eberswalde. [7] PREUSSNER, K. (1997): Wälder und Forste auf Kippenstandorten. In: Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Pflug, W. (Hrsg.), S. 600-609. [8] WENK, G. (2002): Wachstumsmodellierung von Kiefernbeständen auf rekultivierten Braunkohlenkippenstandorten. Studie. S. 20. [9] WENK, G. (1995): Waldwachstumslehre als Entscheidungshilfe. AFZ-DerWald Nr. 20, S. 1105-1106. [10] WENK, G. (1996): Waldwachstumslehre als Entscheidungshilfe. AFZ-DerWald Nr. 4, S. 194-195. [11] WENK, G. (1997): Waldwachstumslehre als Entscheidungshilfe III. AFZ-DerWald Nr. 12, S. 675-676.