

Thema der Dissertation:

Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für verschiedene Baumarten

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

vorgelegt von

Dipl.-Forstwirt, Dipl.-Ing. Sven Mißbach

geboren am 05.06.1978 in Leipzig

Gutachter:

Herr Prof. Dr. rer. silv. habil. Heinz Röhle
Technische Universität Dresden / Fakultät Umweltwissenschaften, Fachrichtung
Forstwissenschaften, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Herr Prof. Dr. rer. nat. Hubert Merkel
Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim-Holzminden-
Göttingen / Fakultät Ressourcenmanagement

Herr Dozent Dr. rer. nat. Karl-Friedrich Albrecht
Technische Universität Dresden / Fakultät Umweltwissenschaften

Tharandt, 12.06.2015
(Datum der erfolgreich verteidigten Dissertation)

Erklärung des Promovenden

Die Übereinstimmung dieses Exemplars mit dem Original der Dissertation zum Thema:

**„Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für
verschiedene Baumarten“**

wird hiermit bestätigt.

Tharandt, 16.07.2015

.....
Ort, Datum



.....
Unterschrift (Sven Mißbach)

Von: Sven Mißbach
geboren am: 05.06.1978 in Leipzig

wurde der Technischen Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften,
Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Waldwachstum und Forstliche
Informatik

zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur (Dr.-Ing.)

die Dissertation mit dem Thema

**Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für
verschiedene Baumarten**

vorgelegt.

Tag der Einreichung: 04.03.2015

Verantwortlicher Hochschullehrer: Herr Prof. Dr. Heinz Röhle

Betreuer: Herr Prof. Dr. Heinz Röhle

Institut: Institut für Waldwachstum und
Forstliche Informatik

Für die Ausleihe zugelassen:

Dresden, den 16.07.2015

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende am heutigen Tage eingereichte Dissertation zum Thema:

„Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für verschiedene Baumarten“

selbstständig bzw. ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als diese kenntlich gemacht worden.

Die Verbindung mit Betrieben, staatlichen oder privaten Organisationen usw. wurde nur in den in der Arbeit genannten Fällen im Einverständnis mit dem Betreuer aufgenommen.

Dresden, den 16.07.2015



Sven Mißbach

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand an der Technischen Universität Dresden, Fakultät Umweltwissenschaften, Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik.

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Professor Dr. Heinz Röhle für die Betreuung während meiner gesamten Arbeit. Herrn Dr. Karl-Friedrich Albrecht danke ich für die außerordentlich vielfältige Unterstützung während der gesamten Bearbeitungszeit und die vielen nützlichen Hinweise sowie tiefgründigen Gespräche. Außerdem danke ich Frau Dr. Dorothea Gerold für die vielen Hinweise im Zusammenhang mit den Stammanalysen der Fichteneinzelbäume und Herrn Dr. Klaus Römisch für die vielen Stunden zur Verbesserung des Programms MINUIT, welches die Grundlage der Berechnungen bildete. Herrn Professor Dr. Hubert Merkel sowie dem Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik der Fachrichtung Forstwissenschaften der TU Dresden und dem Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde danke ich für die Zurverfügungstellung von Datenmaterial.

Waldwachstumskundliche Fragestellungen sind grundlegende Voraussetzungen für die Steuerung von Waldökosystemen, von denen die Prozesse der Höhenentwicklungen von Einzelbäumen und Beständen einen Teil der umfangreichen Waldwachstumslehre ausmachen. Dieser Bereich wird mit der Themenstellung dieser Arbeit „Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für verschiedene Baumarten“ aufgegriffen.

Schon der deutsche Naturforscher Alexander von Humboldt verwies darauf, dass es wichtig ist, „den mittleren Zustand zu erforschen, um welchen bei der scheinbaren Ungebundenheit der Natur alle Phänomene innerhalb enger Grenzen oszillieren“.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
1.1 Hypothesen	3
1.2 Erschwerende Umstände bei der Hypothesenüberprüfung	4
2 Wachstumsprozesse und Wachstumsmodelle	5
2.1 Der Wachstumsprozess	5
2.2 Höhenwachstum von Beständen und Einzelbäumen	6
2.3 Wachstumsfunktionen	8
3 Datengrundlage und Vorbetrachtung	11
3.1 Ertragstafeln und Bonitierung	11
3.2 Stammanalysen	17
3.3 Einfluss von Provenienzen	19
3.4 Datenmaterial/Ausgangsdaten	21
3.5 Verwendete Computerprogramme	25
4 Ergebnisse zum Höhenwachstum von Bäumen	28
4.1 Untersuchungen mit Hilfe eines Polynoms	28
4.1.1 Ermittlung der Transformationsparameter ohne Modellnutzung	29
4.1.2 Ertragstafelwerte Fichte	33
4.1.3 Ertragstafelwerte Roteiche	42
4.1.4 Ertragstafelwerte Weißtanne	44
4.1.5 Ertragstafelwerte Douglasie	46
4.1.6 Ertragstafelwerte Rotbuche	47
4.1.7 Ertragstafelwerte Eiche	49
4.1.8 Ertragstafelwerte Lärche	51
4.1.9 Ertragstafelwerte Kiefer	52
4.1.10 Ertragstafelwerte weiterer Baumarten	54
4.1.11 Einzelbäume Fichte	56
4.2 Untersuchungen mit Hilfe des Evolonmodells	66
4.2.1 Das Evolonmodell	66
4.2.2 Wachstumsanalysen mit Hilfe des Evolonmodells	69

4.2.3	Ermittlung der Transformationsparameter mit Modellnutzung	72
4.2.4	Ertragstafelwerte Fichte.....	74
4.2.5	Ertragstafelwerte Roteiche.....	84
4.2.6	Ertragstafelwerte Weißtanne.....	86
4.2.7	Ertragstafelwerte Douglasie.....	88
4.2.8	Ertragstafelwerte Rotbuche.....	89
4.2.9	Ertragstafelwerte Eiche.....	93
4.2.10	Ertragstafelwerte Lärche.....	94
4.2.11	Ertragstafelwerte Kiefer.....	96
4.2.12	Ertragstafelwerte weiterer Baumarten.....	98
4.2.13	Einzelbäume Fichte	101
4.2.14	Einzelbäume Kiefer	111
4.2.15	Einzelbäume Buche	113
4.2.16	Einzelbäume Sumpflärche	115
5	Diskussion.....	117
5.1	Vergleich der verschiedenen Baumarten.....	117
5.2	Beziehungen zwischen t_m und X_m für verschiedene Baumarten	128
5.3	Beziehung zwischen der Höhe beim Zuwachsmaximum und der asymptotischen Endhöhe auf der Basis des Evolonmodells	130
5.4	Vergleich Evolonmodell mit Richardsmodell	132
5.5	Beispiel einer Anwendung des Ergebnisses zum einheitlichen Wachstumsgang nach der Transformation	134
5.6	Vertrauensbereichsbestimmung.....	136
5.7	Anwendung der Ergebnisse	138
6	Schlussfolgerung/Ausblick	142
7	Zusammenfassung	145
8	Summary	146
9	Literatur.....	148
10	Anhang.....	154

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Höhenwachstumskurve und Zuwachskurve einer Fichte, aus einer Stammanalyse von v. GUTTENBERG (aus ASSMANN, 1961).....	7
Abb. 2:	Relative Lage der Mittel- und Oberhöhen (aus KRAMER und AKÇA, 1995).....	13
Abb. 3:	Relative Lage der Mittel- und Oberdurchmesser n =Bestandesstammanzahl (aus KRAMER und AKÇA, 1995, abgeändert).....	15
Abb. 4:	Rekonstruktion eines Wachstumsverlaufes mittels einer Stammanalyse (aus WENK/ANTANAITIS/ŠMELKO, 1990).....	17
Abb. 5:	Mittelwertbildung von fünf Probestämmen der Baumart Fichte am Standort Weißwasser.....	18
Abb. 6:	Ablaufschema für die Nutzung des Programms CHS2 (nach ALBRECHT, Vorlesung Umweltsystemanalyse 2007).....	26
Abb. 7:	Programmversion von RÖMISCH (2009).....	27
Abb. 8:	Graphische Darstellung der Anpassungen in der Programmversion von RÖMISCH (2009).....	27
Abb. 9:	Höhenwachstumskurve und Zuwachskurve von Fichten der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (y_H ist die Funktion der Höhenwachstumskurve, y_Z die Funktion des Zuwachses).....	30
Abb. 10:	Transformierter und untransformierter Wachstumsgang der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG.....	32
Abb. 11:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	34
Abb. 12:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	35
Abb. 13:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) b) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	37
Abb. 14:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	40
Abb. 15:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	41
Abb. 16:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	41
Abb. 17:	Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte des schnellen, mittleren und langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	42
Abb. 18:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHÖBER, 1995) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	43
Abb. 19:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	45
Abb. 20:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHÖBER, 1995) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommmethode.....	47
Abb. 21:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für	

	Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode.....	48
Abb. 22:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode	50
Abb. 23:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHÖBER (1946; aus SCHÖBER, 1995) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHÖBER (1946; aus SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode	52
Abb. 24:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode.....	54
Abb. 25:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode.....	55
Abb. 26:	Höhenentwicklung der Einzelbäume E1-E10 der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915).....	56
Abb. 27:	Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Einzelbaumwerte der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode	56
Abb. 28:	Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode	58
Abb. 29:	Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklasse 2 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode	58
Abb. 30:	Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklasse 3 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode	59
Abb. 31:	Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklassen 1-3 von v. GUTTENBERG unter Verwendung der Polynommethode	59
Abb. 32:	Höhenwachstumsgänge der zunächst aller fünf Jahre und später jährlich vermessenen Oberhöhenbäume aus den Flächen D005 (Bäume 1-6) und D084 (Bäume 7-12).....	60
Abb. 33:	Historische Einordnung der Wachstumsgänge von Mittelwerten der Höhen der Oberbäume B2-B6 aus der Versuchsfläche D005 und der Mittelwerte der Höhen der Oberbäume B7-B12 aus der Versuchsfläche D084	62
Abb. 34:	Historische Einordnung der Zuwächse von Mittelwerten der Höhen der Oberbäume B2-B6 aus der Versuchsfläche D005 und der Mittelwerte der Höhen der Oberbäume B7-B12 aus der Versuchsfläche D084	62
Abb. 35:	Transformierter Wachstumsgang für die Mittelwerte der Höhen der Einzelbäume EB2-EB6 der Versuchsfläche D005 unter Verwendung von Transformationsparametern, deren Werte ($t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ m) abgeschätzt wurden (s. Text). Bei Verwendung derselben Transformationsparameter ist auch der transformierte Wachstumsgang für die Oberhöhen h_{100} (B-Grad Parzelle) dargestellt. Zusätzlich sind zwei transformierte Referenzwachstumsgänge (für unbeeinflusste Standortbedingungen), die auf Mittelwerten von je zehn Bäumen der Standortsklassen SK1-SK2 von GUTTENBERG beruhen, als Linien dargestellt	64
Abb. 36:	Das Evolonmodell (nach MENDE) anhand des Wachstums der Baumart Fichte für die Standortsklasse 1 nach der Ertragstafel von v. GUTTENBERG	69
Abb. 37:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	75
Abb. 38:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	78
Abb. 39:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	80
Abb. 40:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	82

Abb. 41:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	83
Abb. 42:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	84
Abb. 43:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	85
Abb. 44:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	87
Abb. 45:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	89
Abb. 46:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962)) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	91
Abb. 47:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	92
Abb. 48:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	94
Abb. 49:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	95
Abb. 50:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	97
Abb. 51:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	99
Abb. 52:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	100
Abb. 53:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	101

Abb. 54:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen aus den Untersuchungen von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen aus den Untersuchungen von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	103
Abb. 55:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zwölf Einzelbäumen vom Standort Denklingen 005 im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zwölf Einzelbäumen vom Standort Denklingen 084 im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	105
Abb. 56:	Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte vom Standort Denklingen 005 und 084 nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	106
Abb. 57:	a) Wachstumsverlauf von zehn Einzelbaumhöhen (EB2-EB32) für Fichte des Standorts Weißwasser im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von zehn Einzelbaumhöhen (EB2-EB32) für Fichte des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	108
Abb. 58:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen des Standorts Bärenstein im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen des Standorts Bärenstein nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	109
Abb. 59:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von drei Einzelbäumen des Standorts Willingen im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von drei Einzelbäumen des Standorts Willingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	111
Abb. 60:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Kiefer von acht Einzelbäumen des Standorts Chorin im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Kiefer von acht Einzelbäumen des Standorts Chorin nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	113
Abb. 61:	a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Buche von 3 Einzelbäumen des Standorts Willingen im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Buche von 3 Einzelbäumen des Standorts Willingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	114
Abb. 62:	a) Höhenentwicklung für Sumpfläche der Einzelbäume 16, 18, 51 aus der Untersuchung von KERKMANN (2001) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Höhenentwicklung für Sumpfläche der Einzelbäume 16, 18, 51 aus der Untersuchung von KERKMANN (2001) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	116
Abb. 63:	Wachstumsverlauf von Bestandesmittel- und -oberhöhen für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität nach der Transformation unter Verwendung des Polynoms	118
Abb. 64:	Wachstumsverlauf von Bestandesmittel- und -oberhöhen für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	119
Abb. 65:	a) Höhenentwicklung für Mittelwerte der Fichteneinzelbäume verschiedener Standorte im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) b) Höhenentwicklung für Mittelwerte der Fichteneinzelbäume verschiedener Standorte nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells	121
Abb. 66:	a) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Denklingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells im Vergleich zu den Oberhöhenbonitäten M40 und M36 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) b) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells.....	122
Abb. 67:	a) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells b) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells im Vergleich mit den Mittelwerten der Einzelbäume und der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915).....	123
Abb. 68:	a) Beziehung der Evolonparameter k zu l für die Baumart Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) für den Datenbereich von 5-130/140 Jahre b) Beziehung der Evolonparameter k zu l für die Baumart Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) für den Datenbereich von 5-100 Jahre.....	125
Abb. 69:	a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) bei Festsetzung des Evolonparameters κ b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962)) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells bei Festsetzung des Evolonparameters κ	126

Abb. 70:	a) Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) ohne Festsetzung des Evolonparameters κ b) Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) bei Festsetzung des Evolonparameters κ	127
Abb. 71:	a) Beziehung t_m zu X_m für Fichte aller Standortsklassen bzw. Bonitäten aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915), ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) unter Verwendung der Polynommethode b) Beziehung t_m zu X_m für Fichte aller Standortsklassen bzw. Bonitäten aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915), ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) unter Verwendung des Evolonmodells.....	129
Abb. 72:	a) Beziehung t_m zu X_m für verschiedene Baumarten aller Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus den Ertragstafeln der jeweiligen Baumarten unter Verwendung der Polynommethode b) Beziehung t_m zu X_m für verschiedene Baumarten aller Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus den Ertragstafeln der jeweiligen Baumarten unter Verwendung des Evolonmodells	129
Abb. 73:	a) Beziehung t_m zu X_m für Einzelbäume der Baumart Fichte verschiedener Standorte unter Verwendung des Evolonmodells b) Beziehung t_m zu X_m für Einzelbäume der Baumart Fichte verschiedener Standorte unter Verwendung des Evolonmodells mit linearer Trendlinie.....	130
Abb. 74:	Prognose des Wachstumsverlaufs ab 100 Jahre für die Baumart Fichte der Standortsklasse I aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach MENDE und ALBRECHT (2001), mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009), für das Richardsmodell mit $\lambda = 1$ und unter Verwendung des transformierten Universalwachstumsgangs aus Kapitel 5.5	133
Abb. 75:	Transformierter Universalwachstumsgang aus den Mittelwerten von Einzelbäumen für die Standortsklasse 1-3 der Baumart Fichte von v. GUTTENBERG (1915).....	135
Abb. 76:	Vertrauensbereichsbestimmung anhand der Standortsklasse 2 der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) für den Parameter λ des Evolonmodells	137
Abb. 77:	a) Wachstumsverlauf für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) für Fichte der Standortsklassen 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) b) Wachstumsverlauf für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) für Fichte der Standortsklassen 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode (der Wert für X und X_m steht hier für die Holzmasse zum bestimmten Zeitpunkt).....	139
Abb. 78:	a) Wachstumsverlauf für die Gesamtwuchsleistung Schaftholz (GWLS pro Hektar) für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) für oberes (o), mittleres (m) und unteres (u) Ertragsniveau b) Wachstumsverlauf für die Derbh Holzmasse (Derbh Holzmasse pro Hektar) für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) für mäßige Durchforstung (gekennzeichnet mit mD) und starke Durchforstung (gekennzeichnet mit sD)	140
Abb. 79:	Übersicht zum Verhältnis $(k+1)/k$ für die Baumart Fichte.....	175
Abb. 80:	Übersicht zum Verhältnis $(k+1)/k$ für verschiedene Baumarten.....	176
Abb. 81:	Übersicht zum Verhältnis $(k+1)/k$ für verschiedene Baumarten.....	177
Abb. 82:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	185
Abb. 83:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	185
Abb. 84:	Zuwachsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	186
Abb. 85:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	186
Abb. 86:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	187
Abb. 87:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	187
Abb. 88:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	188
Abb. 89:	Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	188

Abb. 90: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	189
Abb. 91: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	189
Abb. 92: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	190
Abb. 93: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	190
Abb. 94: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	191
Abb. 95: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)	191
Abb. 96: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	192
Abb. 97: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)....	192
Abb. 98: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m).....	193

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht zu den verwendeten Ertragstafeln und Datenwerten von Einzelbäumen	24
Tab. 2:	Ertragstafelwerte der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) und die für die Untersuchung notwendigen aufbereiteten Daten (a = Jahre, m = Meter)	30
Tab. 3:	Parameter der Zuwachskurven zur Berechnung des Wendepunktes als Bezugspunkt der Bestandesalterbeschränkung als obere Anpassungsgrenze am Beispiel für Roteiche	31
Tab. 4:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 der Baumart Roteiche von BAUER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) der modellunabhängigen Methode	31
Tab. 5:	Parameter der Zuwachs- und Höhenwachstumskurve der Standortklasse 1 der Baumart Fichte von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m und X_m	32
Tab. 6:	Parameter der Zuwachskurven der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	34
Tab. 7:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode	34
Tab. 8:	Parameter der Höhenzuwachskurven der Bonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	36
Tab. 9:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Bonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode	36
Tab. 10:	Parameter der Höhenzuwachskurven der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	37
Tab. 11:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode	37
Tab. 12:	Parameter der Höhenzuwachskurven der Mittelhöhenbonitäten S32-S16 schnelles System, M36-M20 mittleres System und L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	38
Tab. 13:	Polynomparameter der Höhenwachstumskurven der Mittelhöhenbonitäten S32-S16 schnelles System, M36-M20 mittleres System und L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode	39
Tab. 14:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	43
Tab. 15:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	43
Tab. 16:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	45
Tab. 17:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	45
Tab. 18:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	46
Tab. 19:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	46
Tab. 20:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	48
Tab. 21:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	48
Tab. 22:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	50
Tab. 23:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	50
Tab. 24:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	51
Tab. 25:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	51
Tab. 26:	Parameter der Höhenzuwachskurven der Bonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	53
Tab. 27:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Bonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode	53
Tab. 28:	Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode	55
Tab. 29:	Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode	55

Tabellenverzeichnis

Tab. 30:	Parameter der Zuwachskurven von Einzelbäumen und Mittelwerten der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode.....	57
Tab. 31:	Parameter der Höhenwachstumskurven von Einzelbäumen und Mittelwerten der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode.....	58
Tab. 32:	Jahr des Wachstumsbeginns der vermessenen Bäume.....	61
Tab. 33:	Klassifikation von Wachstums- und Sättigungsprozessen mittels der Parameter κ und λ des Evolonmodells (MENDE, 1976).....	71
Tab. 34:	Parameter des Evolonmodells der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG (1915).....	74
Tab. 35:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG (1915) mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	75
Tab. 36:	Parameter des Evolonmodells der Standortklassen 1-5 von v. GUTTENBERG berechnet nach MENDE und ALBRECHT (2001).....	77
Tab. 37:	Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ.....	77
Tab. 38:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	77
Tab. 39:	Parameter des Evolonmodells der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ.....	79
Tab. 40:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	79
Tab. 41:	Parameter des Evolonmodells der Bonitäten S32-S16 schnelles System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD.....	81
Tab. 42:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten S32-S16 schnelles System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	81
Tab. 43:	Parameter des Evolonmodells der Bonitäten M36-M20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD.....	81
Tab. 44:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten M36-M20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	82
Tab. 45:	Parameter des Evolonmodells der Bonitäten L38-L20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD.....	83
Tab. 46:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	84
Tab. 47:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von BAUER.....	85
Tab. 48:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	85
Tab. 49:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER.....	86
Tab. 50:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	87
Tab. 51:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von BERGEL.....	88
Tab. 52:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	89
Tab. 53:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN.....	90
Tab. 54:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	91
Tab. 55:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK4 von SCHOBER.....	92
Tab. 56:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK4 von SCHOBER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	92
Tab. 57:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD.....	93
Tab. 58:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	93
Tab. 59:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER.....	95
Tab. 60:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	95
Tab. 61:	Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR.....	96
Tab. 62:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	97
Tab. 63:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON.....	99

Tabellenverzeichnis

Tab. 64:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich	99
Tab. 65:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3 von v. GADOW et al.	100
Tab. 66:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von v. GADOW et al. mit Hilfe des Evolonmodells.....	100
Tab. 67:	Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von RÄTZLE.....	100
Tab. 68:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von RÄTZLE mit Hilfe des Evolonmodells.....	101
Tab. 69:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-10 von v. GUTTENBERG.....	102
Tab. 70:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-10 von v. GUTTENBERG mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	103
Tab. 71:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-12 der Standorte Denklingen 005 und 084	104
Tab. 72:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-12 der Standorte Denklingen 005 und 084 mit Hilfe des Evolonmodells.....	105
Tab. 73:	Parameter des Evolonmodells der zehn Einzelbäume (E2-E32) des Standorts Weißwasser	107
Tab. 74:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der zehn Einzelbäume (E2-E32) des Standorts Weißwasser mit Hilfe des Evolonmodells.....	108
Tab. 75:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-10 des Standorts Bärenstein.....	108
Tab. 76:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-10 des Standorts Bärenstein mit Hilfe des Evolonmodells.....	109
Tab. 77:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen.....	111
Tab. 78:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen mit Hilfe des Evolonmodells.....	111
Tab. 79:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-8 des Standorts Chorin	112
Tab. 80:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-8 des Standorts Chorin mit Hilfe des Evolonmodells.....	112
Tab. 81:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen.....	114
Tab. 82:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen mit Hilfe des Evolonmodells.....	114
Tab. 83:	Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 16, 18, 51 von Sumpflärche des Standorts Schlitz	115
Tab. 84:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 16, 18, 51 des Standorts Schlitz mit Hilfe des Evolonmodells.....	116
Tab. 85:	Parameter des Evolonmodells der Mittelwerte von Einzelbäumen verschiedener Standorte	120
Tab. 86:	Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelwerte von Einzelbäumen verschiedener Standorte mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m Mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich.....	120
Tab. 87:	Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR	124
Tab. 88:	Parameter des Evolonmodells und Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN mit Hilfe des Evolonmodells.....	126
Tab. 89:	Parameter des Evolonmodells für verschiedene Baumarten.....	131
Tab. 90:	Parameter des Evolonmodells der Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG (1915) nach MENDE und ALBRECHT (2001), mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009) und für den Spezialfall des Evolonmodells (Richardsmodell) mit $\lambda = 1$	133
Tab. 91:	Parameter des Evolonmodells für die Prognose ab 100 Jahre der Standortsklassen I von v. GUTTENBERG (1915) mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009), nach MENDE und ALBRECHT (2001) und für den Spezialfall des Evolonmodells (Richardsmodell) mit $\lambda = 1$ (für alle Berechnungen ist TS [a] = 70 Jahre).....	134
Tab. 92:	Parameter für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) der Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode	139
Tab. 93:	Parameter für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) der Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode.....	139
Tab. 94:	Ertragstafelwerte für die Baumart Fichte von v. GUTTENBERG (1915).....	154
Tab. 95:	Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Fichte von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972).....	154
Tab. 96:	Ertragstafelwerte der Oberhöhen für die Baumart Fichte von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972).....	155
Tab. 97:	Ertragstafelwerte für die Baumart Roteiche von BAUER (1953; aus SCHOBER, 1995).....	155
Tab. 98:	Ertragstafelwerte für die Baumart Fichte aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/ RÖMISCH/GEROLD (1984); schnelles, mittleres und langsames System	156
Tab. 99:	Ertragstafelwerte für die Baumart Weißtanne von HAUSSER (1956, aus SCHOBER, 1995).....	157
Tab. 100:	Ertragstafelwerte für die Baumart Douglasie von BERGEL (1985; aus SCHOBER, 1995).....	157
Tab. 101:	Ertragstafelwerte für die Baumart Rotbuche von WIEDEMANN (1931, aus ERTELD, 1962).....	158
Tab. 102:	Ertragstafelwerte für die Baumart Rotbuche von SCHOBER (1967, aus SCHOBER, 1995).....	158
Tab. 103:	Ertragstafelwerte für die Baumart Eiche von ERTELD (1961, aus ERTELD, 1962).....	159
Tab. 104:	Ertragstafelwerte für die Baumart Robustapappel von RÄTZLE (1969 aus SCHOBER, 1995).....	159

Tabellenverzeichnis

Tab. 105: Ertragstafelwerte für die Baumart Lärche von SCHÖBER (1946 aus SCHÖBER, 1995).....	160
Tab. 106: Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Küstentanne von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966)	160
Tab. 107: Ertragstafelwerte für die Baumart Eukalyptus von GADOW et al. (1987).....	161
Tab. 108: Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Kiefer von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975)	162
Tab. 109: Einzelbaumwerte der Standortsklasse 1 für die Baumart Fichte von v. GUTTENBERG (1915)	162
Tab. 110: Einzelbaumwerte des Standorts Denklingen 005 für die Baumart Fichte	163
Tab. 111: Einzelbaumwerte des Standorts Denklingen 084 für die Baumart Fichte	164
Tab. 112: Einzelbaumwerte des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte	166
Tab. 113: Einzelbaumwerte des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte	167
Tab. 114: Stammanalysedaten von Probeflächen der Baumart Fichte am Standort Weißwasser	168
Tab. 115: Einzelbaumwerte des Standorts Bärenstein für die Baumart Fichte	169
Tab. 116: Einzelbaumwerte des Standorts Bärenstein für die Baumart Fichte	169
Tab. 117: Mittelwerte von Einzelbäumen der Standorte Denklingen, Weißwasser, Bärenstein und von v. GUTTENBERG für die Baumart Fichte	170
Tab. 118: Mittelwerte von Einzelbäumen des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte.....	171
Tab. 119: Einzelbaumwerte des Standorts Willingen für die Baumart Fichte	172
Tab. 120: Einzelbaumwerte des Standorts Chorin für die Baumart Kiefer	172
Tab. 121: Einzelbaumwerte des Standorts Willingen für die Baumart Buche	173
Tab. 122: Einzelbaumwerte des Standorts Schlitz für die Baumart Sumpflärche	174
Tab. 123: Übersicht der Parameter des Evolonmodells für verschiedene Baumarten der Ertragsklassen- bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln	178
Tab. 124: Übersicht der Parameter des Evolonmodells für verschiedene Einzelbaumarten aus Stammanalysen	182

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahre oder Jahr
a	Integrationskonstanten, nur im Kapitel 2.3
a	Parameter des Polynoms für die Zuwachskurve
a'	Parameter des Polynoms für die Höhenwachstumskurve
Abb.	Abbildung
B	Sättigungswert (Maximalwert des Wachstumsindikators) des Evolonmodells
b	Integrationskonstanten, nur im Kapitel 2.3
b	Parameter des Polynoms für die Zuwachskurve
b'	Parameter des Polynoms für die Höhenwachstumskurve
c	Geschwindigkeitsparameter des Evolonmodells
c	Integrationskonstanten, nur im Kapitel 2.3
c	Parameter des Polynoms für die Zuwachskurve
c'	Parameter des Polynoms für die Höhenwachstumskurve
c1, c2, c3	bestimmter Zeitpunkt bzw. Wert der unabhängigen Variable, nur im Kapitel 2.3
d	Parameter des Polynoms für die Zuwachskurve
d'	Parameter des Polynoms für die Höhenwachstumskurve
E, EB	Einzelbaum (in Verbindung mit einer Zahl)
EK	Ertragsklasse (in Verbindung mit einer Zahl)
F	Abstandsfunktion für die Anpassung unter Verwendung des Programms MINUIT
f	Funktion
GWLS	Gesamtwuchsleistung Schaffholz pro Hektar
HM	Mittelhöhe
HO	Oberhöhe
κ (k)	Exponent für die anfängliche Wachstumsphase des Evolonmodells
L	Bonität (in Verbindung mit einer Zahl) langsames System
m	Meter
m	Endwert der Wachstumsgröße, nur im Kapitel 2.3
m	Bezeichnung für Evolonmodellverlauf bei Wachstums- und Zuwachsverläufen
m	mittleres Ertragsniveau, nur in Abbildung zur Gesamtwuchsleistung der Fichte
M	Bonität (in Verbindung mit einer Zahl)
M	Bonität (in Verbindung mit einer Zahl) mittleres System
m ²	Quadratmeter
mD	mäßige Durchforstung
MW	Mittelwert
mu	Bezeichnung für modellunabhängige Methode bzw. Polynommethode
n	Allometrieexponent
o	oberes Ertragsniveau, nur in Abbildung zur Gesamtwuchsleistung der Fichte
R	relatives Streumaß
R ²	Bestimmtheitsmaß
S	Bonität (in Verbindung mit einer Zahl) schnelles System
s	absolutes Streumaß
sD	Starke Durchforstung
SK	Standortsklasse (in Verbindung mit einer Zahl)
SQ	Standortsklasse (in Verbindung mit einer Zahl)
t	Zeit, Alter des Baumes oder des Bestandes
t'	transformierter Wert für das Baum- oder Bestandesalter ($t'=t/t_m$)
Tab.	Tabelle
t _i	Messpunkte für das Baum- oder Bestandesalter
t _m	Alter beim Zuwachsmaximum
t _{m1} , t _{m2}	Alter beim Zuwachsmaximum, zwei Lösungen für das Polynom, meist t _{m2} richtig

t_w	Wendepunkt nach dem Zuwachsmaximum
t_0	Startwert des Alters für die Integration zur Höhe X_0 des Evolonmodells
T_s	Startwert des Alters für die Integration zur Höhe X_s des Evolonmodells
TU	Technische Universität
u	unteres Ertragsniveau, nur in Abbildung zur Gesamtwuchsleistung der Fichte
W.P.	Wendepunkt
X	Höhe, Baum- oder Bestandeshöhe
X'	transformierter Wert für die Baum- oder Bestandeshöhe ($X'=X/X_m$)
X_i	Messpunkte für die Baum- oder Bestandeshöhe
X_m	Höhe beim Zuwachsmaximum
$X(t_0), X_0$	Startwert der Höhe für die Integration zum Zeitpunkt t_0 des Evolonmodells
X_s	Startwert der Höhe für die Integration zum Zeitpunkt T_s des Evolonmodells
$\lambda(l)$	Exponent für die Sättigungsphase des Wachstums des Evolonmodells
y_H	Funktion Polynom 3. Grades für die Höhenwachstumskurve
y_Z	Funktion Polynom 3. Grades für Zuwachskurve

1 Einleitung

Seit Beginn der forstwissenschaftlichen Forschung spielt die Untersuchung des Wachstums von Bäumen und Beständen eine wichtige Rolle. Dabei wurden Erkenntnisse gewonnen, die die ablaufenden Prozesse beim Wachstum verständlicher machen. In der forstwirtschaftlichen Praxis wurden diese Erkenntnisse genutzt, um ertragsreiche, standortgerechte und stabile Bestände zu begründen und zu pflegen. In diesem Zusammenhang ist die Frage interessant, inwiefern das Wachstum von Bäumen einheitlichen Grundprinzipien folgt und wie groß die Grenzen der Variationsmöglichkeiten beim Wachstum einzelner Bäume unter gleichartigen Bedingungen sind.

Mit dem beginnenden Übergang der Menschheit zum Ackerbau wurde in den Wald bzw. in die Waldstrukturen immer stärker eingegriffen. Zwar gab es durch die natürlichen Prozesse auf der Erde schon vor dem Menschen Eingriffe auf die sich über Jahrtausende gebildeten und vorherrschenden Waldstrukturen, aber die größte systematische Verdrängung des Waldes fand erst mit der übermäßigen Land- und Holznutzung durch den Menschen statt (WIEDEMANN, 1951). Als Ursache dafür ist erstens das Bevölkerungswachstum zu sehen, was zum Rückgang des Waldes im Zusammenhang mit der Ausweitung von Siedlungs-, Weide- und Ackerflächen sowie der verstärkten Nutzung für den Hausbau und der Energie- bzw. Brennholzgewinnung führte. Als zweite Ursache kann die wirtschaftliche Entwicklung mit den einhergehenden technologischen Fortschritten, insbesondere seit Beginn der „Industriellen Revolution“ und der damit verbundenen Weiterentwicklung politischer und ökonomischer Strukturen gesehen werden. Aufgrund des entstehenden Holz Mangels begann der Übergang zur Nutzung fossiler Brennstoffe. Gleichzeitig wurde die Wichtigkeit der nachhaltigen Waldwirtschaft zur Erhaltung der Ressource Holz erkannt (z.B. in Sachsen Anfang des 18. Jahrhunderts) (VANSELOW, 1941). Da die Waldzerstörung und die Holznutzung im internationalen Maßstab auch im 21. Jahrhundert immer noch sehr groß sind, ist das Verständnis des Wachstums der Wälder auch in Zukunft von Bedeutung und ein Thema, welches insbesondere wegen der notwendigen Wiederaufforstungen weiter untersucht werden muss. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, forstrelevante Wachstumsprozesse am Beispiel des Höhenwachstums von Bäumen noch besser verstehen zu können. Im Mittelpunkt stehen dabei Analysen und der Vergleich von Wachstumsgängen für Baum- und Bestandeshöhen verschiedener Baumarten. Dabei wird ein neuer Ansatz gewählt, der von zwei Kennwerten ausgeht. Diese Kennwerte sind das Alter t_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums und die zu diesem Zeitpunkt erreichte Höhe X_m .

Mit der vorliegenden Dissertation soll die Hypothese überprüft werden, dass die ungestörten Wachstumsgänge für Baum- und Bestandeshöhen (bei gleichartiger forstlicher Behandlung und konstanten Standortbedingungen) nach einer Transformation ($t' = t/t_m$ und $X' = X/X_m$) für

verschiedene Standorte bzw. Ertragsklassen oder Bonitäten zusammenfallen (Es zeigte sich, dass selbst die Wachstumsgänge für unterschiedliche Baumarten annähernd zusammenfallen). Eine derartige Transformation wurde bereits von ZEIDE (1993) mit dem Ziel einer einfacheren Interpretation von Modellparametern verwendet.

Des Weiteren wird einer zweiten Hypothese nachgegangen, nach der die asymptotische Endhöhe eines Baumes oder eines Bestandes unabhängig von der Baumart unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1985) etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums ist. Auch BACKMAN (1943) hatte sich bereits mit einer ähnlichen Problematik beschäftigt. Insbesondere erkannte er bereits die wichtige Rolle der Größe t_m . Als zweite Kenngröße betrachtete er jedoch nicht die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums, sondern stattdessen die maximale Größe des Zuwachsmaximums (dX/dt_{max}). Er unterscheidet in diesem Zusammenhang die Begriffe organische und physikalische Zeit.

Untersucht werden die beiden Hypothesen sowohl mit Hilfe einer modellunabhängigen Methode als auch mit einer Methode unter Nutzung des Evolonmodells von MENDE (1985). Für die Untersuchungen wurden Ertragstafelwerte der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche, Tanne, Douglasie, Roteiche, Eiche und Lärche sowie Stammanalysen von Einzelbäumen der Baumart Fichte, Buche, Kiefer und Sumpflärche verwendet.

Anhand der Ergebnisse wurde auch überprüft, wie die Erkenntnisse auf die forstliche Praxis und die forstwissenschaftliche Forschung angewendet werden können. Dabei wurde unter anderem untersucht, wie gut die Wachstumsgänge aus Ertragstafeln mittels des erwähnten einheitlichen Wachstumsprinzips alternativ beschrieben werden können. Des Weiteren ergab sich die Frage, ob sich Prognosen des Höhenwachstums schnell und einfach erhalten lassen. Dabei wird betrachtet, wie die Nutzung eines universell transformierten Wachstumsgangs die Berechnung von Prognosen vereinfacht. In diesem Zusammenhang wird auch gezeigt, wie Abweichungen vom „normalen Wachstumsgang“ mit Veränderungen der Standortbedingungen und deren zeitliche Eingrenzung in Beziehung gebracht werden können. Mit den Untersuchungen in der vorliegenden Arbeit sollen die Grenzen für das Auftreten universell transformierbarer Wachstumsgänge für einzelne Baumarten ermittelt werden. Zur Untersuchung von Unterschieden und Ähnlichkeiten sollen zusätzlich die Eigenschaften der transformierten Wachstumsgänge für verschiedene Baumarten verglichen werden. Insbesondere wird in den Untersuchungen vier Hypothesen nachgegangen.

1.1 Hypothesen

Hypothese 1:

Ein einheitliches Wachstumsprinzip beim Höhenwachstum von ungestört wachsenden Bäumen und Beständen zeigt sich nach einer Transformation (bei gleichartiger forstlicher Behandlung und konstanten Standortbedingungen) unabhängig vom Standort. Bei Verwendung relativer Koordinaten der Art $t' = t/t_m$ anstelle des Baumalters t und $X' = X/X_m$ anstelle der Höhe X , also nach Anwendung der linearen Transformationen

$$t' = \frac{t}{t_m} \quad \text{und} \quad X' = \frac{X}{X_m} \quad (1.1)$$

sind die Wachstumsverläufe für verschiedene Standorte weitgehend identisch (Vereinheitlichungshypothese) (ALBRECHT, 2006).

Hypothese 2:

Die theoretische Endhöhe eines Baumes oder eines Bestandes unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) ist, unabhängig von der Baumart, etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums.

Hypothese 3:

Mit der Bildung eines universell transformierten Wachstumsgangs für eine Baumart können Prognosen für andere Standorte derselben Baumart durchgeführt bzw. vereinfacht werden. Ein universell transformierter Wachstumsgang ergibt sich aus der Zusammenfassung einzelner Standortklassen bzw. Bonitäten einer Baumart. Störungen des Wachstumsgangs durch Veränderung des Standorts einer Baumart können mit Hilfe eines universell transformierten Wachstumsgangs zeitlich eingeordnet werden.

Hypothese 4:

Die Transformierbarkeit des Höhenwachstums für unterschiedliche Standorte auf einen universellen Wachstumsgang lässt sich auch auf andere Wachstumsgrößen (z.B. Holzmasse) von Bäumen und Beständen übertragen und zeigt ebenfalls ein einheitliches Wachstumsprinzip.

1.2 Erschwerende Umstände bei der Hypothesenüberprüfung

Für die untersuchten Wachstumsgänge für Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus den Ertragsklassen für verschiedene Baumarten standen teilweise zu wenige Ausgangsdaten vor dem Zuwachsmaximum zur Verfügung. Daher war es teilweise schwierig, das Zuwachsmaximum zu bestimmen. Aus diesem Grund wurden auch Wachstumsgänge von Einzelbäumen untersucht, welche jedoch nur in geringem Maße über einen langen Zeitraum für das Baumalter und die dazugehörige Baumhöhe vorliegen. Forstliche Maßnahmen, welche die Wachstumsgänge von Beständen und Einzelbäumen beeinflussen, sind meist nur teilweise dokumentiert.

Des Weiteren können sich im Verlauf den Bestandesalters bzw. des Alters des Einzelbaumes die Standortseigenschaften ändern, wodurch die Voraussetzung für eine einheitliche Transformation der Wachstumsgänge unabhängig vom Standort nicht mehr erfüllt ist.

Ein Nachteil allgemeiner Ertragstafeln ist die schwere Überprüfbarkeit, ob die einzelnen Ertragstafeln verschiedener Baumarten auf einem repräsentativen Material aufgebaut sind und somit systematische Fehler ausgeschlossen wurden (PRODAN, 1965). In den einzelnen Ertragstafeln sind weitgehende Information dazu nicht angegeben.

2 Wachstumsprozesse und Wachstumsmodelle

2.1 Der Wachstumsprozess

Allgemein kann das biologische Wachstum als Aufbau von organischer Substanz eines Organismus in einer bestimmten Zeit unter bestimmten Umweltbedingungen verstanden werden (THOMASIUS, 1962). Der Begriff Wachstum wurde von V. BERTALANFFY (1951) wie folgt definiert: „Wachstum ist die Größenzunahme eines lebenden Systems, welche durch die Assimilationstätigkeit desselben erfolgt.“ (in WENK/ANTANAITIS/ŠMELKO, 1990). Die Assimilation ist in diesem Zusammenhang als Aufbauprozess bzw. Wachstumsprozess zu verstehen. Bei dem Wachstumsprozess eines Organismus überwiegt der Aufbau (Anabolismus) den Abbau (Katabolismus) von organischem Material.

Das Wachstum ist ein dynamischer Prozess. Die sich mit der Zeit ändernden Wachstumskenngrößen eines Baumes sind zum Beispiel Höhe, Durchmesser, Kronenumfang, Masseninhalt des Stamms. Die Veränderung einer Wachstumskenngröße wird als Wachstum bezeichnet. Die Zunahme einer Wachstumskenngröße in einer Periode (z.B. 1, 5, 10 Jahre) wird aus forstwissenschaftlicher Sicht als Zuwachs benannt.

Lebende Systeme sind offene Systeme, die ihre Struktur und Funktion durch ständigen Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung aufrechterhalten. Lebende Systeme sind somit nie im Gleichgewicht und bauen, gegen das sich einstellende Gleichgewicht, Entropie ab (BAUER, 1935) (Entropie = thermodynamische Zustandsgröße). Die Entropie kann nach BOLTZMANN (1905) als Maß der Ordnung eines Systems verstanden werden. Je kleiner die Ordnung (d.h. je größer die Unordnung), je höher die Entropie. Um Entropie abzubauen, muss Energie aufgewendet werden. Lebende Systeme versuchen Entropie abzubauen und benötigen somit die Zufuhr von hochwertiger Energie, welche während des Prozesses zu minderwertiger Energie umgewandelt wird. Hochwertige Energie in Form von Sonnenenergie wird importiert und minderwertige Energie in Form von Biomasse exportiert. Dieser Sachverhalt begründet sich aus dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik.

Wachstumsprozesse sind in jedem wachsenden biologischen Individuum, aber auch beim Wachstum biologischer und anderer Systeme, vorzufinden. In der Forstwirtschaft sowie in der Biologie, der Soziologie und der Wirtschaftslehre sind zahlreiche Versuche gemacht worden, das Wachstum durch mathematische Funktionen oder Modelle zu erfassen. Derartige Versuche in der Forstwissenschaft gehören möglicherweise zu den ältesten (PRODAN, 1961). Die Ursache dafür lag in der langfristigen Planung der Forstwirtschaft und der Zielstellung, gesicherte Entwicklungen und Wuchsleistungen von Beständen zu erhalten. Erste Ertragstafeln gaben schon ziemlich genau den Wachstumsverlauf verschiedener Holzarten wieder.

2.2 Höhenwachstum von Beständen und Einzelbäumen

Der Begriff des „Höhenwachstums“ wird als zeitlich bedingter organischer Prozess verstanden. Er resultiert aus der Zunahme des Abstandes zwischen Scheitel und Sohle des Baumes (SLOBODA, 1971). Die Baumhöhe ist die Entfernung zwischen Scheitel und der waagerechten Ebene des Bodens (Sohle) und kann somit als Wachstumsindikator betrachtet werden. Zur Charakterisierung der Höhenentwicklung eines Baumes im Laufe seines Lebens werden die Höhen über dem entsprechenden Alter aufgetragen (KRAMER, 1988). Die graphische Darstellung der entsprechenden Wachstumskenngröße über dem Alter wird als Wachstumskurve bezeichnet (PRODAN, 1961). Die Wachstumskurve bzw. Wachstumsgänge lassen sich sowohl für einzelne Bäume wie auch für Bestände bilden. Sie hat die Form einer schiefen S-Kurve (ERTELD und HENGST, 1966). Mit Zuwachskurven werden die zeitlichen bzw. jährlichen Veränderungen der Baumhöhen dargestellt (siehe Abb. 1). Der Höhenzuwachs entsteht durch den jährlichen Höhen- oder Gipfeltrieb, wobei zwischen dem laufenden jährlichen Zuwachs und dem periodischen Zuwachs zu unterscheiden ist (PRODAN, 1951). Der laufende jährliche Zuwachs einer Größe ist die Zunahme dieser Größe innerhalb eines Jahres. So stellt beispielsweise die Länge des jährlichen Höhentriebes den laufenden jährlichen Höhenzuwachs dar. Der Zuwachs innerhalb einer Periode von mehreren Jahren (z.B. 5 Jahre) wird als periodischer Zuwachs bezeichnet (PRODAN, 1951). Werden die jährlichen Höhenzuwächse über dem betreffenden Alter aufgetragen, erhält man die Höhenzuwachskurve. Die Wachstumskurve ist demnach die Summenkurve der Zuwachskurve (oder die Zuwachskurve ist die Differenzkurve der Wachstumskurve) (PRODAN, 1951). Die Zuwachskurve hat die Form einer Optimumkurve mit kurzem steilem Anstieg in der Anfangsphase (Aufschwungphase), mit anschließender typischer Kulmination des Zuwachses (Vollkraftphase) und einem allmählichen Abfall der Kurve (Abschwungphase), die sich der Zeit-Achse in Form einer Asymptote nähert (ERTELD und HENGST, 1966).

Die Zuwachskurve entspricht mathematisch der ersten Ableitung der Wachstumskurve. Während die Höhenwachstumskurve nur einen Wendepunkt aufweist, enthält die Zuwachskurve zwei Wendepunkte (vor und nach dem Zuwachsmaximum je einen) (ASSMANN, 1961). In Abb. 1 ist eine Höhenwachstumskurve und die dazugehörige Zuwachskurve des jährlichen Höhenzuwachses abgebildet. Die angesprochenen Wendepunkte (W.P.) sind in der Wachstumskurve und der Zuwachskurve angedeutet. Da die Wachstumsgeschwindigkeit die erste Ableitung der Wachstumskurve ist, kulminiert die Zuwachskurve, wenn die Wachstumskurve ihren Wendepunkt erreicht hat.

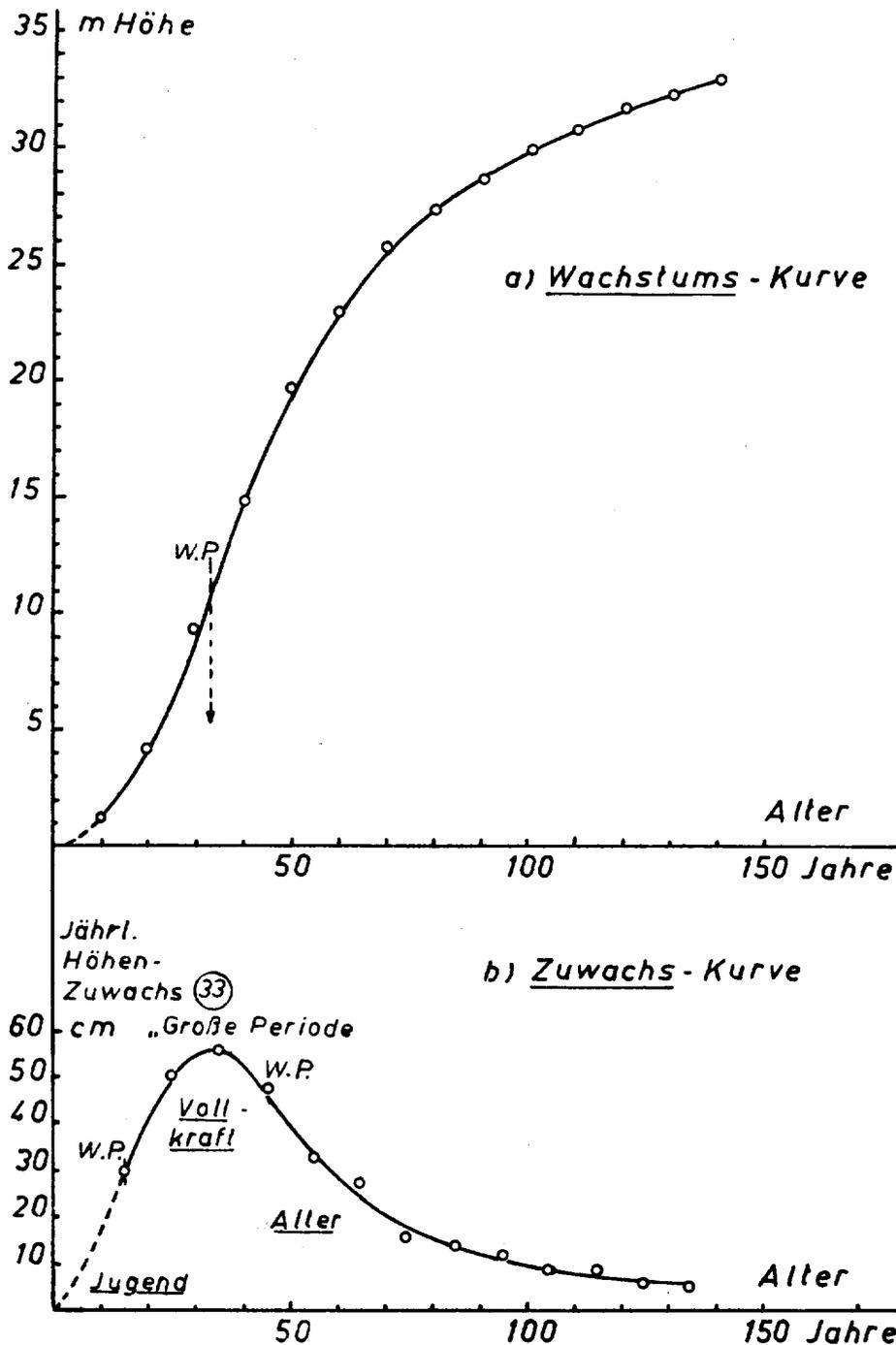


Abb. 1: Höhenwachstumskurve und Zuwachskurve einer Fichte, aus einer Stammanalyse von V. GUTTENBERG (aus ASSMANN, 1961)

Die Höhenzuwachskurven unterscheiden sich bei den einzelnen Baumarten voneinander. Sie lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen. Die sogenannten Lichtbaumarten - wie Kiefer, Lärche, Birke, Weide, Pappel, Erle und Eiche - haben ein starkes Jugendwachstum (Aufschwungphase). Der Höhenzuwachs kulminiert bereits sehr früh. Der Anstieg und der Abfall ihrer Zuwachskurven verlaufen relativ steil. Die Schattbaumarten - wie Buche, Tanne und Eibe - wachsen in ihrer Jugend langsamer und der Höhenzuwachs kulminiert später. Der Zuwachs nimmt danach nur allmählich ab

(WECK, 1948). Andere Baumarten, wie Fichte und Douglasie, befinden sich zwischen Licht- und Schattbaumarten, so dass eine Einordnung nur schwer möglich ist.

Das Wachstum an sich ist also ein dynamischer Prozess, bei dem die Waldbäume durch komplexe Reaktion auf unterschiedliche interne und externe Einflüsse reagieren. Zu diesen Einflüssen zählen biologische bzw. organische und anorganische Randbedingungen, auf die der Einzelbaum in der Vollkraftphase und Abschwungphase reagieren muss, aber auch die gespeicherten Informationen in den Erbanlagen der Bäume, die einen vorprogrammierten Wachstumsverlauf für die Aufschwungphase beinhalten (V. GADOW, 2003).

2.3 Wachstumsfunktionen

Wachstumsfunktionen beschreiben die Veränderung von ausgewählten Wachstumsindikatoren in vereinfachter aggregierter Weise als Funktion der Zeit. Sie stellen einen Spezialfall von Wachstumsmodellen dar. Wachstumsfunktionen sind vereinfachte Wachstumsmodelle. Dabei wird der Wachstumsprozess auf einfachere und vorstellbare Strukturen reduziert. Während Wachstumsfunktionen nur wenige Parameter enthalten, verfügen heutige Wachstumsmodelle mit Hilfe der Computertechnologie über zahlreiche Parameter (wie z.B. Höhe, Durchmesser, Kronenumfang, Masseninhalt des Stamms, Konkurrenz), sodass Simulationen des Waldwachstums durchgeführt werden können (PRETZSCH, 2010).

Von großem Interesse bei Wachstumsfunktionen und Wachstumsmodellen sind die Vorhersage der zu erwartenden maximalen Endwerte der einzelnen Wachstumsgrößen sowie der Zeitpunkt der maximalen Geschwindigkeit des Wachstumsprozesses (Wendepunkt der Wachstumskurve bzw. Kulmination der Zuwachskurve). Für die Untersuchungen der vorliegenden Dissertation wurden zwei Methoden gewählt. Zum einen eine modellunabhängige Methode mittels eines Polynoms dritten Grades und zum anderen das von MENDE (1985) erarbeitete Evolonmodell, das die gesamten Wachstumskurven für ungestörtes Wachstum mathematisch beschreibt und gleichzeitig eine Interpretation des Wachstumsprozesses ermöglicht. In Kapitel 4.1 und 4.2 werden die zwei Methoden eingehend vorgestellt und erläutert.

Im Folgenden sollen Wachstumsfunktionen kurz benannt werden, um einen Überblick über die teilweise forstlich relevanten Wachstumsfunktionen zu erhalten. Dabei sind b und c die Konstanten, c_1 , c_2 , c_3 , k der bestimmte Zeitpunkt bzw. der ausgewählte Wert der unabhängigen Variablen, m der Endwert der Wachstumsgröße, n der Allometrieexponent, x die unabhängige Variable (meist Zeit) und y die abhängige Variable (Wachstumsgröße) (RÖMISCH, 1982).

GOMPERTZ-Funktion (1925):

$$y = me^{-c1e^{-bx}} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.1)$$

Die GOMPERTZ-Funktion zählt zu den ältesten Versuchen, das biologische Wachstum zu formulieren. Sie ist eine asymptotische Sättigungskurve, die vorwiegend in der Biologie Anwendung fand. In der Forstwirtschaft wurde sie erst spät verwendet und ist für das Volumenwachstum von Bäumen geeignet (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

Logistische Funktion nach ROBERTSON (1908):

$$y = \frac{m}{1 + e^{-mb(x-k)}} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.2)$$

Die Differentialgleichung wurde durch eine Erweiterung für die Reaktionsgeschwindigkeit in der Chemie als Wachstumsgleichung formuliert. Diese wurde bereits durch VERHULST (1845) beschrieben. PESCHEL (1938) wies bereits die geringe Eignung als Wachstumsfunktion für Bäume nach (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

BACKMAN-Funktion (1942):

$$\log y = c2 \log^2 x \quad \text{aus LIEBOLD (1966)} \quad (2.3)$$

Die Wachstumsfunktion wurde zur Beschreibung des Wachstumsverlaufs aller Lebewesen (Mensch und Tier) und von Bäumen verwendet. In der Wachstumsfunktion wird der Ansatz der Eingangshypothese $X'=X/Xm$ und $t'=t/tm$ verwendet, wodurch aus der Wachstumsfunktion die Zuwachsfunktion (Wachstumsgeschwindigkeit) erhalten wird (LIEBOLD, 1963, 1966, BACKMAN 1943).

$$\log y = c + c1 \log x + c2 \log^2 x \quad \text{aus LIEBOLD (1966)} \quad (2.4)$$

Zum Ausgleich empirischer Wachstumsverläufe ist die Wachstumsfunktion geeignet, jedoch ist es schwierig, die Werte für Xm und tm zu bestimmen (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

Wachstumsfunktion nach RICHARDS (1959):

$$y = m(1 - c1e^{-c2x})^{c3} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.5)$$

Diese Wachstumsfunktion wurde aus der Wachstumsfunktion von v. BERTALANFFY (1951) entwickelt. In der biologischen Wissenschaft wird die Funktion nach RICHARDS oft angewendet.

Wachstumsfunktion nach MITSCHERLICH (1919):

$$y = m(1 - e^{-c2x})^{c3} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.6)$$

MITSCHERLICH'S Ertragsgesetz diente als Grundlage für die Wachstumsfunktion. Der Übergang vom Ertragsgesetz zum Wachstumsgesetz wird jedoch kritisch betrachtet (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990). Die Wachstumsfunktion ist nach PESCHEL (1938) zum Ausgleich von empirischen Wachstumsabläufen gut geeignet.

Wachstumsfunktion nach KORF (1939):

$$y = me^{-c1x^{-c2}} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.7)$$

Die Wachstumsfunktion wurde bei der Konstruktion von tschechischen Ertragstafeln entwickelt und ist zum Ausgleich des Volumen- und Höhenwachstums geeignet (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

Wachstumsfunktion nach SLOBODA (1971):

$$y = me^{c1(1-e^{bx^{-n}})} \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.8)$$

Die Wachstumsfunktion wurde speziell für das Höhenwachstum von Bäumen abgeleitet (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

Wachstumsfunktion nach THOMASIUS (1964):

$$y = m(1 - e^{c1x(1-e^{-2x})})^n \quad \text{aus RÖMISCH (1982)} \quad (2.9)$$

Die Wachstumsfunktion wurde ebenfalls speziell für das Höhenwachstum von Bäumen abgeleitet (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990).

Bereits PESCHEL (1938) machte darauf aufmerksam, dass Wachstumsverläufe Gesetzmäßigkeiten unterliegen, die jedoch noch nicht gefunden wurden. Ob es überhaupt möglich ist, das Wachstum in einer Formel zu erfassen, ist nicht sicher. Die Suche nach Wachstumsgesetzen steht in der heutigen Forschung nicht mehr im Mittelpunkt, sondern die Entwicklung von Wachstumsmodellen, in die mehrere Parameter des Baumwachstums bzw. Wachstumskenngrößen (z.B. Höhe, Durchmesser, Kronenumfang, Lichteinfluss, Nährstoffversorgung) mit einfließen. In vielen Fällen (vor allem bei Einzelbäumen) spielen unterschiedliche Einflussfaktoren (z.B. Licht, Wasser, Nährstoffe, Konkurrenz) eine nicht unwesentliche Rolle.

3 Datengrundlage und Vorbetrachtung

3.1 Ertragstafeln und Bonitierung

Ertragstafeln bzw. die forstliche Bonitierung (Bonitätsbestimmung) dienen der Einschätzung und Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit eines bereits vorhandenen oder noch zu begründenden Bestandes. Die Bonitierung kann mittelbar über den Standort (Bodenkennzahl) oder unmittelbar über verschiedene Merkmale des Bestandes (Bestandeshöhe und in der Regel durchschnittlicher Gesamtzuwachs) durchgeführt werden (KRAMER und AKÇA, 1995).

Der Begriff Bonität bedeutet Güte bzw. Qualität und leitet sich aus dem lateinischen Wort *bonitas* ab. In der Waldertragslehre ist die Bonität ein Maß zum Vergleichen und Bewerten der Ertragsfähigkeit von Waldbeständen (WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO, 1990). Die Bonitätsbestimmung bzw. die Schätzung der Bonität nennt man Bonitierung. Da die Ertragsfähigkeit nicht nur von der Standortgüte sondern auch von der Bestandesbehandlung und den genetischen Eigenschaften abhängen, ist die Bonität nur für genau definierte Behandlungsprogramme (z.B. mäßige oder starke Durchforstung) und für jeweils eine Baumart aussagefähig. Bonitäten werden in relative, absolute und dGZ-Bonitäten unterschieden und gelten als (relativer oder absoluter) Maßstab für die sich aus der Bezugs-ertragstafel ergebende Leistung eines Bestandes. Die relative Höhenbonität wird in römischen Ziffern angegeben, wobei I die höchste Leistung bedeutet. In bestimmten Bundesländern (Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Hessen) werden darüber hinaus Ertragsklassen von 0,0 und 0,5 verwendet (KRAMER und AKÇA, 1982). Die Ertragsklasse sagt nichts über die tatsächliche Zuwachsleistung eines Bestandes aus und gibt ausschließlich Auskunft, ob die Leistung einer Baumart auf dem gegebenen Standort als sehr gut, gut, mittel oder schlecht einzustufen ist. Der Höhenrahmen bzw. die Höheneinordnung für dieselbe Baumart ist bei verschiedenen Großgebiets-ertragstafeln unterschiedlich, sodass bei einer Bonitierung ein überregionaler Vergleich erschwert wird (mit Hilfe der in Kapitel 3.2 erläuterten Transformationsmethode kann diese Schwierigkeit überwunden werden). Die relative Bonität bildet das Ordnungssystem in der Ertragstafelsammlung von SCHOBER (1995), aber auch bei der Fichten-Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915). Die absolute Höhenbonität (absoluter Maßstab) gibt dagegen an, welche Bestandesmittelhöhe (meist h_g , in älteren Ertragstafeln h_L) oder Bestandesoberhöhe (meist h_o) ein Bestand im Alter von 100 Jahren erreicht (die Mittel- bzw. Oberhöhenbonität 30 bedeutet eine Bestandesmittel- bzw. -oberhöhe von 30 m im Alter von 100 Jahren). Diese Bonitierung wird z.B. bei der Fichten-Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) und der Douglasien-Ertragstafel von BERGEL (1985) (KRAMER und AKÇA, 1995) angewendet.

Bei der dGZ-Bonität wird der durchschnittliche Gesamtzuwachs eines Bestandes je Jahr und Hektar als Maßstab zur Bonitierung angegeben. Jedoch wird die Bonitierung auch hier auf der Basis der Bestandeshöhe und des Bestandesalters mit Hilfe einer Ertrags- oder Forsteinrichtungshilfstafel durchgeführt (KRAMER und AKÇA, 1995). Diese Bonität wird als Maßstab in Niedersachsen mit dGZmax (durchschnittlicher Gesamtzuwachs im Zeitpunkt seiner Kulmination) und als absolute Ertragsklasse oder Leistungsstufe zur Bonitierung in Baden-Württemberg mit dGZ100 (durchschnittlicher Gesamtzuwachs im Alter von 100 Jahren) angewendet (KRAMER und AKÇA, 1982).

Eine wichtige Kenngröße zur Bonitierung der Bestände ist die Bestandeshöhe. Es ist jedoch sehr schwierig und arbeitsaufwendig, alle Höhen eines Bestandes zu messen, sodass die Bestandeshöhen fast ausschließlich aufgrund repräsentativer Erhebungen mit einer begrenzten Anzahl von Bäumen ermittelt werden. Eine stichprobenartige Bestimmung der Höhen wird durch einen stochastischen Zusammenhang, der zwischen Brusthöhendurchmesser und den Baumhöhen eines Bestandes besteht, erleichtert. Vorwiegend werden die verschiedenen Bestandesmittelhöhen anhand der Höhen-Durchmesser-Beziehung des Baumkollektivs indirekt über den Brusthöhendurchmesser bestimmt. Dazu werden Bestandeshöhenkurven (Ausgleichsfunktion) oder eine Höhengerade (Ausgleichsgerade für meist 10 Höhen im Durchmesserbereich des gewünschten Mittelstammes) aufgestellt. Die Bestandeshöhenkurve ist die graphische oder mathematische Darstellung der Beziehung zwischen den Baumhöhen und den dazugehörigen Durchmessern eines Bestandes (KRAMER und AKÇA, 1995). Aus ihr können dann verschiedene Bestandeshöhen entnommen werden. Nach KRAMER und AKÇA (1995) sowie PRETZSCH (2002) wird unterschieden in:

- arithmetische Mittelhöhe \bar{h} ,
- Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g ,
- LOREYSche Mittelhöhe h_L ,
- Höhe des WEISESchen Mittelstammes h_w ,
- Höhe des Grundflächenzentralstammes h_z, d_{gM} ,
- Oberhöhe h_o, h_{100} oder h_{200} .

Die zur Berechnung notwendigen Formeln für die einzelnen Mittel- und Oberhöhen können der Literatur von KRAMER und AKÇA (1995) und PRETZSCH (2002, 2010) entnommen werden. Abb. 2 zeigt die relative Lage der Mittel- und Oberhöhen. Die Mittel- und Oberhöhen weisen eine bestimmte Reihenfolge ihrer Höhen auf.

$$\bar{h} < h_g \leq h_L \leq h_w < h_z < h_o \leq h_{100} \quad (3.1)$$

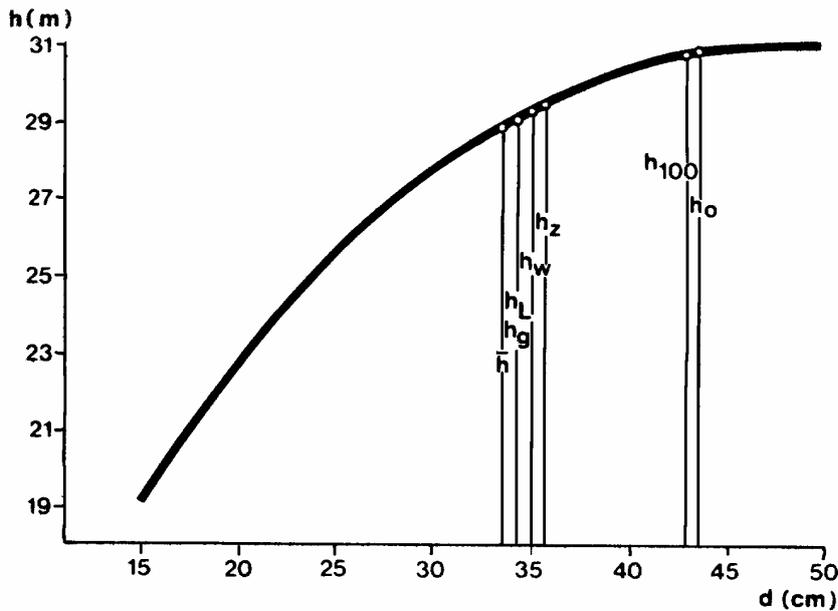


Abb. 2: Relative Lage der Mittel- und Oberhöhen (aus KRAMER und AKÇA, 1995)

Die arithmetische Mittelhöhe \bar{h} ist das arithmetische Mittel aller Baumhöhen eines Bestandes und kann nur über eine Vollaufnahme in einem Bestand ermittelt werden. Sie wird vor allem als Leistungsmaßstab in Kulturen (Düngungs-, Verbands- und Provenienzversuchen) bevorzugt (KRAMER, 1988). Die WEISE'sche Mittelhöhe h_w ist die Höhe des WEISE'schen Mittelstammes d_w und wird wie die Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g (auch Kreisflächenmittelhöhe) aus einer Bestandeshöhenkurve oder einer Höhengerade über dem entsprechenden Alter abgelesen. Die Höhe des Grundflächenmittelstammes dient zur Bonitierung und wird bei der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) mit angegeben (zur Bonitierung dient jedoch die Oberhöhe). In der Douglasien-Ertragstafel von BERGEL (1985) wird die Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g als Bonitätsmaßstab verwendet (KRAMER und AKÇA, 1995). Die Höhe des Grundflächenzentralstammes h_z wird ebenfalls über dem entsprechenden Durchmesser (Durchmesser des Grundflächenzentralstammes d_z) aus einer Bestandeshöhenkurve ermittelt. In Niedersachsen und Hessen wird sie zur Bonitierung von Beständen verwendet. Die LOREYSche Mittelhöhe h_L weicht nur geringfügig von der Höhe des Grundflächenmittelstammes h_g ab und wurde in den meist älteren Ertragstafeln als Eingangsgröße genutzt (z.B. Fichten-Ertragstafel von v. GUTTENBERG). Die LOREYSche Mittelhöhe ist schwieriger zu berechnen und wird durch die Teilung des Bestandes in fünf Klassen gleicher Stammzahl oder gleicher Grundfläche bestimmt. Die Oberhöhe h_o ist die Grundflächenmittelhöhe einer relativ gleichbleibenden Anzahl sehr unterschiedlich starker Bäume. Sie wird definiert als die Höhe des Grundflächenzentralstammes h_z der 20 % stärksten Stämme eines Bestandes (oder eine feste Anzahl von 100 bzw. 200 der stärksten Bäume). Die Oberhöhe wird z.B. in der Fichten-Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ als Eingangsgröße verwendet. Die Umstellung zu Oberhöhen und Oberdurchmessern ist vor allem in

der Anfälligkeit der rechnerischen Verschiebung der Mittelhöhen bzw. Mitteldurchmesser begründet. Die Empfindlichkeit des Mitteldurchmessers und der Mittelhöhe in Folge von Durchforstungseinflüssen nimmt dabei eine entscheidende Rolle ein (ASSMANN und FRANZ, 1965). Der Mitteldurchmesser und die Mittelhöhe beinhalten nahezu alle Bäume bzw. Baumklassen eines Bestandes, was zu zufälligen Fehlern bei der Auswertung führt und anhand von Häufigkeitsverteilungen nachgewiesen wurde (KRAMER und AKÇA, 1995).

Die Mittel- und Oberhöhen werden für die Standardauswertung grundsätzlich aus der Bestandeshöhenkurve abgegriffen. Eingangsgrößen für die Bestandeshöhenkurve bzw. für die Durchmesser-Höhen-Funktion sind die Mittel- und Oberdurchmesser sowie die Mittel- und Oberhöhen. Über diese Funktion werden die entsprechenden Mittel- und Oberhöhen berechnet. In Ertragstafeln wird beispielsweise überwiegend der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes d_g genutzt. Für die Quantifizierung der Durchmesserstruktur verwendet man nach KRAMER und AKÇA (1995) sowie PRETZSCH (2002) den:

- arithmetischen Mitteldurchmesser \bar{d} ,
- Durchmesser des Grundflächenmittelstammes d_g ,
- Durchmesser des WEISE'schen Mittelstammes d_w ,
- Durchmesser des Grundflächenzentralstammes d_z, d_{gM} ,
- Durchmesser des HOHENADL'schen Mittelstamm d_- und d_+ sowie
- Oberhöhenstamm d_0, d_{100} oder d_{200} .

Die zur Berechnung notwendigen Formeln für die einzelnen Mittel- und Oberdurchmesser können ebenfalls der Literatur von KRAMER und AKÇA (1995) und PRETZSCH (2002) entnommen werden.

Der arithmetische Mitteldurchmesser \bar{d} ist zur Charakterisierung von Durchmesserverteilungen am besten geeignet. Er berücksichtigt neben den starken und vorwüchsigen auch die schwachen und unterdrückten Bäume eines Bestandes, weshalb er bei Niederdurchforstungen in besonderem Maße einer rechnerischen Verschiebung unterliegt. Der Durchmesser des Grundflächenmittelstammes d_g wird aus dem arithmetischen Mittel der Brusthöhenquerschnitte (mittlere Grundfläche) aller Bäume eines Bestandes berechnet und ist ebenfalls gegenüber rechnerischen Verschiebungen bei Niederdurchforstungen anfällig. Der Durchmesser des WEISE'schen Mittelstammes d_w wird ausgehend vom stärkeren Ende des Bestandskollektivs aus 40 % der Stammzahl eines Bestandes gebildet. Die Berechnung erfolgt durch Stammzahlaufteilung und Interpolation. Der Durchmesser des Grundflächenzentralstammes d_z, d_{gM} entspricht dem Median (Zentralwert) der Grundflächenverteilung, dabei wird die Bestandesgrundfläche in zwei gleiche Teile geteilt. Die Durchmesser der HOHENADL'schen Mittelstämme d_- und d_+ leiten sich vom arithmetischen Mitteldurchmesser \bar{d} eines Bestandes durch Addition bzw. Subtraktion der Standardabweichung ab.

Die Oberhöhenstämme d_0 , d_{100} oder d_{200} liegen am starken Ende der Stammzahl-Durchmesserverteilung. Dabei wird das Teilkollektiv der besonders guten Zuwachsträger betrachtet, um eine rechnerische und behandlungsbedingte Verschiebung zu vermeiden. Entweder werden die 20 % stärksten Stämme oder eine feste Anzahl von 100 bzw. 200 der stärksten Bäume als Abgrenzung des Teilkollektivs betrachtet.

In Abb. 3 wird die relative Lage der Mittel- und Oberdurchmesser dargestellt. Sie weisen eine bestimmte Reihenfolge ihrer Stärken auf.

$$d. < \bar{d} < d_g \approx d_w < d_z < d_+ \leq d_0 \leq d_{100} \quad (3.2)$$

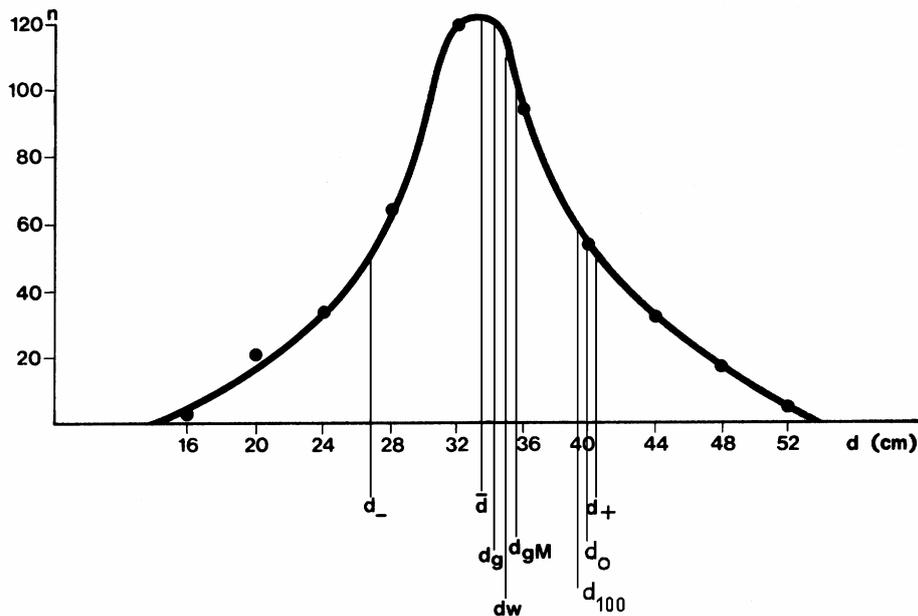


Abb. 3: Relative Lage der Mittel- und Oberdurchmesser n =Bestandesstammanzahl (aus KRAMER und AKÇA, 1995, abgeändert)

Der Charakter der heute gebräuchlichen Ertragstafeln ist auf drei Beziehungen begründet, die statistisch aus Beobachtungsdaten abgeleitet werden und die Einschätzung der Gesamtwuchsleistung auf einem gegebenen Standort ermöglichen. Diese Beziehungen sind:

1. Höhe = f_1 (Alter),
2. Gesamtwuchsleistung = f_2 (Höhe),
3. Gesamtwuchsleistung = f_3 (Alter).

Die erste Beziehung beinhaltet, dass Waldbestände auf einem gegebenen Standort eine bestimmte Höhenentwicklung in Abhängigkeit vom Alter durchlaufen. Aus den Beobachtungsdaten von Versuchs- bzw. Beobachtungsflächen wird ein Höhenfächer abgeleitet, der aus einer Schar von Höhenwachstumskurven für verschiedene Bonitäten besteht. Der zweiten Beziehung liegt der

Gedanke zugrunde, für ein gegebenes Alter nicht nur die Mittelhöhe sondern auch die angestrebte Gesamtwuchsleistung des Bestandes abbilden zu können. Bei bekannter erster Beziehung kann dadurch zunächst die Mittelhöhe in Abhängigkeit vom Alter und darauf aufbauend die Gesamtwuchsleistung in Abhängigkeit von der Mittelhöhe für beliebige Bestände hergeleitet werden, wenn deren Alter und Mittelhöhe bekannt sind. Daraus folgt die dritte Beziehung (PRETZSCH, 2001, 2002).

Nach ASSMANN (1961) muss eine Ertragstafel „als Wahrscheinlichkeitstafel zum Veranschlagen zu erwartender Holzerträge, als abstrahiertes Idealbild gleichaltriger Hochwaldbestände und als durchschnittliches Muster der zu erwartenden Bestandesausformung unter dem Einfluss bestimmter Durchforstungsarten“ dienen können.

Erste Anleitungen zur Aufstellung von Ertragstafeln wurden von RÉAUMUR 1721 und PAULSEN 1795 vorgenommen, wobei in den damals schwach durchforsteten Beständen der Holzvorrat als Bonitätsmaßstab diente (PRETZSCH, 2010). Die zuerst entstandenen Tafeln sind durch eine unzureichende Datengrundlage, die regional begrenzte Gültigkeit und ihre geringe Vergleichbarkeit wegen methodischer Unterschiede in der Ertragstafelkonstruktion gekennzeichnet. Ende des 19. Jahrhunderts reagierte der „Verein Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten“ mit einem „Arbeitsplan“ für die Aufstellung von Ertragstafeln, um die Vielzahl häufig unkoordinierter Ertragstafeluntersuchungen zu vereinheitlichen (PRETZSCH, 2001). Dies war der Grundstein für den Aufbau einer in Konzeption und Konstruktion einheitlichen Serie von Ertragstafeln für alle wichtigen Baumarten. Sie stellen die wichtigsten Bestandeskennwerte (Stammzahl, Mittelhöhe, Mitteldurchmesser, Grundfläche, Formzahl, laufender jährlicher Zuwachs, Gesamtwuchsleistung und durchschnittlicher jährlicher Gesamtwuchs) nach festgelegten Programmen in behandelten homogenen Beständen für (in der Regel) fünfjährige Intervalle tabellarisch dar. Mit der Einführung einer intensiven Durchforstung setzte sich die Bestandeshöhe als Bonitätsweiser durch. Heute werden die Bestände nach der Bestandesmittelhöhe bzw. der Bestandesoberhöhe bonitiert. Dies war die Einleitung für eine weitere Generation von Ertragstafeln, die in den fünfziger und sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts entstanden und die zum Übergang zu EDV-gestützten Wuchsmodellen führten (PRETZSCH, 2001). Grundlage für die Auswertung mit statistischen Verfahren ist ein umfangreiches Datenmaterial von Versuchsflächen. Seit den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts entstanden moderne Bestandeswachstumssimulatoren und damit weiterentwickelte Bestandeswuchsmodelle. Sie stellen die Bestandesentwicklung auf verschiedenen Standorten, bei unterschiedlichen Begründungstammzahlen und Behandlungsprogrammen dar, und die zu erwartende Bestandesentwicklung wird vom Computer mit Hilfe eines EDV-Programms nachgebildet (PRETZSCH, 2002).

3.2 Stammanalysen

Mit Hilfe von Stammanalysen kann der Wachstumsverlauf eines Baumes vollständig rekonstruiert werden. Dabei wird ein liegender Stamm (Probestamm) in einzelne Abschnitte (Sektionen) eingeteilt und jeweils eine Stammscheibe am Ende jeder Sektion entnommen. Auf den einzelnen Stammscheiben sind dann die Jahrringe sichtbar. Auf der Stammscheibe wird die Höhe des Trennschnittes über dem Stocktrennschnitt, die Baumnummer, das Entnahmedatum, die Himmelsrichtung sowie ggf. Hangneigung und die Stammscheibennummer verzeichnet. Auf jeder einzelnen Stammscheibe kann nun nach einer Aufbereitung der Querschnittsfläche die Anzahl der Jahrringe ausgezählt bzw. abgelesen werden (SCHNEIDER, 1955).

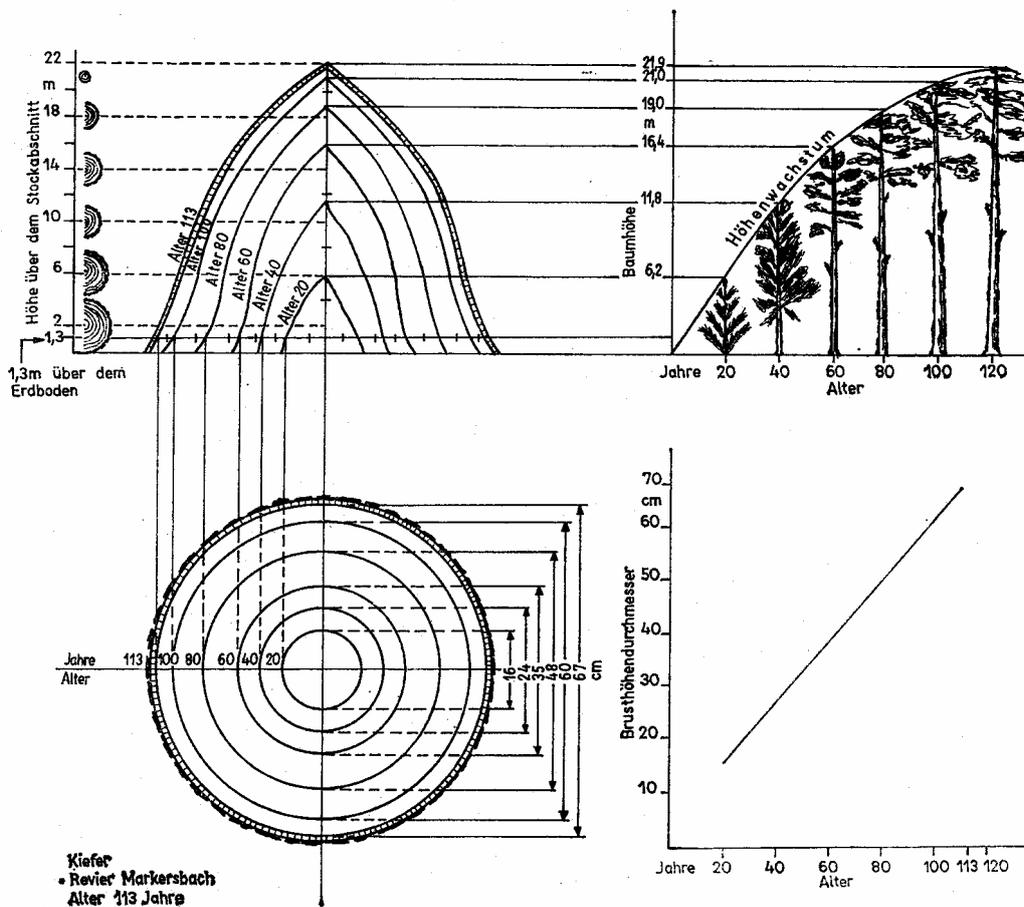


Abb. 4: Rekonstruktion eines Wachstumsverlaufes mittels einer Stammanalyse (aus WENK/ANTANAITIS/ŠMELKO, 1990)

Das Alter, das der Baum hatte, als er die Höhe erreichte, aus der die Stammscheibe entnommen wurde, ergibt sich aus der Anzahl der Jahrringe am Boden minus der Jahrringe auf der Stammscheibe. In der Regel werden zu der Anzahl der Jahrringe am Stocktrennschnitt fünf Jahre dazu addiert, um die Zeit, die der Baum braucht, die Stockhöhe (Entnahmehöhe der untersten Scheibe) zu erreichen, auszugleichen (PRODAN, 1965).

Das Alter des Baumes in der jeweiligen Sektion (Ende der Sektion) ergibt sich aus der Differenz des Alters des Probestammes zum Zeitpunkt der Fällung minus der Anzahl der Jahrringe auf der betreffenden Stammscheibe der Sektion. Somit erhält man für jede Stammscheibe einer Sektion das Alter und die Höhe des Probestammes. Mit der gleichen Vorgehensweise können das Alter und der Durchmesser einer Stammscheibe für die jeweilige Sektion bestimmt werden. Anhand der erhaltenen Werte kann das Höhen- und Durchmesserwachstum rekonstruiert und daraus ein Schaftprofil erstellt werden (Abb. 4). Weiterführend kann die Formzahl berechnet werden, mit deren Hilfe das Volumen des Stammes bestimmbar ist. Auf diese Weise können auch Wachstumsgänge für das Stammvolumen berechnet werden.

Jeder Baum unterliegt im Laufe seines Wachstums jährlichen, unterschiedlich starken Zuwachsschwankungen. Diese werden durch verschiedene Umweltfaktoren, vorwiegend durch Witterungseinflüsse (z.B. Niederschlag) hervorgerufen. Dadurch ist es schwierig, aus dem Wachstums- und Zuwachsverlauf die allgemeinen Gesetzmäßigkeiten zu erkennen. Um dieses Problem zu umgehen, wird der Kurvenverlauf geglättet. Eine Möglichkeit der Glättung besteht in der Mittelwertbildung der Wachstumswerte, wie z.B. die Höhen von Einzelbäumen gleichen Alters. Eine Mittelwertbildung ist beispielsweise über 5-jährige oder 10-jährige Wachstums- und Zuwachsperioden möglich. Dadurch wird der jährliche Einfluss zufälliger Wachstums- und Zuwachsschwankungen weitgehend entfernt. In Abb. 5 wird der Ausgleich der Schwingungen durch Mittelung von fünf Bäumen bei einer 5-jährigen Zuwachsperiode deutlich sichtbar.

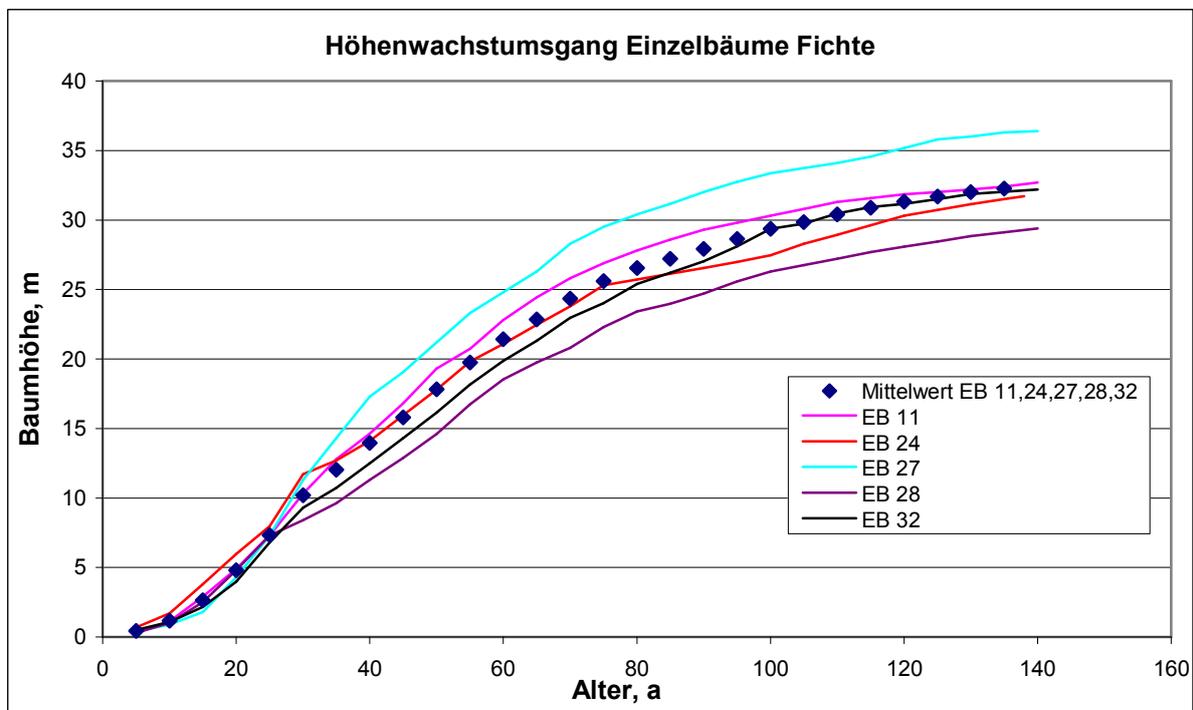


Abb. 5: Mittelwertbildung von fünf Probestämmen der Baumart Fichte am Standort Weißwasser

Mit der Mittelwertbildung von mehreren Stammanalysen können repräsentative Wachstumsabläufe erhalten werden. WENK bemerkt jedoch, dass durch die Mittelwertbildung auch die zufälligen Schwankungen zwischen den Individuen (genetische Eigenschaften und die soziologische Stellung des Baumes im Bestand) eliminiert und dadurch gesetzmäßige Unterschiede verschleiert werden können (WENK, ANTANAITS, ŠMELKO, 1990). Allgemeine Regeln für eine Glättung und damit des Ausgleichens von Schwingungen gibt es nicht. Es liegt im Ermessen jedes ertragskundlich forschenden Wissenschaftlers, die verschiedenen Methoden zum Ausgleichen von Schwankungen anzuwenden. Meist spielt die Erfahrung des Betrachters eine nicht unwesentliche Rolle.

Bei der Stammanalyse von Einzelbäumen fällt auf, dass die einzelnen Höhenwerte in den jeweiligen Abschnitten bzw. Sektionen unterschiedlichen Baumaltern entsprechen. So fallen die Höhenwerte nicht mit klassischen Altersaufteilungen zusammen. (5, 10, 15, 20Jahre). In Tab. 114 des Anhangs sind Stammanalysen von zwei verschiedenen Probestämmen der Baumart Fichte angegeben. Daran wird ersichtlich, dass auf die einzelnen Sektionshöhen unterschiedliche Baumalter entfallen. Für eine Mittelwertbildung von Probestämmen nach einer Stammanalyse müssen die Daten auf eine einheitliche Altersangabe normiert werden. Die Höhe für die Normierung kann mit Hilfe der linearen Interpolation oder unter Verwendung einer Funktion bzw. eines Wachstumsmodells berechnet bzw. bestimmt werden.

3.3 Einfluss von Provenienzen

Bevor auf Provenienzen näher eingegangen wird, soll zunächst auf die Definition von „autochthon“ eingegangen werden. In der Broschüre „Autochthone Pflanzen für Bayern - Ursprung, Aufzucht, Kontrolle und Verwendung“ der Erzeugergemeinschaft für Autochthone Baumschulerzeugnisse in Bayern (2004) wird „autochthon“ wie folgt definiert: Pflanzen sind dann „autochthon“, wenn sie aus dem Samen wildwachsender Stammpflanzen vermehrt wurden. Diese Stammpflanzen müssen sich nachweislich ohne menschliche Hilfe in der freien Landschaft angesiedelt haben. Alle auf diese Weise erzeugten Pflanzen gelten in der Folge für die Herkunftsregion und innerhalb des angestammten Verbreitungsgebiets (aus dem die Samen stammen) als „autochthon“. Dagegen werden mit „Provenienzen“ in der Forstwirtschaft Bäume bezeichnet, die auf einem Standort wachsen, von dem sie nicht herkommen. Häufig entstanden sie auf unterschiedlichen Evolutionswegen (wie z.B. die Schwedische Fichte nach der Eiszeit). Provenienzen werden häufig noch nach unterschiedlichen Herkunftsn unterteilt. Die Eigenschaften unterschiedlicher Provenienzen können sich merklich unterscheiden (KRABEL ET AL., 2010). So können sich z.B. für die Höhe von Douglasien im Alter von 60 Jahren Unterschiede bis zu zehn Meter ergeben. Auch bei Hybridlärchen (Kreuzung zwischen Europäischer Lärche [*Larix decidua*] und japanischer Lärche

[*Larix kaempferi*]) kommen Ertragsklassenunterschiede von zwei bis drei Ertragsklassen im Vergleich mit den Ausgangsarten vor (WOLF, 2011).

In dieser Arbeit spielen die Ergebnisse der Untersuchungen von v. GUTTENBERG (1915) aus methodischen Gründen eine wesentliche Rolle. Es wird davon ausgegangen, dass diese Bestände autochthon waren.

Die sukzessive Verbreitung verschiedener Baumarten nach der Eiszeit aus den bestehenden Refugien führte zu einer Ausbreitung von Pflanzen einzelner Baumarten, aber auch zu einer Spezialisierung der Baumarten auf den zu besiedelnden Standort. Autochthone Bestände sind meist sehr gut an den Standort und die jeweiligen Umweltbedingungen angepasst. Dies bedeutet jedoch nicht, dass Bäume, die von anderen Herkünften (Provenienzen) stammen, genauso gut oder sogar besser an einen bestimmten Standort angepasst sein können. Das heißt, nicht autochthone Bäume können besser an den Standort angepasst sein als die sich lokal entwickelten autochthonen Bestände und eine höhere Anpassungsfähigkeit als autochthone Bäume besitzen (ROHMEDER, 1972).

Bei der Neubegründung oder Verjüngung von Beständen wird darauf geachtet, dass die Wuchsbedingungen des Herkunftsgebietes des Saatgutes mit den Wuchsbedingungen auf den aufzuforstenden Standort übereinstimmen. Oder es wird einfach das Saatgut aus den autochthonen Bäumen des Gebietes gewonnen. Bei manchen Beständen ist jedoch die Herkunft des Saatgutes unbekannt. Diese Aufforstungen sind vor allem in Notzeiten nach starken Eingriffen des Menschen oder durch Naturkatastrophen selbst geschehen. Dabei kann es vorkommen, dass sich autochthone Bestände mit nichtautochthonen Beständen mischen und unterschiedliche Herkünfte in demselben Bestand vorzufinden sind. Dies kann sich durch ein unterschiedliches Wachstum der einzelnen Bäume im Bestand zeigen. Diese unterschiedlich wachsenden Bäume beeinträchtigen vor allem Wachstumsanalysen. (Wenn die Mittelhöhe des Bestandes für Untersuchungen verwendet wird, werden zwei verschiedene Herkünfte in die Untersuchungen mit einbezogen. Wird jedoch die Oberhöhe betrachtet, wird möglicherweise nur die Herkunft der besser angepassten Baumart in die Untersuchungen einfließen, da dabei nur das stärkste Kollektiv berücksichtigt wird.)

Störungen, die in einem Bestand zu erkennen sind, können durch solche unterschiedlichen Herkünfte ausgelöst werden und schwer zu erkennen sein. Deshalb ist es wichtig zu wissen, ob der zu untersuchende Bestand künstlich aufgefördert wurde oder sich über Generationen selbstständig verjüngt hat. Bei einer künstlichen Aufforstung ist das Herkunftsgebiet von großem Interesse.

Ergebnisse von Untersuchungen an Beständen, von denen nicht bekannt ist, ob sie Provenienzen enthalten, können zu schwer interpretierbaren Resultaten führen.

3.4 Datenmaterial/Ausgangsdaten

Um die aufgestellten Hypothesen (Kapitel 1.1) zu überprüfen, wurden Bestandeshöhen aus Ertragstafeln für verschiedene Baumarten sowie Höhen von Einzelbäumen im Bestand verwendet. Die Untersuchungen wurden vorwiegend an Bestandeshöhen aus Ertragstafeln durchgeführt, da sich herausstellte, dass Messungen von ca. 10 Einzelbäumen zur selben Standortklasse über einen langen Altersbereich nur äußerst selten existieren oder zugänglich sind.

Erste Untersuchungen wurden an Ertragstafelwerten von v. GUTTENBERG (1915) durchgeführt. Dabei handelt es sich um die Baumart Fichte und um die darin angegebenen Mittelhöhen für fünf ausgewiesene Standortklassen. Grundlage der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) waren Stammanalysen aus Fichtenbeständen im Hochgebirge in Österreich. Für weitere Untersuchungen anhand der Baumart Fichte dienten die vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern von ASSMANN/FRANZ (1963) und die DDR-Fichtenertragstafel (1984). Die Bestände aus den Untersuchungen für die Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ befanden sich im süddeutschen Raum. Für die DDR-Fichtenertragstafel wurden Bestände aus dem Gebiet der ehemaligen DDR verwendet. Aus beiden Ertragstafeln wurden das Alter und die dabei erreichte Bestandesmittelhöhe verwendet. Mittelhöhen von Ertragstafeln unterliegen einer rechnerischen Verschiebung aufgrund der Veränderung des Bestandesgefüges im Laufe des Bestandeswachstums (Durchforstungsmaßnahmen), weshalb die Nutzung von Oberhöhen angebracht wäre (KRAMER, 1959). Um trotzdem auf die Ertragstafelwerte von v. GUTTENBERG (1915) zurückgreifen zu können, wurden dennoch überwiegend Mittelhöhen verwendet und mit anderen Mittelhöhen von Ertragstafeln verglichen. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurden zusätzlich die angegebenen Bestandesoberhöhen der einzelnen Standortklassen aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ und der DDR-Fichtenertragstafel verwendet.

In der Fichtenertragstafel von ASSMANN/FRANZ sind drei verschiedene Ertragsniveaustufen angegeben. Dabei handelt es sich um ein oberes, mittleres und unteres Ertragsniveau. Für die vorliegende Untersuchung wurde das mittlere Ertragsniveau verwendet. In der DDR-Fichtenertragstafel sind keine Ertragsniveaustufen angegeben, sondern Wuchssysteme. Unterschieden wird dabei in ein schnelles, mittleres und langsames System. Die Mittelhöhen von Beständen aller drei Systeme wurden in dieser Arbeit verwendet. Für alle Mittelhöhen von Beständen aus den drei Fichtenertragstafeln ist eine mäßige Durchforstung der Bestände zugrunde gelegt.

Im weiteren Verlauf der Untersuchung wurde das Interesse auf weitere Baumarten, insbesondere auch auf Laubbaumarten, ausgedehnt. Die Auswahl fiel zunächst auf die Baumart Roteiche, da diese Baumart zu den Laubbäumen gehört und eine hinreichende Datengrundlage zur Verfügung steht. Die Daten wurden aus der Veröffentlichung von BAUER „Die Roteiche“ (1953) und der

Veröffentlichung von SCHOBER „Ertragstafeln wichtiger Baumarten“ (1995) entnommen. Die untersuchten Flächen befinden sich in der damaligen BRD und in Holland (Niederlande). Wichtig für die Auswahl der Datengrundlage waren außerdem möglichst frühzeitige Angaben zu Alter und Höhe der Bestände, sodass eine Kulmination des Zuwachsmaximums vor bzw. mit Beginn der angegebenen Ertragstafelwerte möglichst noch nicht erreicht ist. Auch bei den Beständen der Roteiche wurde eine mäßige Durchforstung durchgeführt.

Des Weiteren folgten die Ertragstafelwerte für Tanne von HAUSSER (1956 aus SCHOBER, 1995), für Lärche von SCHOBER (1946 aus SCHOBER, 1995), für Rotbuche von WIEDEMANN (1931 aus ERTELD, 1962) und von SCHOBER (1967 aus SCHOBER, 1995), für Douglasie von BERGEL (1985 aus SCHOBER, 1995), für Kiefer von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) und für Eiche von ERTELD (1961 aus ERTELD, 1962). Aus den Ertragstafeln wurden hier nur die Bestandesmittelhöhe und das entsprechende Baumalter als Datengrundlage verwendet. Den Bestandesmittelhöhen der Ertragstafeln ist, wie bei der Baumart Fichte und Roteiche, als Durchforstungsprogramm bzw. Bestandesbehandlung mäßige Durchforstung zugrunde gelegt.

Für die Untersuchung werden auch Ertragstafelwerte der Küstentanne von BRADLEY, CHRISTIE und JOHNSTON (1966) mit Beständen aus Großbritannien sowie Eukalyptus von GADOW et al. (1987) mit Beständen aus Südafrika verwendet.

Um die Ergebnisse aus den Ertragstafelwerten zu überprüfen bzw. abzusichern, wurden zusätzlich Baumhöhen von Einzelbäumen betrachtet. Die Daten der Einzelbäume für die Baumhöhe und das Baumalter wurden aus Ergebnissen von Stammanalyseuntersuchungen genutzt. Dabei spielt vor allem die Baumart Fichte eine bedeutende Rolle, da von dieser Baumart einige Stammanalysen vorhanden sind und diese Baumart die Grundlage der Ausgangshypothese bildet. Hierzu wurden Einzelbäume verwendet, die in der Untersuchung von v. GUTTENBERG „Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge“ (1915) angegebenen wurden. v. GUTTENBERG (1915) erhielt die Werte von Einzelbäumen aus Stammanalysen aus den betrachteten Beständen. Weiterhin stellte RÖHLE (TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik) Stammanalysen von Einzelbäumen der Standorte Denklingen 005 und 084 zur Verfügung, welche er für seine Untersuchung „Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern“ (1995) verwendet hatte. Die Versuchsflächen befinden sich im südbayrischen Raum und wurden in den Untersuchungen von ASSMANN/FRANZ für die vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern (1963) verwendet. Aus den beiden Versuchsflächen standen für die vorliegende Untersuchung jeweils sechs Einzelbäume zur Verfügung. Der Bestand auf der Versuchsfläche Denklingen 05 wurde im Jahr 1847 und der Bestand auf der Versuchsfläche Denklingen 84 im Jahr 1880 jeweils auf einem alten Waldboden begründet.

Weitere Stammanalysen stammen aus Beständen in Sachsen. Die Standorte Weißwasser (Nordsachsen) und Bärenstein (Erzgebirge) wurden durch die TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, zur Verfügung gestellt und die Stammanalysen an jeweils zehn Bäumen pro Standort von MARSCHNER (1972) durchgeführt.

Zusätzlich wurden für die Baumart Fichte Einzelbäume aus den Untersuchungen von HERING (1994) verwendet. Mit der Verwendung der Einzelbäume für die Baumart Fichte aus den Untersuchungen von HERING (1994) wurden gleichzeitig die Stammanalysen von Bucheneinzelbäumen untersucht, denn die Einzelbäume der Buche und Fichte sind in Konkurrenz zueinander aufgewachsen.

Für die Baumart Kiefer sind Einzelbäume des Standorts Chorin 95 aus Stammanalysen einer Dauerbeobachtungsfläche in die Untersuchung eingeflossen, welche von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) für die Erstellung der DDR-Kieferntragstafel (Ertragstafel für Kiefer im nordostdeutschen Tiefland) verwendet wurde. Die Daten stellte das Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde zur Verfügung.

Zur Verifizierung der Ergebnisse kamen zusätzlich die Höhenentwicklungen von drei Einzelbäumen der Baumart Sumpflärche in Betracht. Die Einzelbäume wurden durch KERKMANN (2001) analysiert und dabei die jeweilige unterschiedliche soziologische Stellung im Bestandesgefüge betrachtet.

Zur Übersichtlichkeit wurden die relativen Höhenbonitäten aller Ertragsklassen bzw. Bonitäten nicht wie in der Literatur in römischen Ziffern angegeben, sondern mit arabischen Zahlen versehen. In Tab. 1 soll ein Überblick über das Datenmaterial gegeben werden.

Tab. 1: Übersicht zu den verwendeten Ertragstafeln und Datenwerten von Einzelbäumen

Baumart	Autoren der Ertragstafel bzw. Zurverfügungstellung der Einzelbäume durch	Wachstums-kenngröße	Standort	Anzahl der Ertragklassen/Bonitäten oder der Einzelbäume	Beginn der Altersangabe	Literatur
Fichte	V. GUTTENBERG (1915)	Bestandesmittelhöhe	Nördliche Alpen	5	SK1-4 ab 10 Jahre SK5 ab 20 Jahre	V. GUTTENBERG (1915)
	V. GUTTENBERG (1915)	Einzelbaumhöhen	Nördliche Alpen	aus der Standortsklasse 1-3 je 10 Einzelbäume	ab 10 Jahre	V. GUTTENBERG (1915)
	V. GUTTENBERG (1915)	Volumenzuwachs Schaftholzvorrat	Nördliche Alpen	5	SK1-4 ab 10 Jahre SK5 ab 20 Jahre	V. GUTTENBERG (1915)
	ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)	Bestandesmittelhöhe	Schwaben, Bayern, Baden-Württemberg	11	ab 20 Jahre	ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)
	ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)	Bestandesoberhöhe	Schwaben, Bayern, Baden-Württemberg	11	ab 20 Jahre	ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)
	WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984)	Bestandesmittelhöhe	Versuchsflächen der ehemaligen DDR	S-System 9 M-System 9 L-System 10	ab 10 Jahre	WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984)
	Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, TU Dresden	Einzelbaumhöhen	Bayern (Denklingen 005 und 084)	2 Gruppen mit je 6 Einzelbäumen	ab 7 Jahre ab 13 Jahre	RÖHLE (1995)
	Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, TU Dresden	Einzelbaumhöhen	Weißwasser	10 Einzelbäume	ab 5 Jahre	MARSCHNER (1972)
	Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, TU Dresden	Einzelbaumhöhen	Bärenstein	10 Einzelbäume	ab 3 Jahre	
HERING (1994)	Einzelbaumhöhen	Willingen	3 Einzelbäume	ab 9 und 7 Jahre	HERING (1994)	
Kiefer	LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975)	Bestandesmittelhöhe	Norddeutsches Tiefland der ehemaligen DDR	12	M34-M18 ab 5 Jahre M16-M12 ab 10 Jahre	LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975)
	Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde	Einzelbaumhöhen	Chorin 95	8 Einzelbäume	ab 9, 8, 7, 6 und 4 Jahre	
Roteiche	BAUER (1953)	Bestandesmittelhöhe	Westdeutschland	3	ab 5 Jahre	aus SCHOBER (1995)
Tanne	HAUSSER (1956)	Bestandesmittelhöhe		7	EK 1 ab 25 Jahre EK1/2 und EK2 ab 30 Jahre EK2/3 und EK3 ab 35 Jahre EK3/4 und EK4 ab 40 Jahre	aus SCHOBER (1995)
Rotbuche	WIEDEMANN (1931)	Bestandesmittelhöhe		9	ab 30 Jahre	aus ERTELD (1962)
	SCHOBER (1967)	Bestandesmittelhöhe		4	ab 30 Jahre	aus SCHOBER (1995)
	HERING (1994)	Einzelbaumhöhen	Willingen	3 Einzelbäume	ab 10, 8 und 6 Jahre	HERING (1994)
Douglasie	BERGEL (1985)	Bestandesmittelhöhe	Nordwestdeutschland	3	ab 20 Jahre	aus SCHOBER (1995)
Lärche	SCHOBER (1946)	Bestandesmittelhöhe	Nordwestdeutschland	5	ab 5 Jahre	aus SCHOBER (1948, 1995)
Eiche	ERTELD (1961)	Bestandesmittelhöhe		6	EK 1 ab 20 Jahre EK1/2 und EK2 ab 25 Jahre EK2/3 und EK3 ab 30 Jahre EK3/4 ab 40 Jahre	aus ERTELD (1962)
Robustapappel	RÄTZLE (1969)	Bestandesmittelhöhe		3	ab 5 Jahre	aus SCHOBER (1995)
Küstentanne	BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966)	Bestandesmittelhöhe		5	ab 15 Jahre	BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966)
Eukalyptus	V. GADOW (1987)	Bestandesmittelhöhe		3	ab 1 Jahr	V. GADOW ET. AL. (1987)
Sumpflärche	KERKMANN (2001)	Einzelbaumhöhen	Schlitz	3 Einzelbäume	ab 6 und 2 Jahre	KERKMANN (2001)

3.5 *Verwendete Computerprogramme*

Auf der Grundlage von Ertragstafelwerten sowie verschiedener Stammanalysen von Einzelbäumen konnten alle Berechnungen durchgeführt werden. Die Analyse und Berechnung der Daten erfolgt mit dem Microsoftprogramm „Excel“. Das Tabellenkalkulationsprogramm wurde vor allem für die Berechnungen des Polynoms 3. Grades, für Interpolationsberechnungen und zur Erstellung von Diagrammen genutzt. Bilder oder Schemata wurden mit dem Programm „Adobe Photoshop“ bearbeitet. Die Dissertation wurde mit dem Microsoftprogramm „Word“ verfasst.

Die Berechnungen der Wachstumskurven und die Optimierung der Modellparameter mit Hilfe des Evolonmodells an vorgegebenen Datensätzen wurden in den ersten Untersuchungen mit dem Programm CHS2 durchgeführt. Die Parameterwerte wurden dabei mittels nichtlinearer Parameteroptimierung unter Verwendung des Programmsystems MINUIT (JAMES und ROOS, 1977) bestimmt. Das Programm CHS2 und das Programmsystem MINUIT wurden bereits durch BRAUN (1999) und HARTMANN (2004) sowie MENDE und ALBRECHT (2001) eingehend beschrieben.

Als Abstandsfunktion wurde die Summe der Quadrate der relativen Differenzen zwischen Datenwerten $X^d(t_i) = X_i^d$ und den entsprechenden Modellwerten $X(t_i) = X_i$ zu den Zeitpunkten t_i (t_i = Baumalter in Jahren) gewählt.

In MINUIT stehen drei verschiedene Verfahren zur Minimierung der Abstandsfunktion F zur Verfügung. Diese drei Verfahren können mittels spezieller Kommandocodes ausgeführt werden. In Abb. 6 ist das Ablaufschema zur Durchführung der Parameteroptimierung mit dem Programm CHS2 dargestellt. Mit dem Programm können drei mögliche Verfahren zur Minimierung der Abstandsfunktion durchgeführt werden (Monte-Carlo-, Nelder/Mead- und Gradientenverfahren nach Davidon-Fletscher-Powell).

Um die Anpassungsgüte der Berechnungen zu erhöhen und weitere Minimierungsverfahren zu nutzen, wurde eine neue Programmversion des Programmsystems MINUIT von RÖMISCH (2009) programmiert. Die Programmversion wurde in der Programmiersprache Delphi 5 und Delphi 7 geschrieben. Das Programm MINUIT eignet sich wie die vorhergehende Version für Minimierungsprobleme mit einem Minimierungskriterium und einer nicht zu großen Zahl von Variablen. In der Delphi-Version ist die bisherige nichtlineare Regression (wie auch im Programm CHS2) mit dem Evolonmodell implementiert. Darin sind die Monte-Carlo-Methode, das Simplexverfahren nach NELDER und MEAD (1965) und das Gradientenverfahren nach Davidon-Fletscher-Powell zur Parameteroptimierung der vorhergehenden Version enthalten. Zusätzlich wurden das Verfahren nach LEVENBERG (1944) und MARQUARDT (1963) und das Minimierungsverfahren nach PAUL (1975) integriert. In Abb. 7 ist die Benutzeroberfläche der Programmversion von RÖMISCH dargestellt. Mit dem Programm kann nach dem Start im

Batchmodus oder im Dialogmodus gearbeitet werden. Für die Berechnungen wurde ausschließlich der Dialogmodus genutzt, da das Programm gleichzeitig auf Funktionalität getestet wurde und für die Untersuchung Parameteränderungen schneller erkannt werden konnten. In der Programmversion stehen graphische Darstellungen zum angepassten Höhenwachstumsverlauf, zum Zuwachsverlauf, dem relativen und absoluten Fehler des Höhenwachstumsverlaufs und zum relativen Zuwachsverlauf zur Verfügung (siehe Abb. 8).

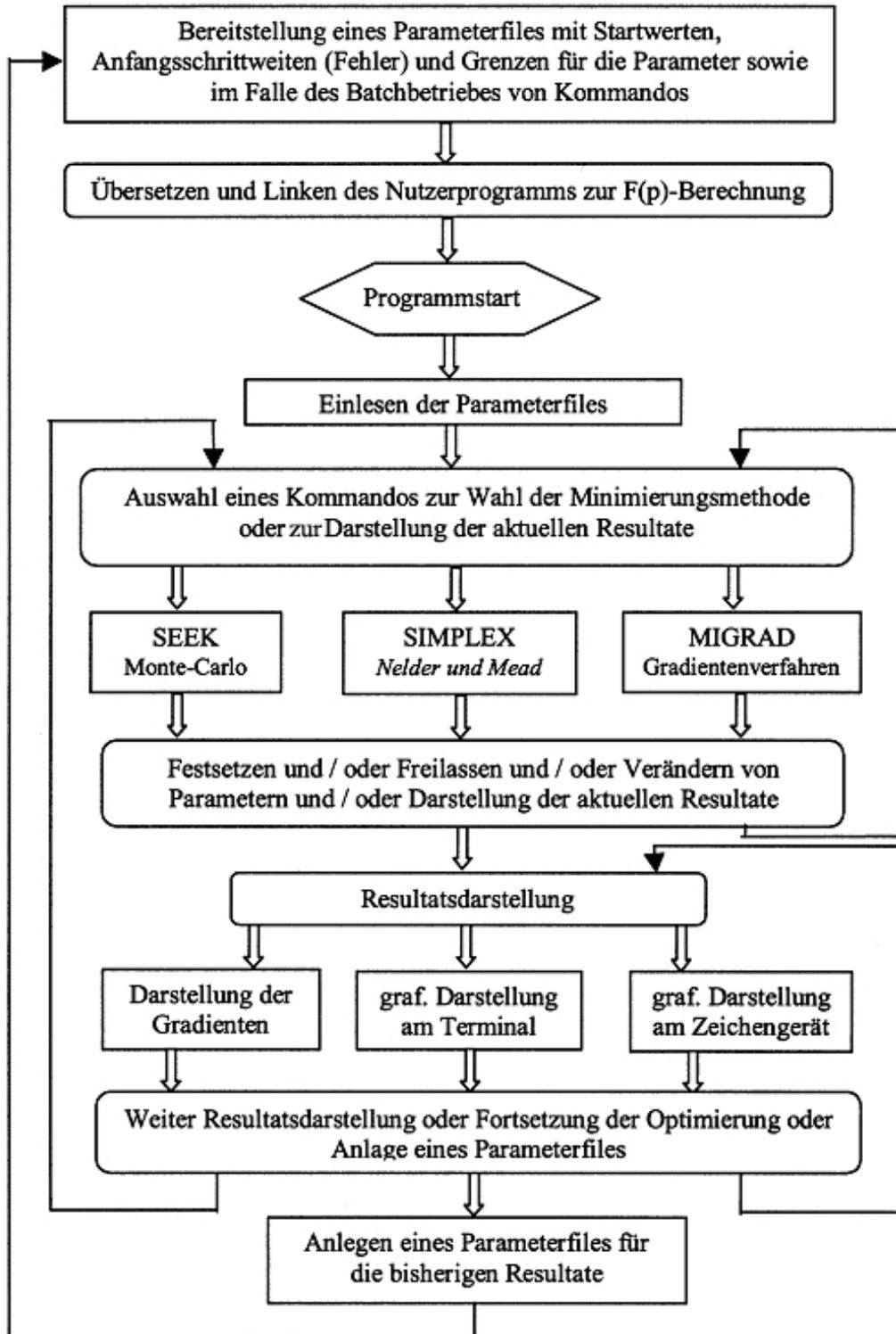


Abb. 6: Ablaufschema für die Nutzung des Programms CHS2 (nach ALBRECHT, Vorlesung Umweltsystemanalyse 2007)

Programm MINUIT - Anpassung EVOLON-Modell von W. MENDE

Version CM 1700, 01. Februar 1991
 source 1.04 83059 16.45, BESM 6 1984 K. - F. A L B R E C H T
 Delphi-7-Version: 2009 K. Römisch letzte Änderung 30.08.2011

23.04.2014 22:08:22
 Ergebnisdatei GuFISK1_1_23042014_220822.txt
 J:\Sven\Doktorarbeit\Forschung\Evolonmodell\Arbeitsversion\Version2011-08\Protokolle\

Minimierungsbedingungen Anzahl Ausschlussintervalle

Integrationsgenauigkeit

Konvergenzkriterium

minimale Schrittweite

Diagrammauswahl

Wachstum Zuwachs

relativer Fehler relativer Zuwachs

absoluter Fehler

Zeitreihe

Aktueller Status

Parameter	fixiert	Abstandsfunktion = Minimierungskriterium
C	<input type="checkbox"/>	3,3657E-05
K	<input type="checkbox"/>	3,3696E-05
B	<input type="checkbox"/>	3,5067E-02
L	<input type="checkbox"/>	
XS	<input type="checkbox"/>	
		R AF / R ²
		1,8346E-03 10,0000

Minimierung aktuelle Anzahl FCN-Aufrufe

Estimated distance to minimum (EDM, bei MIGRAD)

Zeitaufwändige Minimierungsverfahren

Eingabe Anzahl Monte-Carlo-Versuche

beste Monte-Carlo-Resultate verbessern mit

MIGRAD
 SIMPLEX
 NREG
 Levenberg-Marquardt
 mehrfach SIMPLEX und MIGRAD
 Levenberg-Marquardt und mehrfach SIMPLEX und MIGRAD

Eingabe Anzahl bester SEEK-Resultate

Abb. 7: Programmversion von RÖMISCH (2009)

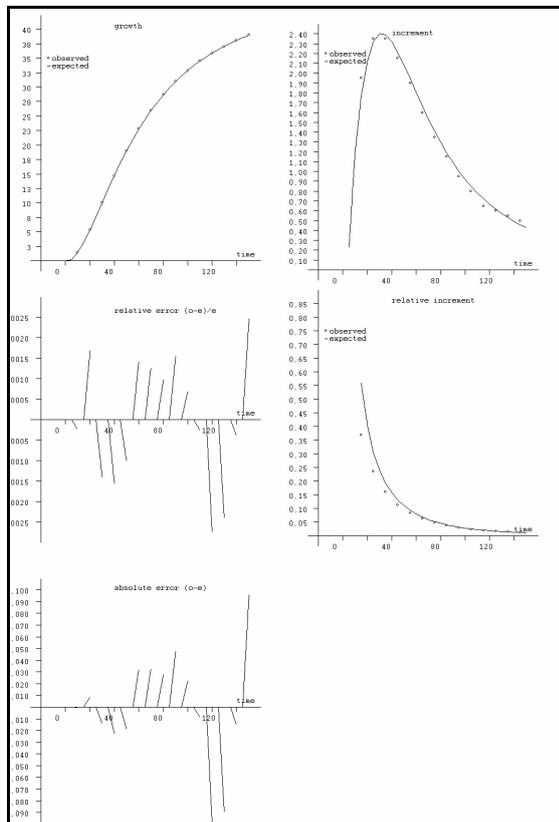


Abb. 8: Graphische Darstellung der Anpassungen in der Programmversion von RÖMISCH (2009)

4 Ergebnisse zum Höhenwachstum von Bäumen

4.1 Untersuchungen mit Hilfe eines Polynoms

Auf der Grundlage der Ergebnisse von ALBRECHT (2006) wird in der Untersuchung von MIßBACH (2008) untersucht, inwiefern die Wachstumsgänge für Fichtenhöhen von unterschiedlichen Standorten mittels einfacher linearer Achsentransformationen auf eine universelle einheitliche Form überführt werden können. Als Transformationsparameter werden dazu nur das Eintrittsalter des Zuwachsmaximums t_m und die zu diesem Zeitpunkt erreichte Baumhöhe $X_m = X(t_m)$ benötigt. Dabei ist Voraussetzung, dass die forstliche Behandlung der Bestände auf den verschiedenen Standorten im Wesentlichen gleich ist und die Standortseigenschaften auf den einzelnen Standorten während des Aufwachsens der betrachteten Bestände unverändert bleiben. Unter diesen Voraussetzungen lautet die Hypothese:

Bei Verwendung relativer Koordinaten der Art $t' = t/t_m$ anstelle des Baumalters t und $X' = X/X_m$ anstelle der Höhe X , also nach Anwendung der linearen Transformationen:

$$t' = \frac{t}{t_m} \quad \text{und} \quad X' = \frac{X}{X_m} \quad (4.1)$$

sind die Wachstumsverläufe für verschiedene Standorte weitgehend identisch. Eine derartige Transformation wurde bereits von ZEIDE für eine andersartige, auf die einfachere Interpretation von Modellparametern ausgerichtete, Zielstellung verwendet (ZEIDE, 2004).

Die Werte für t_m und X_m sind für den Standort charakteristisch. Die Transformation entspricht einem Übergang zu den Maßeinheiten t_m und X_m . Das Alter t_m , an dem der Zuwachs maximal ist, lässt sich z.B. aus den Daten bestimmen, indem man diese zunächst graphisch aufträgt und das Maximum für den Zuwachs herausucht. Falls die Messpunkte t_i in der Nähe des Zuwachsmaximums eng zusammenliegen, ist dies relativ einfach. Liegen die Messwerte jedoch einige Jahre auseinander, empfiehlt es sich, in der Nähe des Zuwachsmaximums eine Ausgleichsfunktion zu nutzen, die den Datentrend hinreichend gut beschreibt. Mit Hilfe dieser Ausgleichsfunktion lässt sich die Lage des Zuwachsmaximums t_m genauer bestimmen. Bereits eine einfache Anpassung der Zuwächse mit einem Polynom 3. Grades

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = at^3 + bt^2 + ct + d \quad (4.2)$$

scheint dafür geeignet. Eine lineare Funktion ist zu grob, eine quadratische Gleichung ist symmetrisch, jedoch der Wachstumsverlauf in Maximumnähe ist asymmetrisch. Demnach ist die einfachste und sinnvolle Möglichkeit, das Alter und die Höhe beim Zuwachsmaximum zu bestimmen, ein Polynom 3. Grades für den Ausgleich der Zuwachskurve zu nutzen. Mittels der

Parameter des angepassten Polynoms lässt sich das Alter zur Zeit des Zuwachsmaximums t_m analytisch berechnen:

$$t_m = -\frac{b}{3a} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{3a}\right)^2 - \frac{c}{3a}} \quad (4.3)$$

Auch die erreichte Höhe beim Auftreten des Zuwachsmaximums $X_m = X(t_m)$ ist in ähnlicher Weise ermittelbar. Dazu kann man z.B. die Höhenwerte X in der Umgebung des Zuwachsmaximums wiederum mit einem Polynom 3. Grades

$$X(t) = a't^3 + b't^2 + c't + d' \quad (4.4)$$

anpassen und in dieses dann den Wert für t_m einsetzen, wodurch der Wert für X_m erhalten wird.

$$X_m = X(t_m) = a't_m^3 + b't_m^2 + c't_m + d' \quad (4.5)$$

In den folgenden Untersuchungen ohne Modellnutzung werden die Transformationsparameter mit Hilfe eines solchen Polynoms 3. Grades bestimmt und anschließend die Transformationen der Wachstumsgänge nach Gleichung (4.1) durchgeführt.

4.1.1 Ermittlung der Transformationsparameter ohne Modellnutzung

Bevor die Transformationsparameter mit Hilfe der Polynommethode bestimmt werden können, müssen aus den Ertragstafelwerten die benötigten Zuwachswerte ermittelt werden. Die Vorgehensweise soll an dieser Stelle anhand eines Beispiels näher erläutert werden. Dazu dienen die in Tab. 2 angeführten Ertragstafelwerte der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG. Die Baumhöhe ist im Abstand von zehn Jahren angegeben, woraus der Zuwachs im Zeitraum von zehn Jahren berechnet werden kann. Den Zuwächsen wurde als Alter die Mittellage des Intervalls zugeordnet, innerhalb dessen der Zuwachs zustande kam. Anschließend wurden diese Zuwächse zum besseren Vergleich verschiedener Wachstumsgänge auf ein Jahr bezogen und somit der jährliche Zuwachs verwendet.

Da das Bestandesalter in den einzelnen Ertragstafeln nicht immer für einheitliche Intervalle angegeben ist, ändert sich dadurch auch die Mittellage des Intervalls. Nach der Aufbereitung der Ertragstafelwerte werden die Zuwachsdaten und die Bestandeshöhendaten graphisch dargestellt. Unter Verwendung des Polynoms 3. Grades besteht die Möglichkeit, für die Datenwerte eine Trendlinie (Graph der Polynomfunktion) und die dazugehörigen Polynomparameter zu berechnen. In Abb. 9 ist die Höhenentwicklung und die Zuwachskurve für Fichte der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG dargestellt. Die Datenwerte sind der Tab. 2 entnommen, wobei der Zuwachs über dem zugehörigen Baumalter abgebildet ist.

Tab. 2: Ertragstafelwerte der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) und die für die Untersuchung notwendigen aufbereiteten Daten (a = Jahre, m = Meter)

Bestandesalter in a	Bestandesalter für die Zuwächse in a	Standortsklasse 1 Ertragstafelwerte v. GUTTENBERG		
		Baumhöhe in m	Zuwachs in m pro 10 Jahre, a	Zuwachs in m pro Jahr, a
0	0	0	0	0
10	5	1,4	1,40	0,14
20	15	5,3	3,90	0,39
30	25	10,0	4,70	0,47
40	35	14,7	4,70	0,47
50	45	19,0	4,30	0,43
60	55	22,8	3,80	0,38
70	65	26,0	3,20	0,32
80	75	28,7	2,70	0,27
90	85	31,0	2,30	0,23
100	95	32,9	1,90	0,19
110	105	34,5	1,60	0,16
120	115	35,8	1,30	0,13
130	125	37,0	1,20	0,12
140	135	38,1	1,10	0,11
150	145	39,1	1,00	0,10

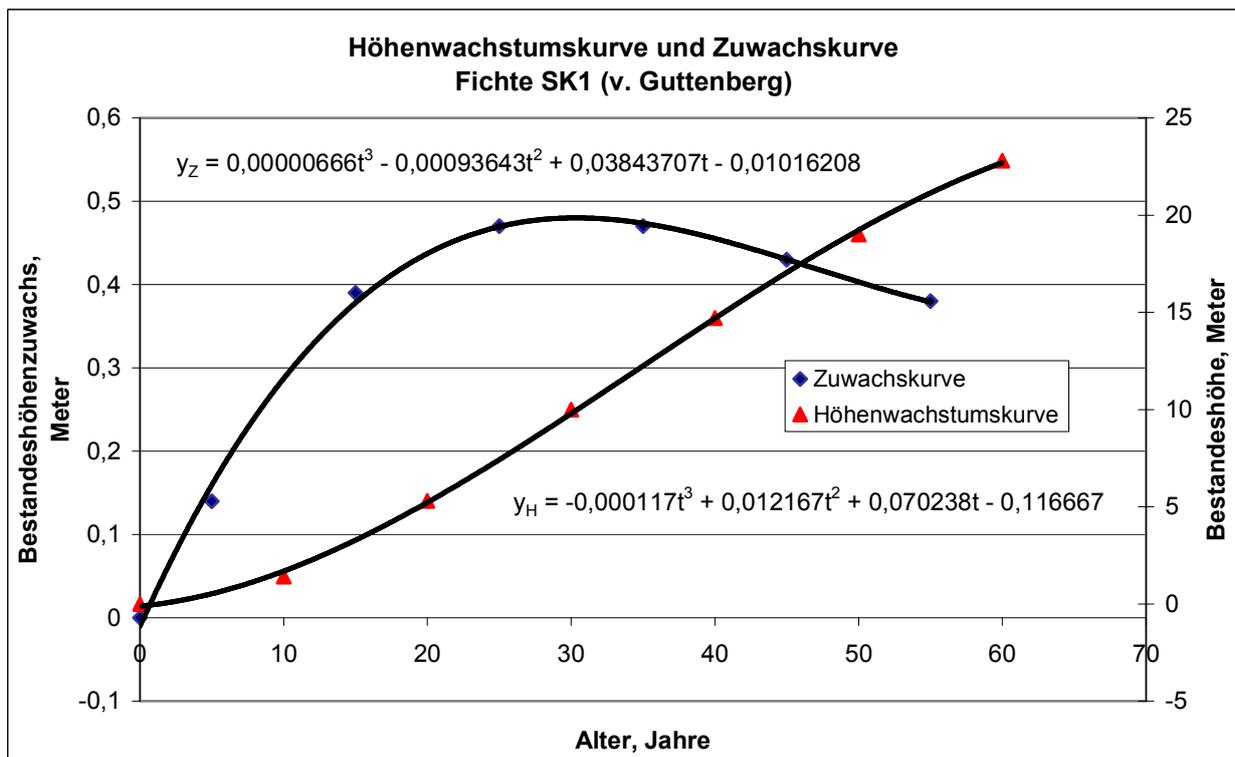


Abb. 9: Höhenwachstumskurve und Zuwachskurve von Fichten der Standortsklasse 1 von v. GUTTENBERG (y_H ist die Funktion der Höhenwachstumskurve, y_Z die Funktion des Zuwachses)

Die nach der Optimierung erhaltenen Polynomparameter a, b und c in der Gleichung der Form $f(x) = y_Z = ax^3+bx^2+cx+d$ in Abb. 9 wurden verwendet, um mittels Gleichung (4.3) den Wert für t_m zu berechnen. Zur Berechnung von X_m wird ähnlich vorgegangen. Dabei werden aus der Höhenwachstumskurve in Abb. 9 die Parameterwerte a' , b' , c' und d' der Gleichung mit der Form $f(x) = y_Z = a'x^3+b'x^2+c'x+d'$ entnommen. Durch Einsetzen des berechneten Wertes t_m in die Gleichung (4.5) für die Standortsklasse 1 wird der Wert für X_m erhalten.

Zur Bestimmung der Lage des Zuwachsmaximums wurde, wie in Abb. 9 ersichtlich, der Zuwachsverlauf nur bis zum Alter von 55 Jahren und der Höhenwachstumsverlauf bis 50 Jahre (also etwa bis $t = 2t_m$) mittels der Polynome angepasst. Für die Bestimmung der Lage des Zuwachsmaximums t_m sowie der zugehörigen Höhe X_m ist dies günstig bzw. ausreichend. Die Verwendung weiterer Daten nach dem Zuwachsmaximum könnte die Ergebnisse verfälschen und zu einer ungenauen Bestimmung des Zuwachsmaximums führen. Deshalb werden nur annähernd gleichviel Werte vor und nach dem Eintreten des Zuwachsmaximums benutzt bzw. benötigt. Ein Übergewicht von Daten nach dem Zuwachsmaximum wird somit vermieden.

Um dies für die weitere Untersuchung auszuschließen, wurde der Zuwachsverlauf für die einzelnen Baumarten nicht ausschließlich bis zum Alter von 55 Jahren (also etwa bis $t = 2t_m$) mittels der Polynome angepasst. Vielmehr wurde die modellunabhängige Methode an dieser Stelle erweitert und der Wendepunkt des Polynoms 3. Grades nach dem Erreichen des Zuwachsmaximums mit der Formel:

$$t_w = -\frac{b}{3a} \quad (4.6)$$

errechnet. Dieser Wendepunkt wurde für die Zuwachskurven der Standortklassen und Bonitäten bestimmt und als obere Grenze des Bestandesalters für die Anpassung des Polynoms 3. Grades verwendet. Der Wendepunkt (t_w) entspricht wie bei den vorhergehenden Untersuchungen etwa dem Doppelten von t_m ($t_w = 2t_m$). Tab. 3 zeigt die berechneten Wendepunkte als Beispiel für die Baumart Roteiche. Als obere Anpassungsgrenze wurde (ausgehend vom zunächst grob geschätzten Jahr des Wendepunktes) die nächstliegende Altersangabe aus der Ertragstafel verwendet. In Tab. 4 sind die Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen 1-3 für Roteiche aufgeführt, die für die Berechnung von t_m benötigt werden (fettgedruckte Werte / meist t_{m2} = Werte des Zuwachsmaximums). Im Vergleich mit Tab. 3 bestätigt sich die Annahme, dass der Wendepunkt t_w etwa dem Doppelten von t_m entspricht.

Tab. 3: Parameter der Zuwachskurven zur Berechnung des Wendepunktes als Bezugspunkt der Bestandesalterbeschränkung als obere Anpassungsgrenze am Beispiel für Roteiche

	Parameter der Zuwachskurven		Wendepunkt
	a	b	t_w
EK1	0,0000441	-0,0037447	28,30461073
EK2	0,0000268	-0,0025026	31,12686567
EK3	0,0000142	-0,0015126	35,50704225

Tab. 4: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 der Baumart Roteiche von BAUER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) der modellunabhängigen Methode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,000054	-0,0042156	0,0907449	36,83898448	15,20545997
EK2	0,000031	-0,0027391	0,0661881	41,93310646	16,97226989
EK3	0,0000132	-0,0014705	0,0436154	53,79285886	20,47481791

Die Parameterwerte der Gleichungen für die Zuwachskurve, die Höhenwachstumskurve sowie die Werte für t_m und X_m sind in Tab. 5 aufgeführt. Die in der Tabelle jeweils angegebenen zwei Werte für t_m resultieren aus der quadratischen Gleichung (4.3). Es fällt dabei also ein Wert für t_m heraus, der nicht dem Zuwachsmaximum t_m entsprechen kann (in Tab. 5 ist t_{m1} nicht die richtige Lösung).

Tab. 5: Parameter der Zuwachs- und Höhenwachstumskurve der Standortklasse 1 der Baumart Fichte von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m und X_m

	Parameter der Zuwachskurve			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
SK1	0,00000666	-0,00093643	0,03843707	63,38704496	30,34969178
	Parameter der Höhenwachstumskurve				X_m
	a	b	c	d	
SK1	-0,000117	0,012167	0,070238	-0,116667	9,95134419

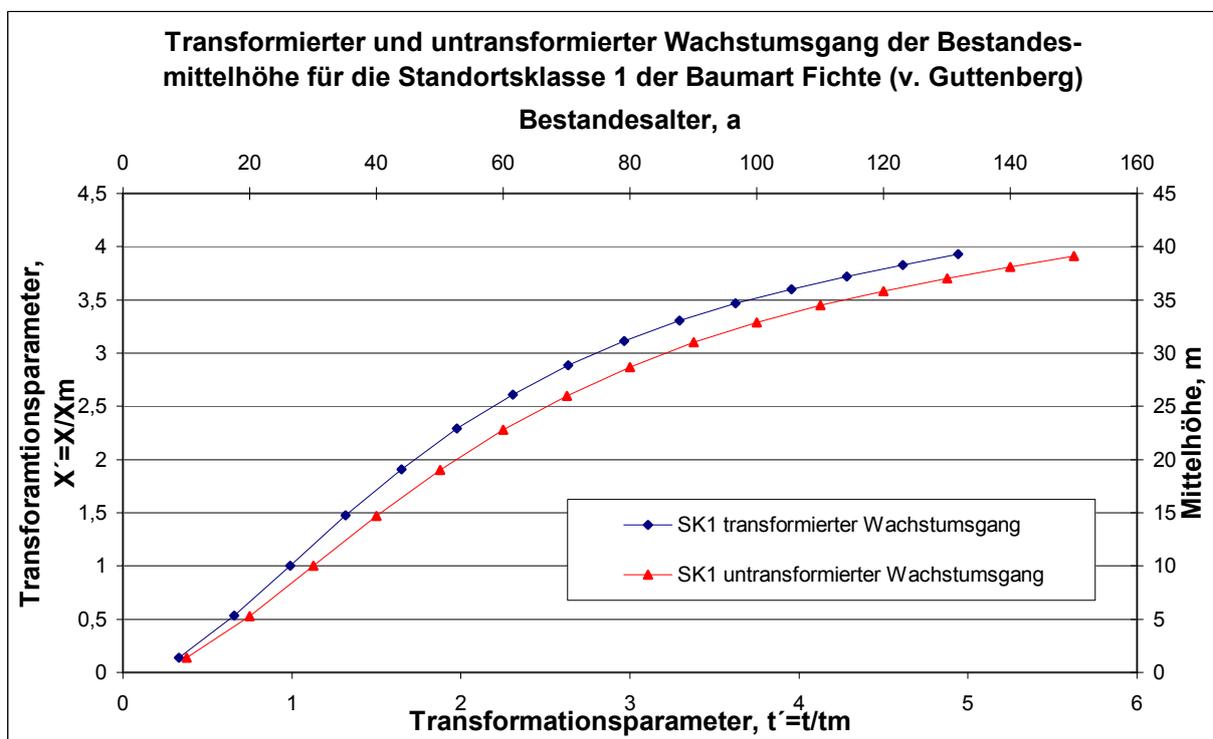


Abb. 10: Transformierter und untransformierter Wachstumsgang der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG

Mit Hilfe der berechneten Werte für t_m und X_m wird in einem letzten Schritt der Wachstumsgang am Beispiel der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG mittels Gleichung (4.1) transformiert. Die so transformierten Daten ergeben die in Abb. 10 dargestellte transformierte Wachstumskurve bzw. den Wachstumsgang. Es wird ersichtlich, dass sich der transformierte Wachstumsgang nicht wesentlich vom untransformierten Wachstumsgang unterscheidet, sondern nur die Skalierung beim transformierten Wachstumsgang verändert ist. Die grobe Form des Wachstumsgangs der Bestandesmittelhöhe bleibt nach der Transformation erhalten.

Die beschriebene Vorgehensweise der modellunabhängigen Methode zur Bestimmung der Werte für t_m und X_m muss für alle Standortklassen bzw. Bonitäten einer Ertragstafel durchgeführt

werden, um die Hypothese zu prüfen, ob sich die Wachstumsgänge für Fichtenbestandeshöhen von unterschiedlichen Standorten mittels einfacher linearer Achsentransformation auf eine universelle einheitliche Form überführen lassen.

Im Folgenden sollen solche Ergebnisse näher betrachtet werden, die mit der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Methode erzielt wurden. Dabei werden nicht nur Bestandeshöhen aus Ertragstafeln, sondern auch Höhenwachstumsgänge von Einzelbäumen und von Mittelwerten einzelner Bäume betrachtet. Gleichzeitig wird die Transformierbarkeit von Wachstumsgängen auf eine einheitliche Normalform geprüft.

4.1.2 Ertragstafelwerte Fichte

Die Datengrundlage für diese Untersuchungen wurde bereits im Kapitel 3.4 kurz vorgestellt. Die Ertragstafelwerte der Bestandesmittelhöhen von fünf Standortklassen, die v. GUTTENBERG in seiner Publikation „Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge“ 1915 veröffentlichte, sind in Tab. 94 im Anhang der Arbeit angegeben. Die Standortklasse 1 (SK1) wird darin als „Ausgezeichnet“, Standortklasse 2 (SK2) als „Sehr gut“, Standortklasse 3 als „Gut“, Standortklasse 4 als „Gering“ und Standortklasse 5 als „Sehr gering“ charakterisiert. Diese Bezeichnung ist standortabhängig und stellt gleichzeitig eine Wertigkeit der Bonität dar, sodass Standortklasse 1 den besten Standort mit dem höchsten Ertrag widerspiegelt. Der Wachstumsverlauf für die Standortklassen 1-5 wurde mit Hilfe der vorgestellten modellunabhängigen Methode transformiert und die nötigen Transformationsparameter zuvor mittels der in Abschnitt 4.1 vorgestellten Gleichungen berechnet. Die Zuwachskurven für die einzelnen Standortklassen sind in Abb. 82 im Anhang beigelegt.

Die transformierten Wachstumsgänge für die Standortklassen 1-5 der Ertragstafel von v. GUTTENBERG sind in Abb. 11 graphisch dargestellt. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind in Tab. 6 und Tab. 7 angegeben. In Abb. 11 ist erkennbar, dass die Wachstumsgänge nach der Transformation vor allem für die Standortklasse 1-3 nahezu zusammenfallen und einen einheitlichen Wachstumsgang ergeben. Die Standortklasse 4 und 5 weisen jedoch eine Abweichung auf. Die Abweichung ist möglicherweise auf eine Störung der Wachstumsgänge für die Standortklasse 4 und 5 zurückzuführen. v. GUTTENBERG gibt für diese Standortklassen eine Störung des Wachstums in der Jugendphase durch Schneeereignisse in den oberen Höhenlagen an (v. GUTTENBERG, 1915).

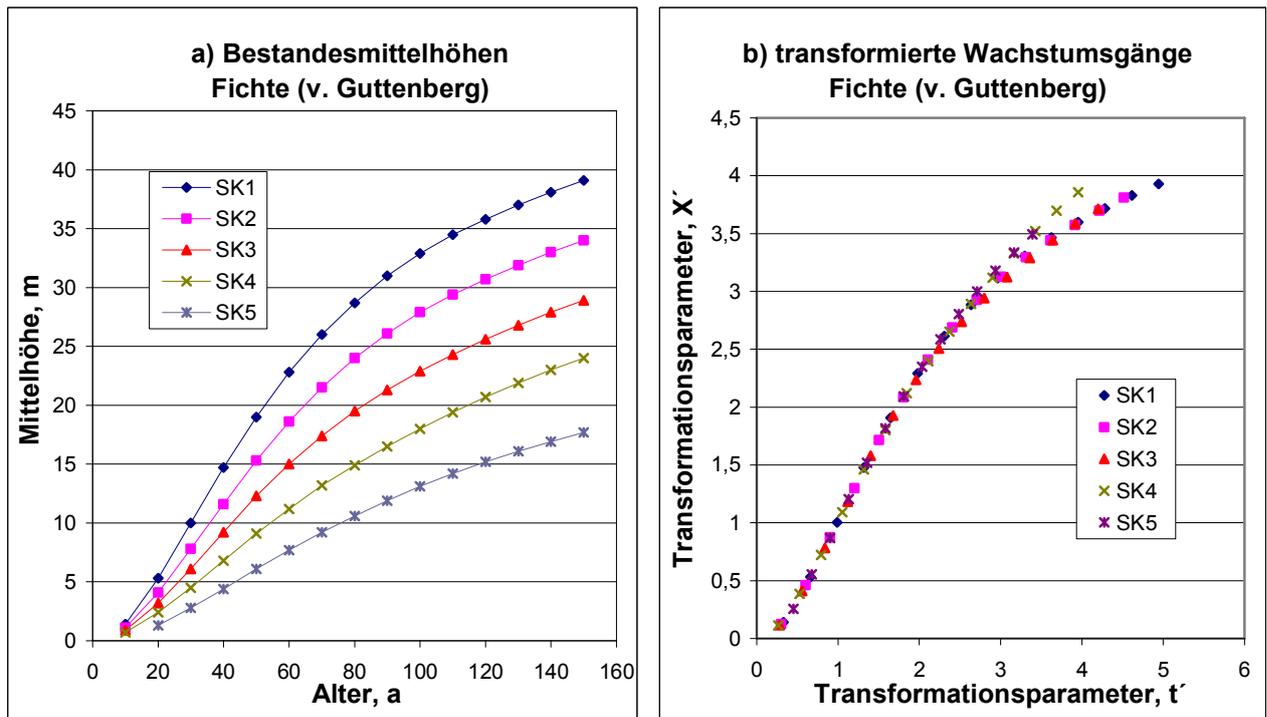


Abb. 11: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

Tab. 6: Parameter der Zuwachskurven der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
SK1	0,00000666	-0,00093643	0,03843707	63,38704496	30,34969178
SK2	0,00000432	-0,00064267	0,02839913	65,95185472	33,22561442
SK3	0,00000244	-0,00042137	0,02076239	79,41016668	35,71824862
SK4	0,00000154	-0,0002773	0,01439101	82,10468471	37,93860534
SK5	0,000000757	-0,000154581	0,009232502	91,89543125	44,23931116

Tab. 7: Parameter der Höhenwachstumskurven der Standortklasse 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
SK1	-0,000117	0,012167	0,070238	-0,116667	9,95134419
SK2	-0,0000861	0,0095	0,0502778	-0,0761905	8,92369075
SK3	-0,0000548	0,0066288	0,0531746	-0,0787879	7,78030743
SK4	-0,0000292	0,0039217	0,0597643	-0,0959596	6,22155668
SK5	-0,0000217	0,0031825	0,0167358	-0,0255183	5,06456732

Eine weitere Ertragstafel für Fichte ist die „Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern“ von ASSMANN/Franz (1963, 1972). Die Datengrundlage für diese Untersuchung der Ertragstafelwerte wurden im Kapitel 3.4 kurz vorgestellt. Die verwendeten Bestandesmittelhöhen der einzelnen Bonitäten des mittleren Ertragsniveaus sind in Tab. 95 im Anhang aufgeführt. In der Ertragstabelle von ASSMANN/Franz werden Oberhöhenbonitäten anstatt Standortklassen angegeben, jedoch wird

für die Vergleichbarkeit mit anderen Ertragstafeln die Mittelhöhe mit angeführt. Diese Mittelhöhe wurde für den besseren Vergleich mit dem auf der Basis der Ertragstafel von v. GUTTENBERG erhaltenen Resultat genutzt. Die Bonität M40 stellt die höchste bzw. beste Bonität dar, die Bonität M20 dagegen die letzte bzw. schlechteste Bonität.

Der Wachstumsverlauf der Bonitäten und die Transformationsparameter wurden zunächst mit der modellunabhängigen Methode untersucht. Die einzelnen Zuwachskurven wurden aus Gründen der Datenmenge in diesem Kapitel nicht mit angegeben, sondern im Anhang aufgeführt.

In Abb. 12 ist das Ergebnis der Untersuchung für die transformierten Wachstumsverläufe der Bonitäten M40 bis M20 dargestellt. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind in Tab. 8 und Tab. 9 angegeben, sowie die dazugehörigen Parameter des Polynoms 3. Grades. Wie in der vorhergehenden Untersuchung ist ein einheitlicher Wachstumsverlauf der Bonitäten unterschiedlicher Standorte festzustellen. Jedoch zeigt Abb. 12, dass schlechtere Bonitäten von den besten Bonitäten abweichen und der transformierte Wachstumsverlauf der schlechteren Bonitäten etwas höher liegt (auch hier könnten wie bei v. GUTTENBERG die schlechten Standorte stärker durch Störungen im Wachstumsverlauf beeinflusst sein.).

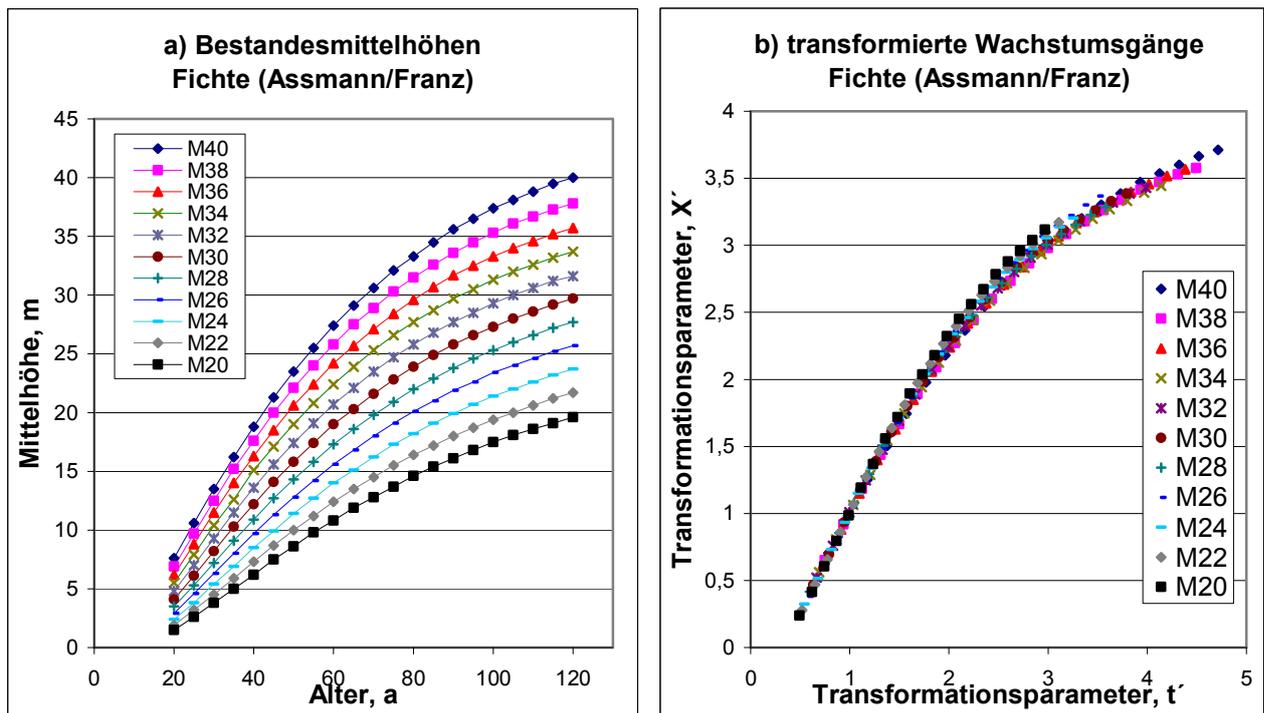


Abb. 12: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

Tab. 8: Parameter der Höhenzuwachskurven der Bonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
M40	0,000014	-0,0016146	0,0549825	51,43308895	25,45262533
M38	0,00000117	-0,00085785	0,04330258	462,10627568	26,69714312
M36	0,00000916	-0,00120202	0,04522662	60,09794127	27,38531929
M34	0,00000649	-0,0009591	0,03924395	69,53294047	28,98786076
M32	0,00000519	-0,00081476	0,03493929	74,56155546	30,09611956
M30	0,00000356	-0,00064641	0,03020673	89,42102665	31,62953515
M28	0,00000188	-0,00047074	0,02523463	133,38551751	33,54356051
M26	0,0000015	-0,00040766	0,02262788	146,96780518	34,21441704
M24	0,00000161	-0,0003564	0,01971543	110,70657134	36,87106841
M22	0,00000131	-0,00029772	0,01713191	112,89957082	38,61187956
M20	0,00000119	-0,00025587	0,01485586	102,90700611	40,43753170

Tab. 9: Parameter der Höhenwachstumskurven der Bonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
M40	-0,000179	0,015124	0,154671	-0,006751	10,77635139
M38	-0,000183	0,016146	0,095185	0,00568	10,57257262
M36	-0,000155	0,014012	0,098415	-0,012235	10,00791526
M34	-0,000152	0,01399	0,059935	-0,005797	9,78485788
M32	-0,000124	0,012104	0,054777	-0,016294	9,21551479
M30	-0,000119	0,01186	0,02174	-0,014778	8,77239444
M28	-0,0000924	0,0099601	0,0218769	-0,0250817	8,42817622
M26	-0,0000867	0,0095059	0,0001658	-0,0266477	7,63434771
M24	-0,0000713	0,0083299	-0,0087298	-0,0302564	7,39822767
M22	-0,0000643	0,0077463	-0,0253243	-0,0261783	6,84331895
M20	-0,0000558	0,0069354	-0,0331289	-0,0253819	6,28601641

Anhand der Ertragstafelwerte von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) wurde versucht, auch die Oberhöhen der Ertragstafel in einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf zu überführen. Die verwendeten Oberhöhenbonitäten sind im Anhang (Tab. 96) angegeben. Es ist festzustellen, dass die erreichte Bestandeshöhe im Alter von 100 Jahren die jeweilige Oberhöhenbonität bildet und die einzelnen Oberhöhenbonitäten sich immer um zwei Höhenmeter je 100 Jahre unterscheiden.

In Abb. 13 ist das Ergebnis der Untersuchung für die transformierten Wachstumsverläufe der Bonitäten M40 bis M20 für die Oberhöhen dargestellt. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind in Tab. 10 und Tab. 11 angegeben. Die Resultate zeigen, dass die Oberhöhen zwar annähernd einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf aufweisen, jedoch eine größere Streuung gegenüber den Mittelhöhen festzustellen ist. Diese Abweichungen sind vermutlich auf das relativ zeitige Zuwachsmaximum der Bestandesoberhöhen zurückzuführen, denn das Zuwachsmaximum der besten Bonitäten liegt sehr nah am Beginn der Alters- und Höhenangaben der Ertragstafel. Diesem Sachverhalt wird im Kapitel Diskussion eingehender nachgegangen.

Tab. 10: Parameter der Höhenzuwachskurven der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
M40	0,0000214	-0,0022383	0,0682223	47,22894047	22,50003149
M38	0,0000182	-0,0019837	0,0626529	49,46500914	23,19799452
M36	0,0000159	-0,0017908	0,0580512	51,41629046	23,66966341
M34	0,0000123	-0,0014629	0,050165	54,21344058	25,07653232
M32	0,0000102	-0,0012733	0,0453433	57,41229393	25,80992830
M30	0,00000909	-0,00113183	0,04090941	56,41997046	26,58919712
M28	0,00000713	-0,00093835	0,03573124	59,80575706	27,93150334
M26	0,00000593	-0,0007905	0,03104833	59,57466897	29,29548280
M24	0,00000453	-0,00064852	0,02698224	64,80215055	30,63861472
M22	0,00000355	-0,00053445	0,02324796	68,49801989	31,86817730
M20	0,00000309	-0,00046442	0,02049741	67,38446970	32,81402005

Tab. 11: Parameter der Höhenwachstumskurven der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
M40	-0,000179	0,013704	0,280469	-0,004259	11,20504132
M38	-0,000179	0,014057	0,234467	-0,004771	10,76450138
M36	-0,000184	0,014591	0,186897	-0,005931	10,15248527
M34	-0,000132	0,011366	0,196044	-0,008082	9,97383180
M32	-0,000135	0,011773	0,148767	-0,00835	9,35282613
M30	-0,000122	0,010963	0,12512	-0,009208	8,77493606
M28	-0,0000987	0,0094401	0,112631	-0,0143975	8,34562760
M26	-0,0000822	0,0082497	0,0998739	-0,0134941	7,92577872
M24	-0,0000706	0,0074313	0,0821832	-0,0194806	7,44390128
M22	-0,0000644	0,0068972	0,0637595	-0,0156856	6,93658972
M20	-0,0000511	0,0058139	0,0567003	-0,0250723	6,29015976

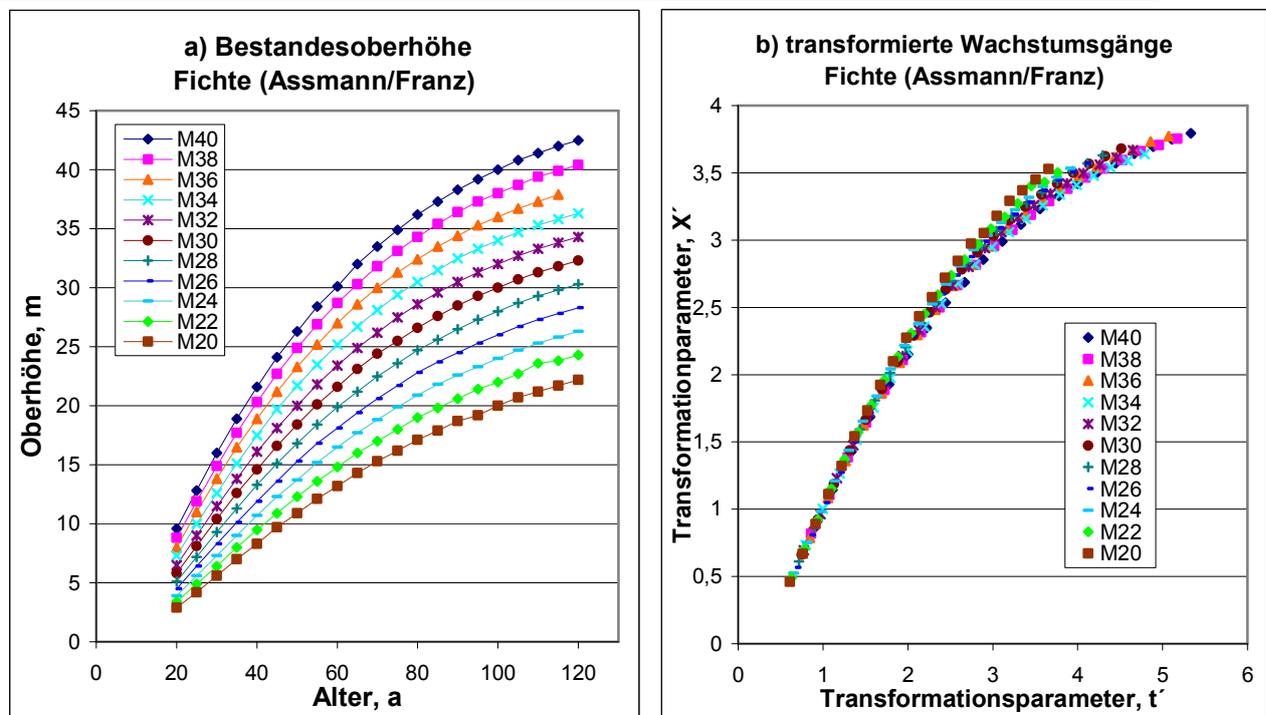


Abb. 13: a) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

Als weitere Ertragstafel für die Baumart Fichte kam die DDR-Fichtenertragstafel für Mittelgebirge von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) in Betracht. Diese Ertragstafel weist eine Besonderheit gegenüber den vorhergehend verwendeten Ertragstafeln auf. In dieser Tafel werden drei Wuchstypen unterschieden, die durch unterschiedliche anfängliche Wachstumsgeschwindigkeiten charakterisiert werden. Dabei werden die Wuchstypen als schnelles, mittleres und langsames System bezeichnet.

Tab. 12: Parameter der Höhenzuwachskurven der Mittelhöhenbonitäten S32-S16 schnelles System, M36-M20 mittleres System und L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Polynomparameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
S32	0,0000634	-0,004489	0,0903636	32,65308498	14,54985929
S30	0,0000208	-0,0019836	0,0541569	43,73028923	19,84663385
S28	0,00000608	-0,00083732	0,03222948	64,35472201	27,45668150
S26	0,0000033	-0,00057932	0,02602595	86,71957494	30,31476850
S24	0,00000305	-0,00049621	0,02259976	75,93403329	32,52716889
S22	0,00000175	-0,0003524	0,01826444	99,16542079	35,08219826
S20	0,00000117	-0,00025517	0,01456659	106,38738669	39,00862471
S18	0,00000145	-0,00024911	0,0126374	76,61406147	37,91927186
S16	0,000000259	-0,000114951	0,009014573	249,35753467	46,52663521
M36	0,0000619	-0,0045654	0,0970034	33,64278905	15,52683939
M34	0,0000257	-0,0024141	0,0645422	43,28096625	19,34160184
M32	0,0000162	-0,0016802	0,0502956	47,23437932	21,90965360
M30	0,00000726	-0,00096176	0,03589384	61,53337315	26,78251299
M28	0,00000421	-0,00064548	0,02795032	71,07946318	31,13431354
M26	0,000000882	-0,000312386	0,019494511	199,11867724	37,00074831
M24	0,00000119	-0,00026973	0,01643486	108,79463752	42,31460618
M22	0,000000838	-0,000196496	0,013243018	107,16737176	49,15402840
M20	0,000000513	-0,000141053	0,010902502	127,92922909	55,37551425
L38	0,0000225	-0,0022011	0,0617979	44,76681594	20,45096184
L36	0,0000158	-0,0016435	0,0502332	46,60800665	22,73798491
L34	0,0000108	-0,0012312	0,0416605	50,57704650	25,42295350
L32	0,000006	-0,00083537	0,03361031	63,33862308	29,48026581
L30	0,00000246	-0,00048776	0,02500277	97,40127501	34,78300683
L28	0,00000175	-0,00034939	0,01996862	91,55885908	41,54209331
L26	0,000000765	-0,00020877	0,014405169	135,66957148	46,26506904
L24	0,000000433	-0,000129126	0,011037135	136,61365469	62,19465940
L22	0,000000263	-0,000087754	0,008895289	144,33007958	78,11351991
L20	0,0000001	-0,000049007	0,006800033	226,74928357	99,96404976

Die Bonität ist durch die absolute Mittelhöhe im Alter von 100 Jahren (h_{100}) festgelegt (z.B. Bonität 36 bedeutet 36 m Bestandeshöhe beim Alter von 100 Jahren). Die Zuordnung zu den Systemen geschieht auf der Basis der Höhe im Alter von 50 Jahren (h_{50}). Bäume mit einem Quotienten h_{50}/h_{100} von ca. 0,58 werden dem schnellen System zugeordnet, Bäume mit einem Quotienten von ca. 0,55 werden dem mittleren System zugewiesen und Bäume mit einem Quotienten von ca. 0,49 dem langsamen System zugeordnet (WENK/RÖMISCH/GEROLD, 1984). Als Beispiel der Einordnung dient die Mittelhöhe von 28 m im Alter von 100 Jahren bei allen drei Systemen:

- im L-System ist h_{50} 13,7 m und h_{100} 28 m, der Quotient h_{50}/h_{100} beträgt demnach 0,49;

- im M-System ist h_{50} 15,4 m und h_{100} 28 m, der Quotient h_{50}/h_{100} beträgt demnach 0,55;
- im S-System ist h_{50} 16,1 m und h_{100} 28 m, der Quotient h_{50}/h_{100} beträgt demnach 0,58.

Tab. 13: Polynomparameter der Höhenwachstumskurven der Mittelhöhenbonitäten S32-S16 schnelles System, M36-M20 mittleres System und L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Polynomparameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
S32	-0,000133	0,007214	0,409762	0,022857	7,10236453
S30	-0,000113	0,008508	0,248598	-0,011111	7,39056642
S28	-0,000118	0,010552	0,087434	0,034921	7,94794536
S26	-0,000105	0,009901	0,057407	0,046032	7,96000783
S24	-0,000075	0,0079286	0,0560714	0,0357143	7,66707790
S22	-0,0000639	0,0070238	0,0440079	0,0452381	7,47468783
S20	-0,0000434	0,005382	0,0449603	0,0393939	7,40672342
S18	-0,0000199	0,0027771	0,0918001	-0,0272727	6,36182404
S16	-0,0000281	0,0039841	0,0237278	0,0686869	6,96699181
M36	-0,000233	0,014143	0,337619	-0,011429	7,76818225
M34	-0,000133	0,009821	0,287976	-0,035714	8,24587436
M32	-0,000133	0,010786	0,189762	-0,014286	7,92216055
M30	-0,000125	0,011107	0,106429	0,028571	8,44469440
M28	-0,0000889	0,0092024	0,0732937	0,0095238	8,52878403
M26	-0,0000778	0,0087262	0,0269444	0,047619	9,05019047
M24	-0,0000515	0,0067305	0,0227381	0,0242424	9,13561269
M22	-0,0000347	0,0052688	0,0180532	-0,0040404	9,49235237
M20	-0,0000259	0,0044225	0,0089957	-0,0415385	9,61998914
L38	-0,000125	0,009607	0,311429	0,028571	9,34646196
L36	-0,000113	0,009508	0,244312	0,046032	9,18856548
L34	-0,000115	0,010325	0,165847	0,044444	9,04446037
L32	-0,0000944	0,009631	0,1143254	0	9,32189928
L30	-0,0000889	0,0096905	0,0536508	0,05	9,89912805
L28	-0,0000576	0,0074383	0,0453571	0,0378788	10,62931427
L26	-0,0000378	0,0057399	0,0386532	0,3714286	10,70245598
L24	-0,0000234	0,004447	0,0268881	0,0538462	13,29835067
L22	-0,0000147	0,0034708	0,0214556	-0,0206044	15,82680809
L20	-0,0000104	0,0030043	0,0041533	0,0161438	20,06393975

Die verwendeten Mittelhöhenbonitäten der verschiedenen Systeme sind in Tab. 98 des Anhangs angeführt. In der Ertragstafel der einzelnen Systeme wurde die Mittelhöhe ab dem Alter 20 Jahre angegeben. Die jeweiligen Werte der einzelnen Bonitäten beginnend ab 10 Jahre wurden aus der Bonitierungstabelle für Fichtenjungbestände für die drei Bonitierungssysteme entnommen, welche in der DDR-Fichtenertragstafel mit angegeben sind.

Die Parameterwerte des Polynoms 3. Grades nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind in Tab. 12 und Tab. 13 angegeben. Die Transformationsparameter t_m und X_m wurden nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet.

In den Abb. 14 bis Abb. 16 sind die Bestandesmittelhöhen (a) und die transformierten Wachstumsgänge (b) für das schnelle, mittlere und langsame System dargestellt. Die Abbildungen zeigen eine bemerkenswert gute Übereinstimmung der transformierten Wachstumsgänge für die einzelnen Systeme. Es ist ersichtlich, dass entsprechend der Eingangshypothese die transformierten

Wachstumsgänge für verschiedene Standorte von Fichten im Wesentlichen zusammenfallen. Abb. 17 zeigt, dass auch beim Zusammenfassen der Systeme die transformierten Wachstumsgänge annähernd zusammenfallen.

Als Zusammenfassung für die Bestandesmittelhöhen der Ertragstafeln von v. GUTTENBERG, ASSMANN/FRANZ und der DDR-Fichtenertragstafel sowie für die Bestandesoberhöhen der Ertragstafeln von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) kann festgestellt werden, dass die Bestandeshöhen der einzelnen Ertragstafel für die Baumart Fichte nach einer Transformation (Verwendung relativer Koordinaten der Art $t' = t/t_m$ anstelle des Baumalters t und $X' = X/X_m$ anstelle der Höhe X) im Wesentlichen identisch werden bzw. zusammenfallen und einen einheitlichen Wachstumsverlauf zeigen. Abweichungen konnten vor allem bei Oberhöhenbonitäten der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ und bei schlechteren Standortsklassen bzw. Bonitäten der Mittelhöhen festgestellt werden.

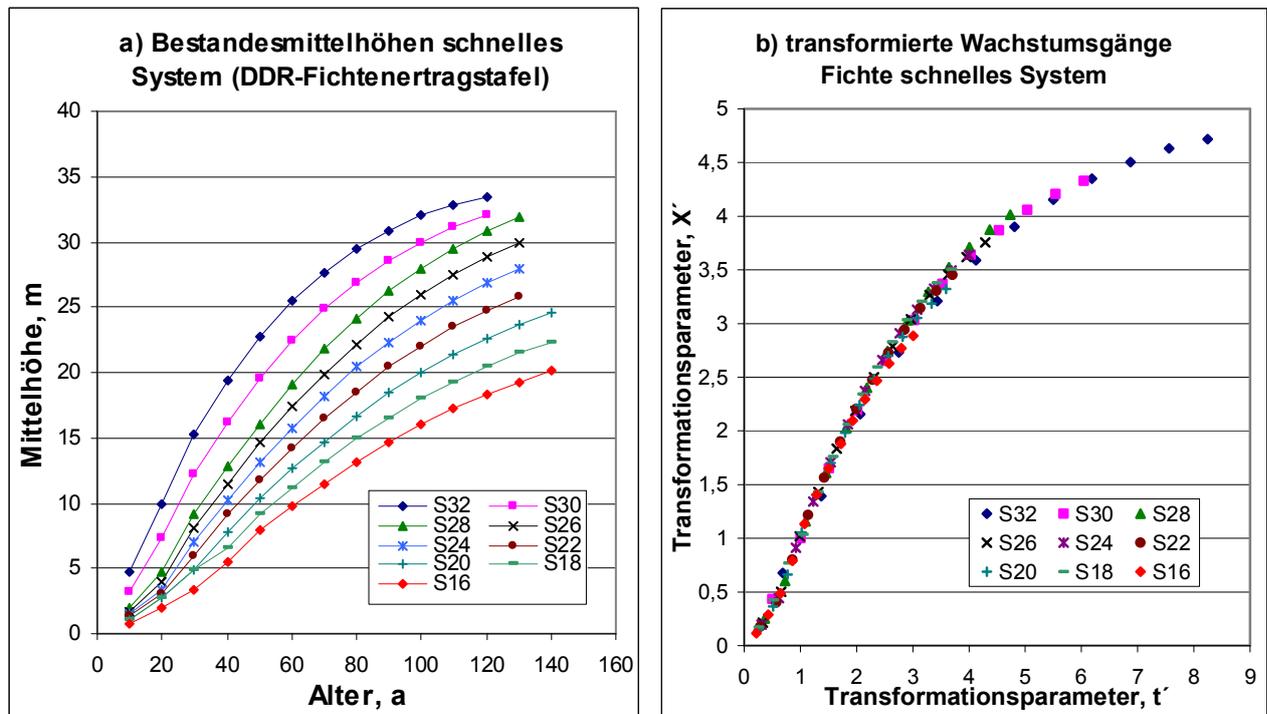


Abb. 14: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

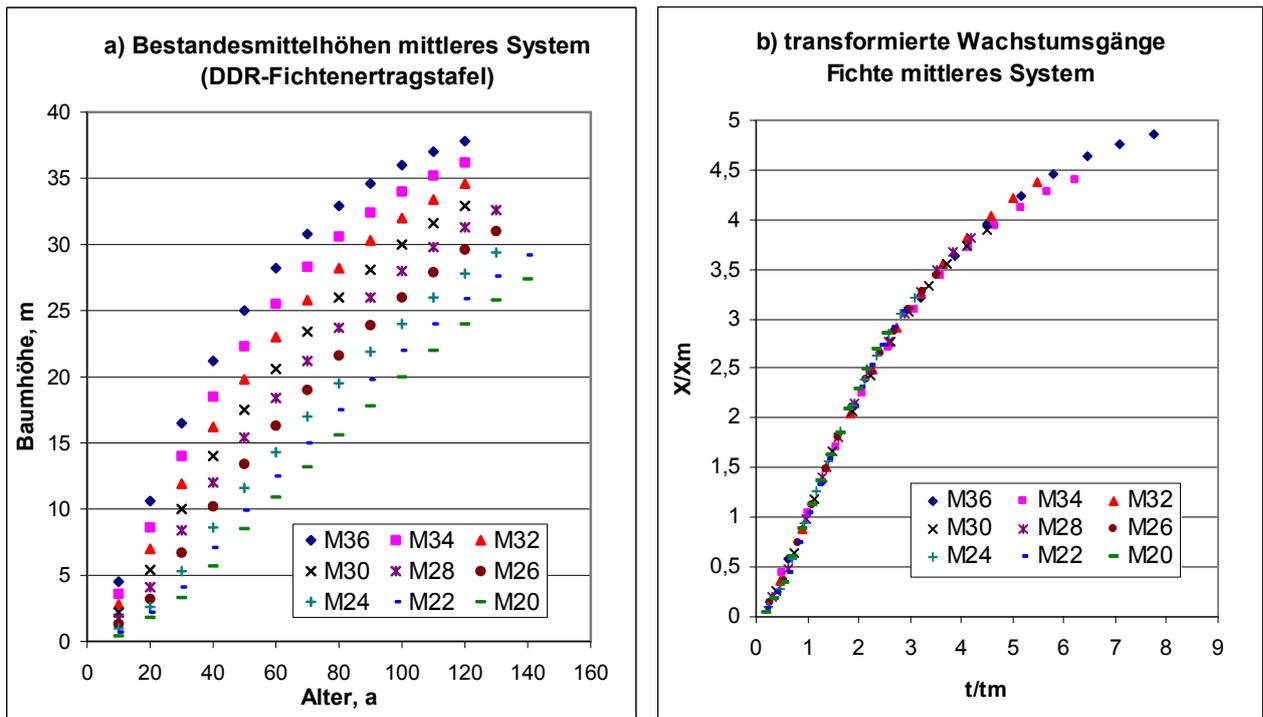


Abb. 15: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

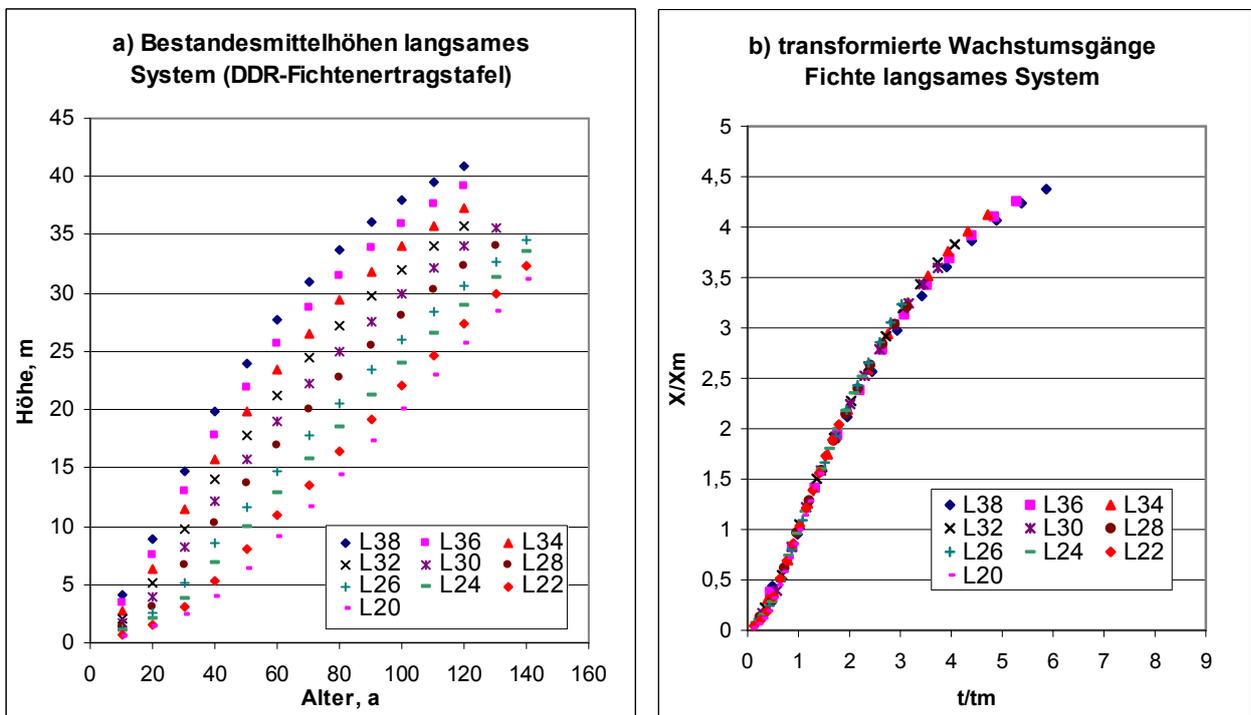


Abb. 16: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

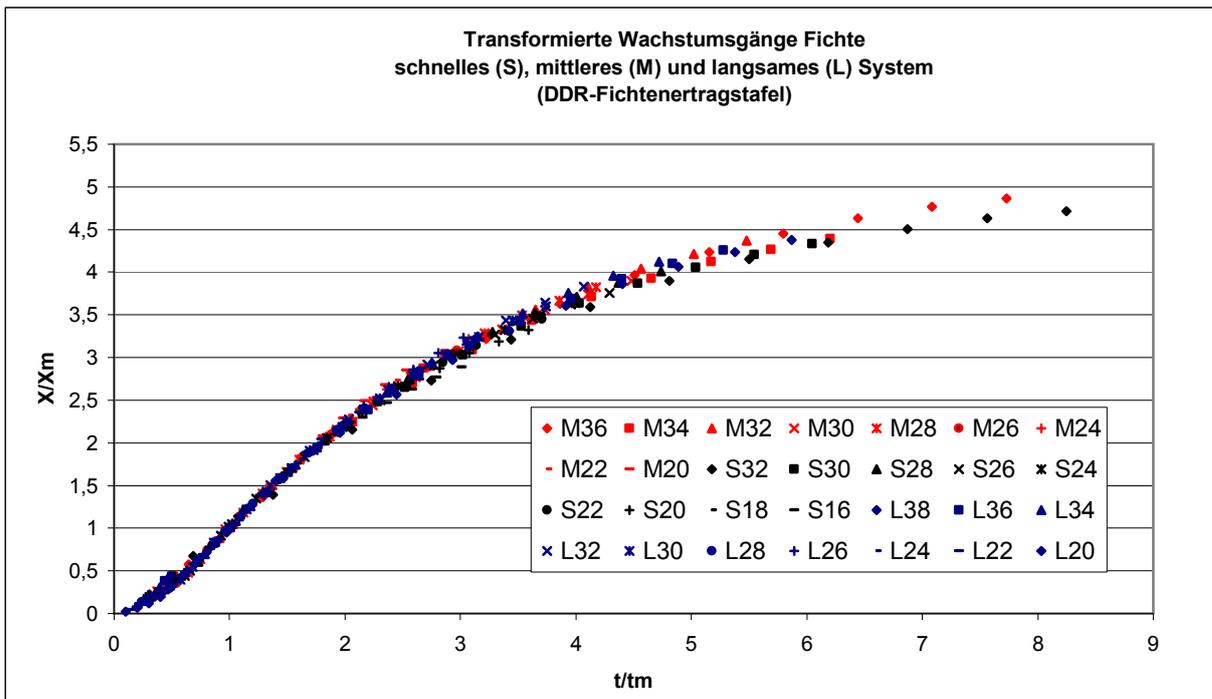


Abb. 17: Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte des schnellen, mittleren und langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.3 Ertragstafelwerte Roteiche

Im weiteren Verlauf der Untersuchungen stellte sich die Frage, ob entsprechende Transformationseigenschaften des Wachstums auch bei anderen Baumarten außer der Fichte bestehen. Dazu mussten weitere Daten bzw. Werte für Bestandeshöhen gefunden werden, die für eine Transformation geeignet scheinen. Da Bestandeshöhen aus Ertragstafeln eher zur Verfügung stehen als Höhendaten von Einzelbäumen (für verschiedene Baumarten), wurden Ertragstafelzusammenstellungen für weitere Untersuchungen bevorzugt. Die Auswahl fiel insbesondere auf die Baumart Roteiche, da diese zu den Laubbäumen gehört und eine hinreichende Datengrundlage (Ertragstafelwerte zu Höhe und Alter) zur Verfügung steht. Die Daten wurden aus der Veröffentlichung von BAUER „Die Roteiche“ (1953) und der Veröffentlichung von SCHÖBER „Ertragstafeln wichtiger Baumarten“ (1995) entnommen. Wichtig für die Auswahl der Daten war außerdem, die möglichst frühzeitige Angabe zum Alter und zur Höhe der Bestände, sodass die Kulmination des Höhenzuwachses noch nicht erreicht ist. Die meisten Ertragstafeln für Laubbäume beginnen mit der Alters- und Bestandeshöhenangabe meist nach oder etwa zum Zeitpunkt der Kulmination des Zuwachsmaximums. Die Datengrundlage für die Ertragstafel der Roteiche bildeten Ertragsprobestflächen in Westdeutschland und in den Niederlanden. In Tab. 97 des Anhangs sind die Ertragstafelwerte der Baumart Roteiche von BAUER für die Ertragsklassen 1-3 angegeben. Von Vorteil bei diesen Ertragstafelwerten sind die frühzeitigen Angaben zum Bestandesalter und zur

Bestandeshöhe, die bereits ab einem Bestandesalter von fünf Jahren angegeben sind und somit relativ ausreichend viele Werte vor der Kulmination des Zuwachsmaximums aufweisen. In der Ertragstafel von BAUER (1953) sind die Bestandesmittelhöhen für drei Ertragsklassen ausgewiesen. Die Ertragsklassen sind relative Höhenbonitäten und beziehen sich nicht auf eine erreichte Höhe im Alter von 100 Jahren.

Tab. 14: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,000054	-0,0042156	0,0907449	36,83898448	15,20545997
EK2	0,000031	-0,0027391	0,0661881	41,93310646	16,97226989
EK3	0,0000132	-0,0014705	0,0436154	53,79285886	20,47481791

Tab. 15: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,00039	0,020636	0,284921	0,024242	7,75668257
EK2	-0,000299	0,017126	0,214444	0,042424	7,15349565
EK3	-0,000193	0,012975	0,150241	0,053535	6,91244863

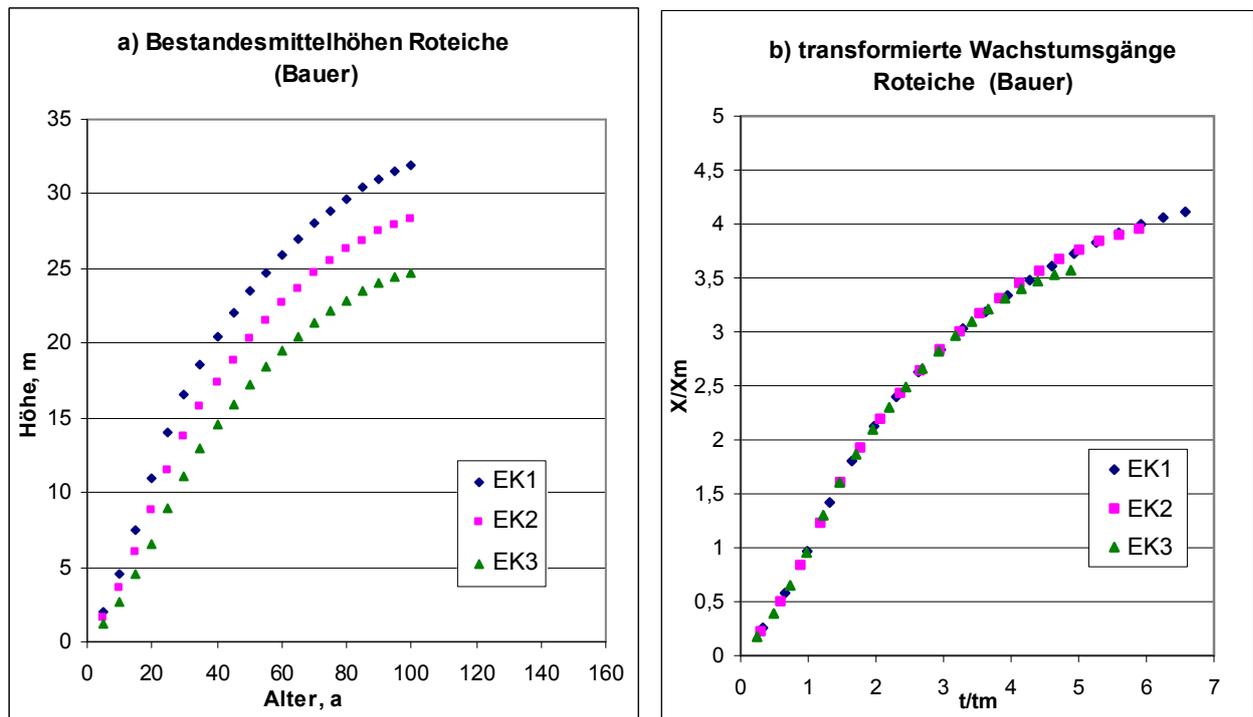


Abb. 18: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHÖBER, 1995)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

Wie in allen bereits vorgestellten Wachstumsverläufen der Fichte ist auch in Abb. 18 (a) ein unterschiedlicher Wachstumsgang (in Bezug auf die Bestandeshöhe) der drei Ertragsklassen auf unterschiedlichen Standorten zu erkennen. Die Wachstumsverläufe der einzelnen Ertragsklassen wurden mit der vorgestellten Polynommethode untersucht (siehe Kapitel 4.1). Die Parameterwerte des Polynoms 3. Grades wurden wie bei der Baumart Fichte nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet. Die Parameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 14 und Tab. 15 angegeben. In Abb. 18 (b) ist der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation dargestellt. Es ist ein annähernd einheitlicher Wachstumsverlauf ersichtlich. Die Ertragsklasse 3 weicht in den späteren Jahren (ab dem Bestandesalter von ca. 80 Jahren) etwas von den beiden besten Ertragsklassen ab.

4.1.4 Ertragstafelwerte Weißtanne

Eine weitere Ertragstafel war die Ertragstafel für Weißtanne von HAUSSER (1956). Die Ertragstafel wurde 1956 aufgestellt. Als Datengrundlage dienten Versuchsflächen der Württembergischen Versuchsanstalt. Wie bei den vorhergehenden Baumarten Fichte und Roteiche ist den Versuchsflächen für Weißtanne eine mäßige Durchforstung vorausgesetzt. In der Ertragstafel sind Bestandesmittelhöhen für sieben Ertragsklassen EK1-EK4 angegeben. Demnach stellen die Ertragsklassen der Baumart Weißtanne für die Ertragstafel von HAUSSER, wie bei v. GUTTENBERG und BAUER, eine relative Höhenbonität dar. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von SCHÖBER (1995) entnommen. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER sind in Tab. 99 des Anhangs angegeben.

Die Wachstumsverläufe der einzelnen Ertragsklassen wurden mit der vorgestellten modellunabhängigen Methode untersucht (siehe Kapitel 4.1). Die Polynomparameterwerte wurden wie bei der Baumart Fichte nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet. Die Parameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 16 und Tab. 17 angegeben.

In Abb. 19 sind die Wachstumsverläufe der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt. Es zeigt sich auch bei der Baumart Weißtanne nach der Transformation der Ertragstafelwerte mit Formel 4.1 ein annähernd einheitlicher Wachstumsverlauf. Die Ertragsklasse 1 scheint jedoch im höheren Alter bzw. bei t/t_m zwischen 3,5 und 4,5 vom einheitlichen transformierten Wachstumsverlauf abzuweichen.

Tab. 16: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,00000265	-0,00048588	0,02513423	85,06999802	37,16396425
EK1/2	0,00000186	-0,00036874	0,02092105	90,93392419	41,23095037
EK2	0,00000124	-0,00028099	0,01773535	106,16109354	44,90879893
EK2/3	0,000000847	-0,000219164	0,015236182	124,23940970	48,26275480
EK3	0,000000566	-0,000168859	0,013018989	146,58626539	52,30537183
EK3/4	0,000000491	-0,000139816	0,011062243	133,64450235	56,19392263
EK4	0,000000291	-0,000100888	0,009090803	169,80412763	61,32531109

Tab. 17: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,0000661	0,0079587	0,0779566	-0,0094629	10,48708072
EK1/2	-0,0000468	0,0063569	0,0747966	-0,0091693	10,60112253
EK2	-0,0000419	0,0060812	0,0429409	-0,0162291	10,38179068
EK2/3	-0,0000371	0,0057394	0,0194727	-0,0236878	10,11415317
EK3	-0,0000329	0,0054271	-0,0044873	-0,0273064	9,87774383
EK3/4	-0,0000207	0,003848	0,0210848	-0,0226866	9,64005202
EK4	-0,0000175	0,0034777	0,007865	-0,0307307	9,49444805

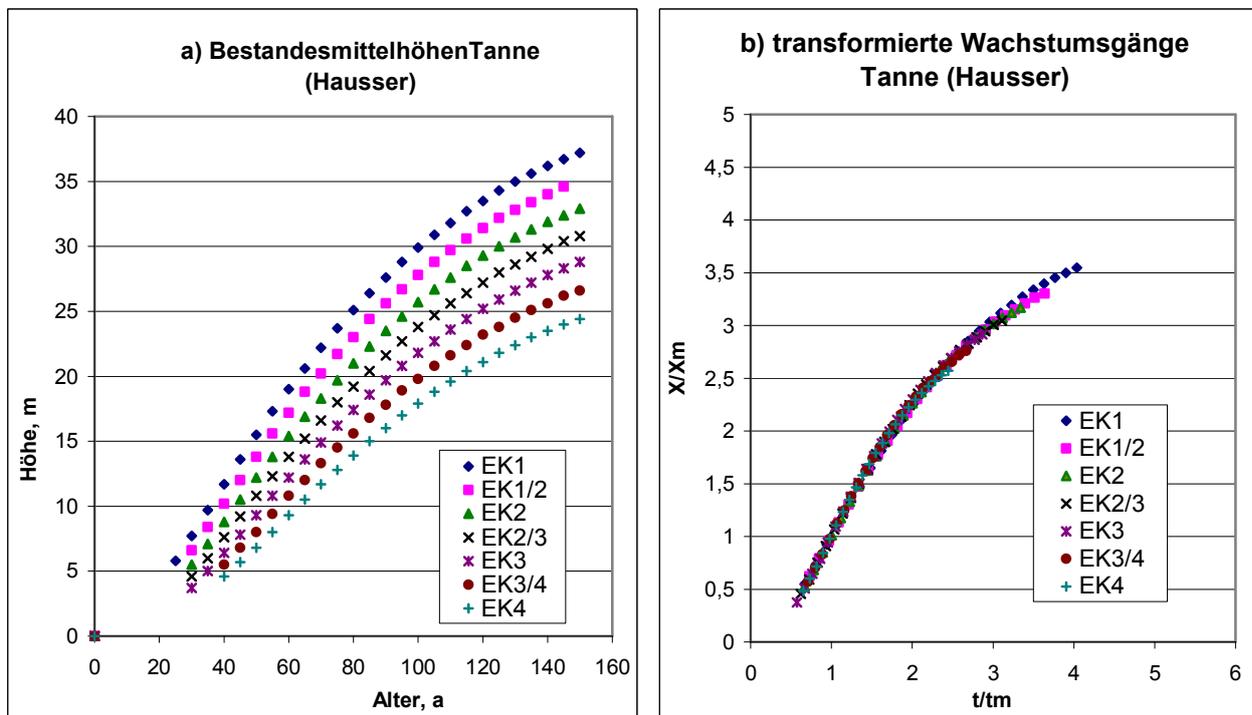


Abb. 19: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.5 Ertragstafelwerte Douglasie

Für die Nadelbaumart Douglasie ist die Ertragstafel von BERGEL (1985) für die Untersuchungen verwendet worden. Die Ertragstafel wurde 1985 aufgestellt. Als Datengrundlage dienten hierbei Versuchsflächen der damaligen Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. In der Ertragstafel werden Bestandesmittelhöhen der Ertragsklassen EK1-EK3 für mäßige und starke Durchforstung angegeben. Für die vorliegende Untersuchung wurden die Bestandesmittelhöhen für mäßige Durchforstung verwendet, damit diese mit den anderen untersuchten Baumarten verglichen werden können und unterschiedliche Bestandesbehandlungsprogramme keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Douglasie für die Ertragsklassen 1-3 von BERGEL (1985) sind in Tab. 100 des Anhangs angegeben. Die Ertragsklassen sind, wie bei den vorher untersuchten Ertrags- bzw. Standortsklassen, ein relatives Maß für die Leistung des Bestandes und geben nichts über die tatsächliche Zuwachsleistung des Bestandes an. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von SCHÖBER (1995) entnommen.

In Abb. 20 sind die Wachstumsentwicklungen der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt, welche vorerst mit der vorgestellten modellunabhängigen Methode untersucht wurden. Die Polynomparameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 18 und Tab. 19 angegeben. Es zeigt sich bei der Baumart Douglasie nach der Transformation der Ertragstafelwerte mit Formel 4.1 ein annähernd einheitlicher Wachstumsverlauf.

Tab. 18: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,0000266	-0,0027472	0,0810438	47,44787366	21,40425667
EK2	0,0000129	-0,0016555	0,0591586	60,13555058	25,42000497
EK3	0,00000577	-0,00098012	0,04347975	82,96886097	30,27435105

Tab. 19: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,000211	0,015174	0,34562	-0,005827	12,27465520
EK2	-0,000192	0,01622	0,178639	-0,011555	11,85667834
EK3	-0,000155	0,015356	0,055774	-0,034033	11,42795145

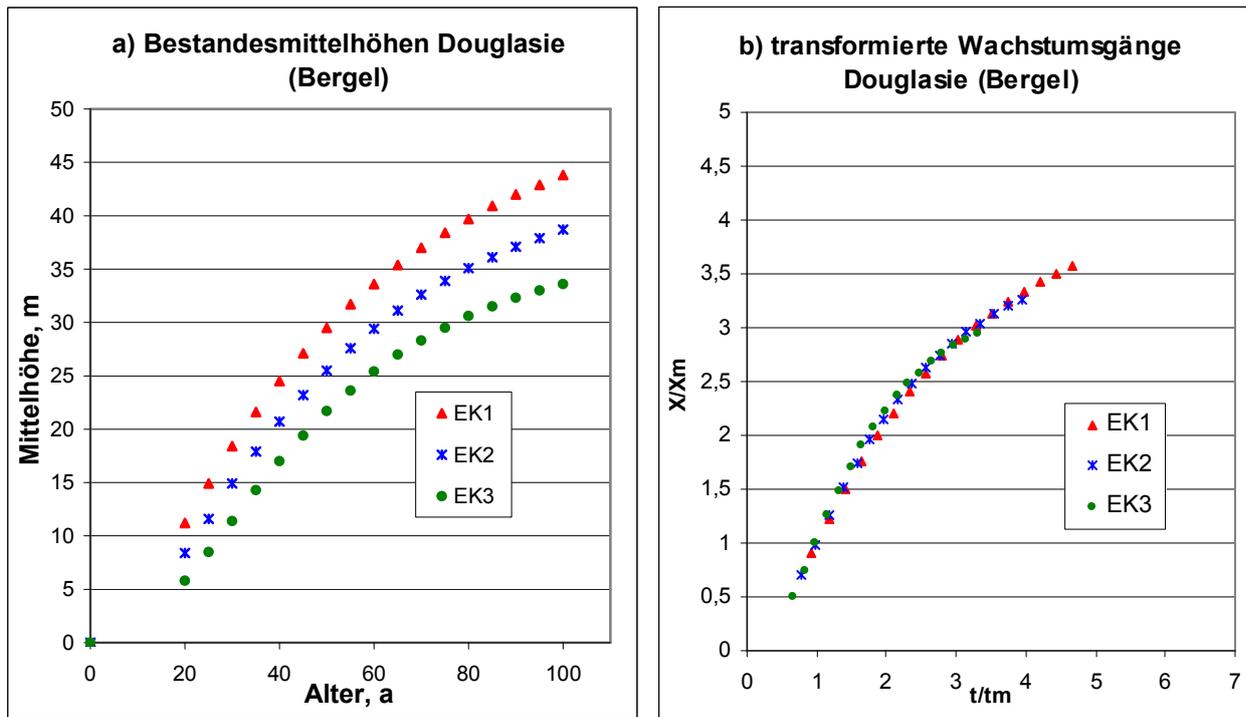


Abb. 20: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHÖBER, 1995)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.6 Ertragstafelwerte Rotbuche

Die Verwendung der Ertragstafel der Baumart Rotbuche von WIEDEMANN (1931) ist aufgrund der Angabe der Bestandesmittelhöhen und dem dazugehörigen Alter ab dem Alter von 30 Jahren als schwierig einzustufen. Durch das Fehlen von Alters- und Höhenangaben vor 30 Jahren ist die Bestimmung des Zuwachsmaximums unsicher. Trotzdem wurde versucht, aus den Daten einen Trend zu erkennen. Die Ertragstafel für Rotbuche wurde 1931 aufgestellt. Als Datengrundlage dienen Versuchsflächen der ehemaligen Preußischen Versuchsanstalt. In der Ertragstafel werden Bestandesmittelhöhen der Ertragsklassen EK1-EK5 für mäßige Durchforstung angegeben. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Rotbuche für die Ertragsklassen 1-5 von WIEDEMANN (1931) sind in Tab. 101 des Anhangs angegeben. Die Ertragsklassen stellen den relativen Maßstab für die Leistung des Bestandes dar. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von ERTEL (1962) entnommen.

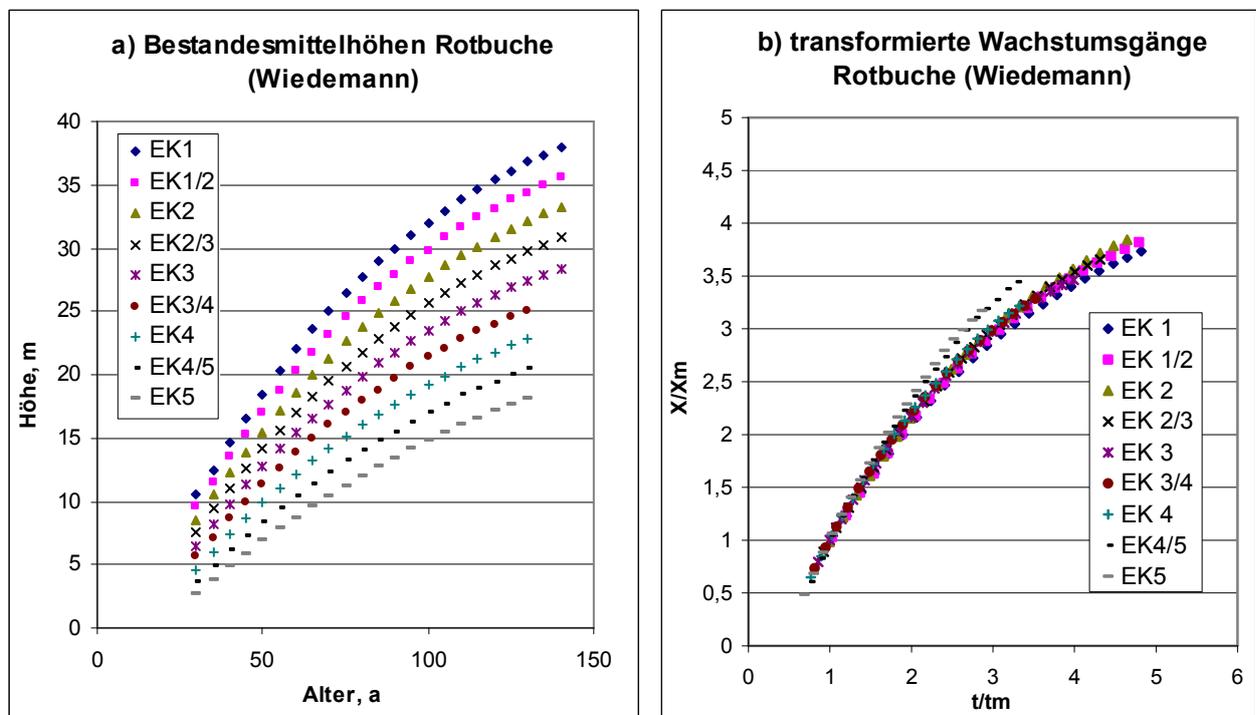
In Abb. 21 sind die Wachstumsverläufe der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt. Die Untersuchung wurde mit der vorgestellten modellunabhängigen Methode durchgeführt. Die Polynomparameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 20 und Tab. 21 angegeben.

Tab. 20: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,00000755	-0,00093292	0,03508784	53,32780641	29,04923553
EK1/2	0,00000698	-0,00086577	0,03271808	53,46812377	29,22242064
EK2	0,00000549	-0,00074386	0,02987539	60,19478010	30,13430308
EK2/3	0,00000371	-0,00057186	0,02539691	70,30271684	32,45739098
EK3	0,00000211	-0,00041145	0,02107497	94,92692522	35,07307478
EK3/4	0,00000156	-0,00033133	0,01808776	104,66897980	36,92503730
EK4	0,000000677	-0,000230846	0,014957477	188,18837652	39,13412471
EK 4/5	0,00000119	-0,00025066	0,0142337	100,91823370	39,50753661
EK 5	0,000000311	-0,000139798	0,010426131	256,02703845	43,64713089

Tab. 21: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,0000455	0,0045535	0,2563461	0,0005097	10,17431456
EK1/2	-0,0000467	0,0047285	0,2207351	-0,0008718	9,32206977
EK2	-0,0000648	0,0064535	0,1510185	-0,0025994	8,63530473
EK2/3	-0,0000562	0,0060306	0,1230025	-0,0031774	8,42063017
EK3	-0,0000625	0,006861	0,0692744	-0,002533	8,17048354
EK3/4	-0,0000532	0,0061893	0,0511122	-0,0039666	7,64381226
EK4	-0,0000544	0,006494	0,0103164	-0,0046675	7,08412343
EK 4/5	-0,0000432	0,0055354	-0,0010627	-0,0125417	5,92144268
EK 5	-0,000041	0,0054278	-0,0315316	-0,0092263	5,54567175



**Abb. 21: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962)
b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode**

Die Polynomparameterwerte wurden nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet.

Nach der Transformation der Wachstumsverläufe der Baumart Rotbuche zeigt sich ein nahezu einheitlicher Wachstumsverlauf für die Ertragsklassen 1-4. Die beiden schlechteren Ertragsklassen 4/5 und 5 weichen jedoch vom gemeinsamen Trend der Wachstumsverläufe der Ertragsklassen 1-4 ab.

4.1.7 Ertragstafelwerte Eiche

Auch die Verwendung der Ertragstafel der Baumart Eiche von ERTELD (1961) ist, wie bei der Baumart Rotbuche, aufgrund der Angabe der Bestandesmittelhöhen und dem dazugehörigen Alter ab 20 Jahren in der Ertragsklasse 1 (und bei den weiteren Ertragsklassen mit abstuften Angaben, Ertragsklasse 1/2 und 2 ab dem Alter von 25 Jahren, Ertragsklasse 2/3 und 3 ab dem Alter von 30 Jahren und Ertragsklasse 3/4 ab dem Alter von 40 Jahren) als schwierig einzustufen. Durch den späten Beginn der Alters- und Höhenangaben ist die Bestimmung des Zuwachsmaximums problematisch. Trotzdem wurde versucht, aus den Daten einen Trend zu erkennen.

Die Ertragstafel für Eiche wurde von ERTELD 1961 aufgestellt. Als Datengrundlage dienen Versuchsflächen der ehemaligen Preußischen Versuchsanstalt. In der Ertragstafel werden Bestandesmittelhöhen der Ertragsklassen EK1-EK3/4 für Hochdurchforstung angegeben. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Eiche für die Ertragsklassen 1-3/4 von ERTELD sind in Tab. 103 des Anhangs angegeben. Die Ertragsklassen stellen den relativen Maßstab für die Leistung des Bestandes dar. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von ERTELD (1962) entnommen.

In Abb. 22 sind die Wachstumsentwicklungen der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt. Die Untersuchung wurde mit der vorgestellten Polynommethode durchgeführt. Die Polynomparameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 22 und Tab. 23 angegeben. Die Polynomparameterwerte wurden nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet.

Nach der Transformation der Wachstumsverläufe der Baumart Eiche kann anhand der Abb. 22 b) kein einheitlicher Wachstumsverlauf für die Ertragsklassen EK1-EK3/4 festgestellt werden. Die Abweichungen sind möglicherweise auf die schon erwähnte späte Alters- und Höhenangabe zurückzuführen. Eine Interpretation ist aufgrund der Verwendung der modellunabhängigen Methode, kaum möglich. Auf dieses Ergebnis wird im Kapitel 5 „Diskussion“ noch einmal näher eingegangen, in dem zwei verschiedene Methoden verglichen werden. Die Zuwachsverläufe (siehe

Abb. 91 des Anhangs) verlaufen bei der Baumart Eiche besonders unruhig. Dies weist auf stark störende Einflüsse im Gegensatz zu ungestörten Zuwachsverläufen hin.

Tab. 22: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,00000741	-0,00097412	0,0360949	61,03911391	26,60101204
EK1/2	0,00000229	-0,00050847	0,02570926	115,67469753	32,35150334
EK2	0,000000701	-0,000306898	0,019992464	254,51485179	37,35200508
EK2/3	0,000000722	-0,000252738	0,017007998	192,59826505	40,77015600
EK3	-0,000000481	-0,000079536	0,010980372	48,06800177	-158,30500801
EK3/4	-0,000000185	-0,000102237	0,010149657	48,98677632	-3733,18497452

Tab. 23: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,0000862	0,0075763	0,1874617	0,0022853	8,72748733
EK1/2	-0,0000822	0,0081535	0,1094912	0,00303	9,29557998
EK2	-0,0000793	0,0088677	0,0286308	0,0015785	9,31044571
EK2/3	-0,0000567	0,0070313	0,0307274	-0,0034283	9,09433168
EK3	-0,0000416	0,0058398	0,01945	0,0068149	9,81457886
EK3/4	-0,0000347	0,004963	0,0162153	0,0007122	8,62566368

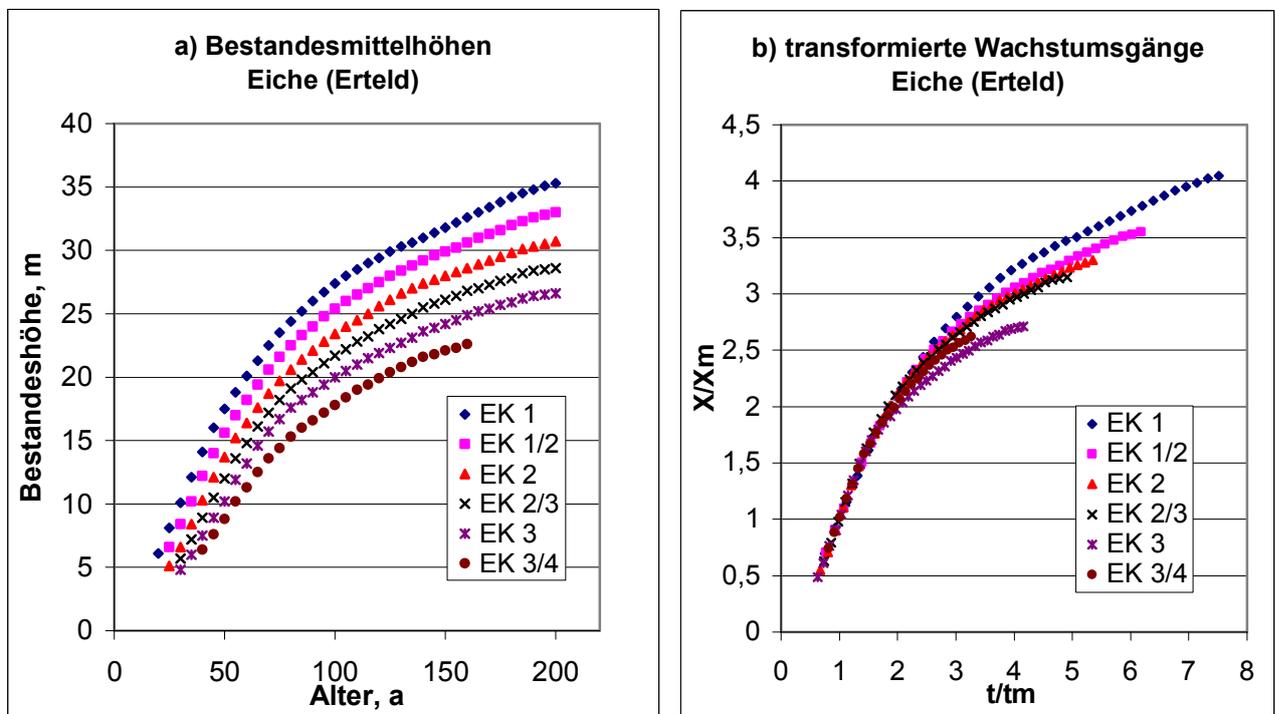


Abb. 22: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.8 Ertragstafelwerte Lärche

Für die Baumart Lärche wurde auf die Ertragstafel von SCHOBER (1946 aus R. SCHOBER, 1995) zurückgegriffen. In der Ertragstafel ist die Angabe des Bestandesalters und der Bestandeshöhe ab fünf Jahre angegeben. Die frühzeitige Angabe ist hierbei von Vorteil, da die Lärche zu den schneller wachsenden Baumarten gehört und ein zeitiges Zuwachsmaximum der Bestandeshöhe zu erwarten ist. In der Ertragstafel werden Bestandesmittelhöhen der Ertragsklassen EK1-EK3 für mäßige Durchforstung angegeben. Die Ertragsklassen für Lärche sind, wie die bereits vorher erwähnten Ertragsklassen anderer Baumarten, ein relativer Maßstab für die Leistung des Bestandes. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Lärche für die Ertragsklassen 1-3 von SCHOBER sind in Tab. 105 des Anhangs angegeben. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von SCHOBER (1995) entnommen.

Tab. 24: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
EK1	0,0000659	-0,0049577	0,1036468	35,30366738	14,85010096
EK1/2	0,0000766	-0,0052623	0,1036079	31,47414399	14,32481162
EK2	0,0000568	-0,0041588	0,0873354	33,52345967	15,28874690
EK2/3	0,0000471	-0,0035164	0,0762001	33,83240058	15,93971548
EK3	0,0000337	-0,0027822	0,0655293	37,96667976	17,07189590

Tab. 25: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
EK1	-0,000398	0,021156	0,285556	-0,165152	7,43744016
EK1/2	-0,000394	0,02142	0,230714	-0,145455	6,39672336
EK2	-0,000374	0,020883	0,181508	-0,165152	6,15463468
EK2/3	-0,000345	0,019922	0,142143	-0,059091	5,87109364
EK3	-0,000347	0,020343	0,088857	-0,043333	5,67605186

In Abb. 23 sind die Wachstumsverläufe der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt. Die Polynomparameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m der modellunabhängigen Methode sind in Tab. 24 und Tab. 25 angegeben. Die Polynomparameterwerte wurden nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet. Ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf kann in Abb. 23 näherungsweise festgestellt werden, obwohl im späten Alter der transformierten Wachstumsgänge der einzelnen Ertragsklassen eine Schwankung bzw. Abweichung festzustellen ist. Vor allem die Ertragsklasse 1 und 1/2 weichen stark voneinander ab. Dies ist bei den meisten Baumarten nicht der Fall. Es unterschieden sich dabei meist nur die guten und schlechten Bonitäten bzw. Standorts- und Ertragsklassen.

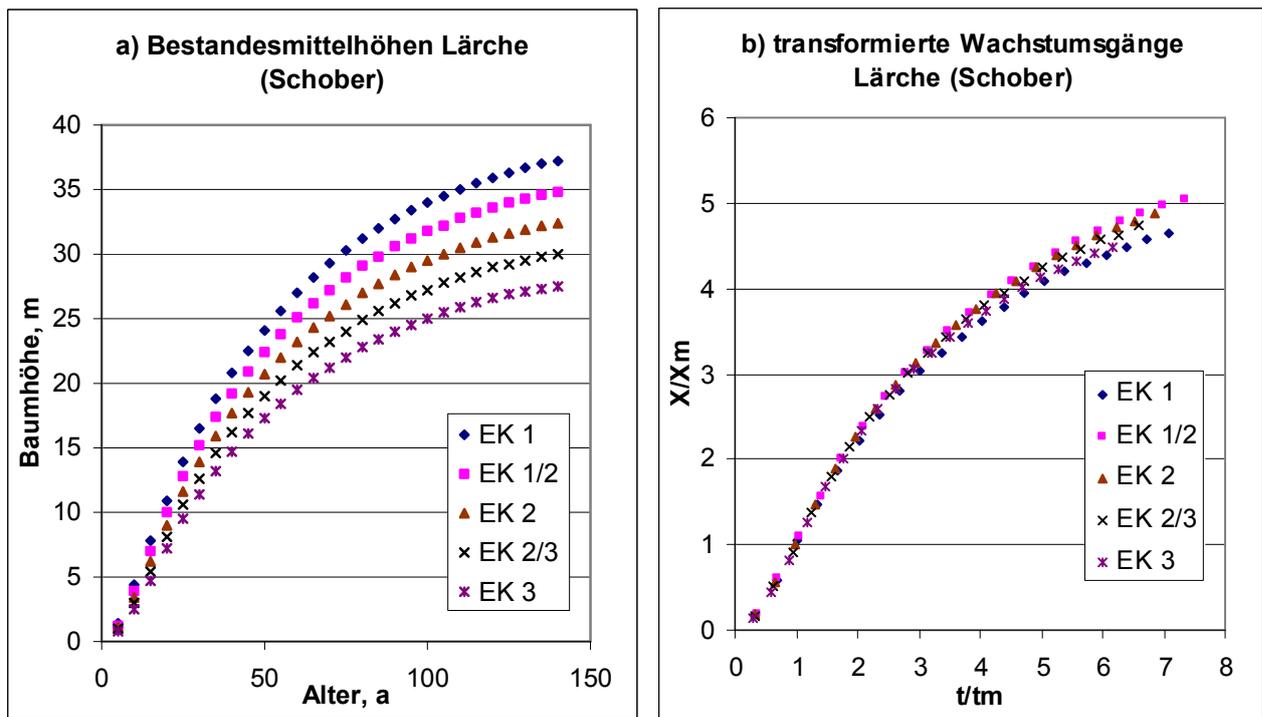


Abb. 23: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.9 Ertragstafelwerte Kiefer

Eine wichtige Hauptbaumart in Sachsen und der Bundesrepublik Deutschland ist die Baumart Kiefer. Für die Untersuchung mittels der Polynommethode wurden Ertragstafelwerte aus der Ertragstafel für Kiefer im nordostdeutschen Tiefland von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975, 2000) verwendet. Als Datengrundlage dienten Versuchsflächen der ehemaligen Preußischen Versuchsanstalt.

Aus dieser Ertragstafel wurden zur besseren Vergleichbarkeit die angegebenen Mittelhöhen verwendet, obwohl die Ertragstafel auf absoluten Oberhöhenbonitäten beruht. Die Alters- und Höhenangaben wurden in der Ertragstafel für M34-M28 ab 20 Jahren, für M26-M24 ab 25 Jahren, für M22-M18 ab 30 Jahren, für M16 ab 35 Jahren, für M14 ab 40 Jahren und für M12 ab 50 Jahren angegeben. Bei dieser späten Alters- und Höhenangabe ist eine vernünftige Zuwachsmaximumbestimmung sehr unwahrscheinlich. Deshalb wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung Angaben für Kiefernjungbestände genutzt, um die Ertragstafelwerte zu erweitern. Diese überschneiden sich mit dem mittleren Ertragsniveau, sodass Alters- und Höhenangaben der Ertragstafel vor dem Alter von 20 Jahren verwendet werden konnten. Die Ertragstafelwerte für Kiefernjungbestände wurden in der Ertragstafel für Kiefer mit angeführt. Ohne

diese zusätzlichen Datenwerte vor dem Alter von 20 Jahren wäre ein aussagekräftiges Ergebnis nicht zu erwarten. Die Ertragstafelwerte sind in Tab. 108 des Anhangs angegeben.

Die Wachstumsverläufe der einzelnen Ertragsklassen wurden mit der vorgestellten modellunabhängigen Methode untersucht (siehe Kapitel 4.1). Die Polynomparameterwerte wurden wie bei der Baumart Fichte nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet. Die Parameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 26 und Tab. 27 angegeben.

In Abb. 19 sind die Wachstumsverläufe der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der Bonitäten M34 bis M12 nach der Transformation (b) dargestellt. Für die Baumart Kiefer zeigt sich nach der Transformation kein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf. Vor allem im späten Alter treten beachtliche Unterschiede bei den Verläufen der transformierten Wachstumsgänge auf. Hierbei stellt sich nun die Frage, ob die Angaben der Ertragstafel zu Kiefernjungbeständen insoweit korrekt sind, damit der richtige Zeitpunkt des Zuwachsmaximums gefunden und die dazugehörige Bestandeshöhe berechnet werden können.

Tab. 26: Parameter der Höhenzuwachskurven der Bonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
M34	0,0001309	-0,0073126	0,1190084	25,23213284	12,01054605
M32	0,0001273	-0,0069728	0,1116628	24,65925316	11,85711239
M30	0,0001138	-0,0063	0,1022784	24,85215609	12,05469804
M28	0,0000914	-0,0052721	0,0892606	25,87208922	12,58232362
M26	0,0000878	-0,0049322	0,081915	25,02114057	12,42912518
M24	0,0000564	-0,0035849	0,0664627	28,67723473	13,69746976
M22	0,000046	-0,0029911	0,0570183	29,19885403	14,15042133
M20	0,00003064	-0,00214929	0,0446178	31,21341100	15,55094931
M18	0,00002104	-0,00157511	0,03512907	33,08862288	16,81980551
M16	0,00001481	-0,00116042	0,02797002	33,37167222	18,86420444
M14	0,0000065	-0,00063892	0,01923227	42,10768513	23,42257128
M12	0,0000026	-0,00031268	0,01219985	46,63688375	33,53747523

Tab. 27: Parameter der Höhenwachstumskurven der Bonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
M34	-0,0004	0,01919	0,295	-0,083333	5,53497335
M32	-0,000356	0,017238	0,276508	-0,078571	5,03007140
M30	-0,000333	0,016333	0,247619	-0,083333	4,69175277
M28	-0,000333	0,016429	0,207619	-0,057143	4,49281577
M26	-0,000289	0,014476	0,189127	-0,052381	3,97969414
M24	-0,000174	0,009788	0,196746	-0,09697	3,98721601
M22	-0,000166	0,009459	0,160873	-0,074242	3,62585150
M20	-0,000147	0,008766	0,12873	-0,043939	3,52500875
M18	-0,0000855	0,0058499	0,1231914	-0,0616162	3,25856513
M16	-0,0000674	0,0050485	0,0931389	-0,0135566	3,08752983
M14	-0,000056	0,0047293	0,0561829	-0,017842	3,17307867
M12	-0,0000387	0,00399	0,0248096	-0,0062114	3,85381206

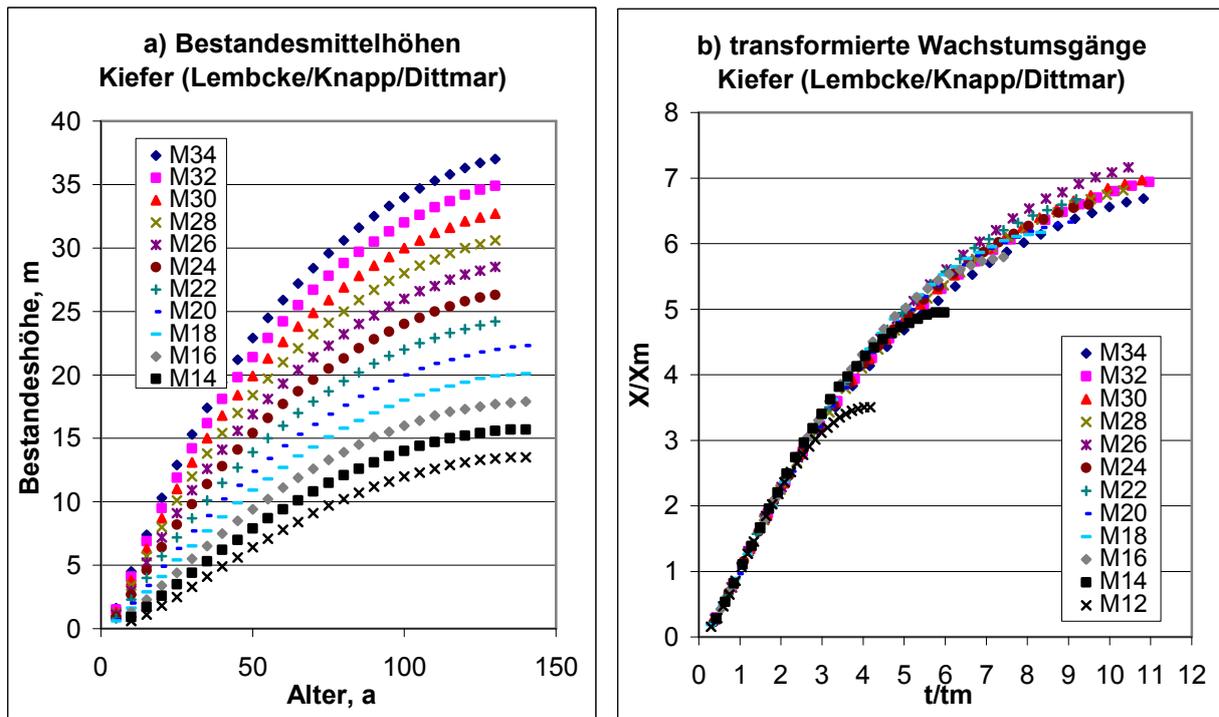


Abb. 24: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.10 Ertragstafelwerte weiterer Baumarten

Im Verlauf der Untersuchung kamen weitere Baumarten bzw. Bestände für die Analysen in Betracht, bei denen die Standorte nicht in der Bundesrepublik Deutschland zu finden sind. Ertragstafeln ausländischer Baumarten sind jedoch in geringerer Anzahl vorhanden. Meist sind es Bestände deren Untersuchungen nur wenige Jahrzehnte zurückliegen. Die Küstentanne ist in der Jugendphase schnellwachsend und erreicht in kurzer Zeit eine große Baumhöhe. Mit der Baumart Küstentanne wurden Ertragstafelwerte gefunden, die eine frühzeitige Altersangabe aufweisen und die Alters- und Höhenangaben zumindest bis zum Alter von 80 Jahren verzeichnet sind. Die Ertragstafelwerte der Küstentanne wurden der Ertragstafel von BRADLEY, CHRISTIE und JOHNSTON (1966) für Bestände aus Großbritannien entnommen. In der Ertragstafel wird in fünf Ertragsklassen unterschieden. Die beste Ertragsklasse wird Class 340 und die schlechteste Class 180 bezeichnet. Die Ertragstafelwerte sind in Tab. 106 des Anhangs angeführt.

In Abb. 25 sind die Wachstumsentwicklungen der Bestandesmittelhöhe (a) und der Wachstumsverlauf der fünf Ertragsklassen nach der Transformation (b) dargestellt. Die Untersuchung wurde mit der bereits vorgestellten modellunabhängigen Methode durchgeführt. Die Polynomparameterwerte und die Transformationsparameter t_m und X_m sind in Tab. 28 und Tab. 29

angegeben. Die Polynomparameterwerte wurden nach Formel 4.2 und 4.4 sowie die für Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m nach Formel 4.3 und 4.5 berechnet. Nach der Transformation der Wachstumsverläufe der Baumart Küstentanne zeigt sich ein nahezu einheitlicher Wachstumsverlauf für die Ertragsklassen 340 bis 180. Im späten Alter weichen die Transformationskoordinaten etwas vom gemeinsamen Trend ab.

Tab. 28: Parameter der Zuwachskurven der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON sowie die berechneten Werte für t_m (in Jahren) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
Class 340	0,0000404	-0,0041299	0,116249	48,28638375	19,86378127
Class 300	0,0000298	-0,0033368	0,1002141	53,82125154	20,82751804
Class 260	0,0000277	-0,0031084	0,0934081	53,99256541	20,81850559
Class 220	0,0000259	-0,002848	0,0853154	52,32193353	20,98565978
Class 180	0,0000236	-0,0025322	0,0753114	50,44386354	21,08720991

Tab. 29: Parameter der Höhenwachstumskurven der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON sowie die berechneten Werte für X_m (in Meter) mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
Class 340	-0,000368	0,024769	0,417474	-0,019212	15,16224517
Class 300	-0,000345	0,023566	0,368224	-0,00183	14,77298823
Class 260	-0,000324	0,022248	0,325227	-0,012337	13,47747619
Class 220	-0,000253	0,018172	0,308609	-0,044125	12,09691308
Class 180	-0,000214	0,015803	0,267305	-0,042062	10,61513359

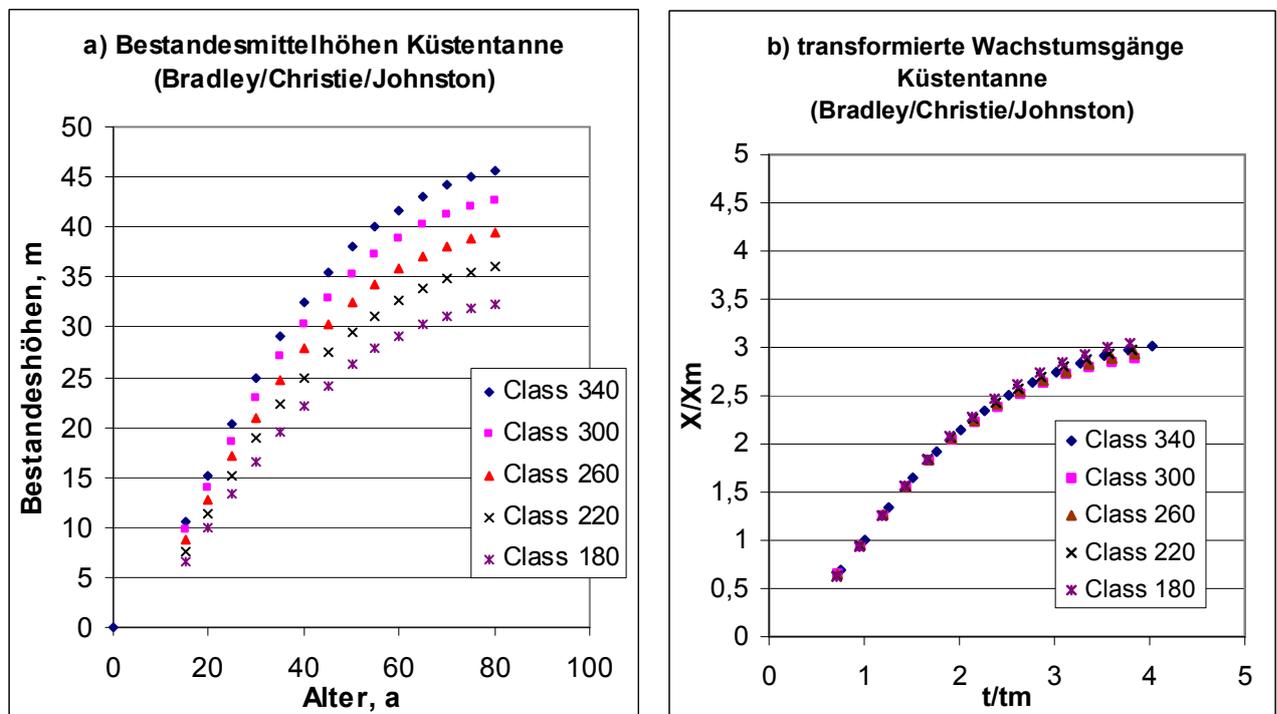


Abb. 25: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode

4.1.11 Einzelbäume Fichte

Neben der Untersuchung der Transformation von Wachstumsgängen bei Bestandeshöhen wurde auch die Transformation des Wachstumsverlaufs bei direkt gemessenen Höhen von Einzelbäumen und Mittelwerten solcher Einzelbäume untersucht. Das Ziel ist zu untersuchen, inwieweit auch aus solchen Daten ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf resultiert. Bei der Analyse von Mittelwerten für Baumhöhen war auch die Interpretierbarkeit der Resultate einfacher, denn im Gegensatz zum Wachstum von Bestandeshöhen hat man es hier während des gesamten Wachstumsprozesses mit denselben Bäumen zu tun.

Die Datengrundlage für diese Untersuchung bildeten Messwerte von Einzelbäumen, die der Veröffentlichung von v. GUTTENBERG „Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge“ (1915) entnommen wurden. Um eine einheitliche Anzahl an Einzelbäumen mit einem Alter von mindestens 120 Jahren für die Standortsklassen SK1-SK3 zu erhalten, wurden jeweils zehn Einzelbäume ausgewählt. Tab. 109 im Anhang enthält die Werte zum Höhenwachstum der ausgewählten Bäume für die Standortklasse 1. Die Angabe E (Einzelbaum) wurde aufgrund der unterschiedlichen Bezeichnungen durch v. GUTTENBERG eingefügt, so dass die Durchnummerierung der Einzelbäume von E1 bis E10 zu einer besseren Übersichtlichkeit führt.

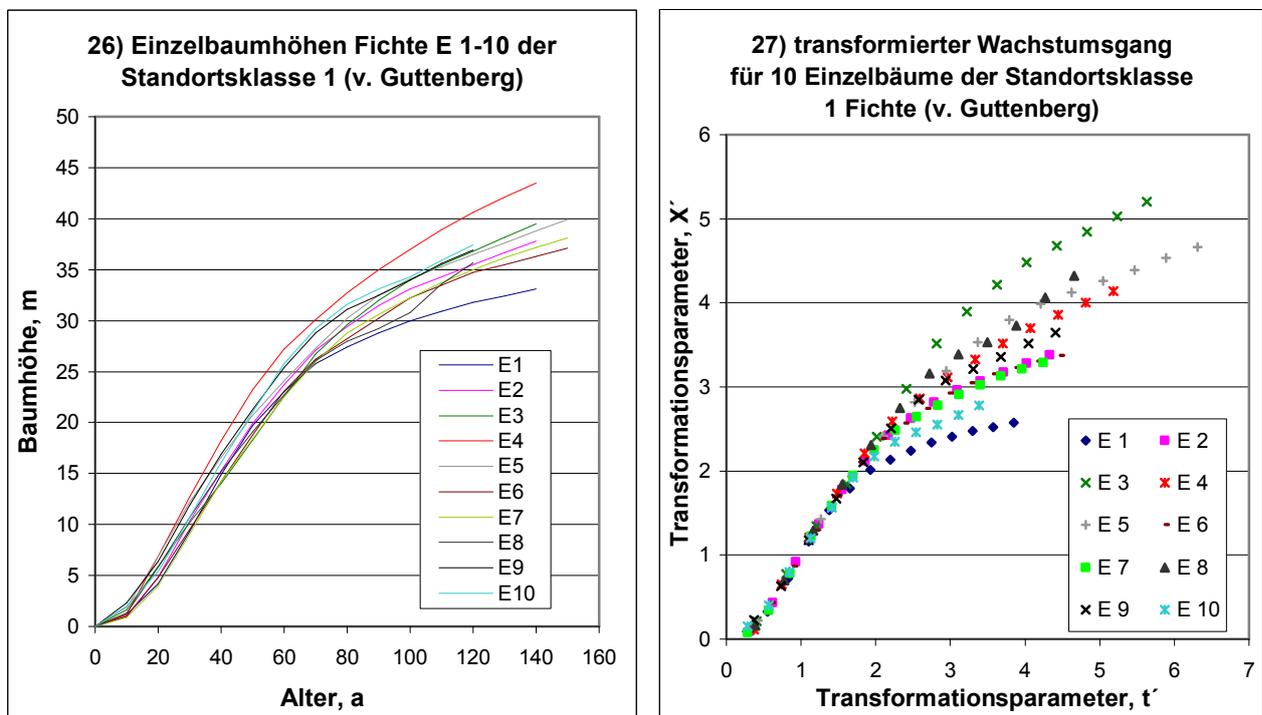


Abb. 26: Höhenentwicklung der Einzelbäume E1-E10 der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915)

Abb. 27: Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Einzelbaumwerte der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode

Wie in den vorhergehenden Untersuchungen wurden die Transformationsparameter mit Hilfe der modellunabhängigen Methode bestimmt. Zunächst wurden nur die Einzelbäume der Standortsklasse 1 von V. GUTTENBERG untersucht, um festzustellen, inwiefern sich ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ergibt. Die berechneten Werte für t_m und X_m der Einzelbäume für die Standortsklasse 1 sind in Tab. 30 bzw. Tab. 31 angegeben. Da wegen der Unterschiede im Wachstum der Einzelbäume (siehe Abb. 26) kein einheitlich transformierbarer Wachstumsverlauf zu erwarten war, wurde der Mittelwert der Baumhöhen für alle 10 Einzelbäume sowie für zwei Gruppen von je 5 Einzelbäumen berechnet. Dadurch bestand die Möglichkeit, ein eventuelles Zusammenfallen von drei Standortsklassen nach der Transformation zu testen. Abb. 26 zeigt den Wachstumsverlauf für zehn Bäume der Standortsklasse 1.

In Abb. 27 sind zunächst die entsprechenden transformierten Wachstumsverläufe der betrachteten Einzelbäume der Standortsklasse 1 graphisch dargestellt. Ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf der zehn Einzelbäume kann, wie erwartet, in Abb. 27 nicht festgestellt werden. Offensichtlich weichen die transformierten Wachstumsverläufe für Einzelbäume zum Teil erheblich vom mittleren Trend ab. Jedoch zeigen einzelne Bäume einen einheitlichen Wachstumsverlauf, wie die Einzelbäume 2, 7 und 6. Im Folgenden wurde daher untersucht, ob es möglich ist, durch Transformation von Mittelwerten einen einheitlichen Wachstumsverlauf zu erhalten und wie viele Einzelbäume für die Mittelwertbildung zumindest herangezogen werden müssen.

Tab. 30: Parameter der Zuwachskurven von Einzelbäumen und Mittelwerten der Standortsklasse 1 von V. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			t_{m1}	t_{m2}
	a	b	c		
E1	-0,00000446	-0,00009469	0,02459233	36,37500941	-50,52897054
E2	0,00000426	-0,00080665	0,03879573	93,91168612	32,32462061
E3	0,00001323	-0,0013858	0,04436317	44,98322152	24,84797022
E4	0,00001138	-0,00149336	0,05577572	60,46492195	27,01955374
E5	0,00001403	-0,00162601	0,05352276	53,49057515	23,77290786
E6	0,000006	-0,00085127	0,03687764	60,99858137	33,58697418
E7	0,00000268	-0,00060916	0,03300333	116,20897565	35,32336266
E8	0,0000113	-0,00135929	0,04754282	54,42640333	25,76769696
E9	0,00000991	-0,00123701	0,0453052	56,00775728	27,20852258
E10	0,00000479	-0,00075356	0,03535603	69,45531154	35,42429876
MW 1-10	0,00000731	-0,00102168	0,04151347	63,24550337	29,93096722
MW 1,3,5,7,9	0,00000617	-0,00088892	0,0377464	64,36509654	31,68244532
MW 2,4,6,8,10	0,00000845	-0,00115444	0,04528055	62,50117746	28,57890143

Die Frage nach der Anzahl der notwendigen Einzelbäume zur Überführung in einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf wird weitgehend durch Abb. 28 beantwortet. Die Abb. 28 (Standortsklasse 1), Abb. 29 (Standortsklasse 2) und Abb. 30 (Standortsklasse 3) zeigen den transformierten Wachstumsverlauf für die Baumhöhenmittelwerte von 10 Einzelbäumen und für zwei Gruppen von Mittelwerten mit je 5 Einzelbäumen. Es ist in allen drei Abbildungen zu

erkennen, dass sich ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf abzeichnet, dies aber für die Mittelwerte der Standortsklasse 2 weniger zutrifft als für Standortsklassen 1 und 3.

Tab. 31: Parameter der Höhenwachstumskurven von Einzelbäumen und Mittelwerten der Standortsklasse 1 von V. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				X_m
	a'	b'	c'	d'	
E1	-0,000172	0,01794	-0,074087	0,078571	12,84257502
E2	-0,000158	0,016274	-0,011667	-0,116667	11,17408579
E3	-0,0000611	0,0069881	0,1788492	-0,2285714	7,59269596
E4	-0,000169	0,016429	0,079325	-0,290476	10,51328544
E5	-0,000122	0,011143	0,174127	-0,238095	8,55978446
E6	-0,0001139	0,0126905	0,0340079	-0,1428571	10,99977384
E7	-0,0001444	0,0155595	-0,0399603	-0,0571429	11,58119554
E8	-0,000125	0,0121667	0,0989286	-0,2238095	8,26509190
E9	-0,0001139	0,011381	0,1497222	-0,0833333	10,12154426
E10	-0,0001083	0,0123333	0,0786905	0,002381	13,45246997
MW 1-10	-0,000129	0,01329	0,066794	-0,13	10,31621445
MW 1,3,5,7,9	-0,000116	0,012424	0,063278	-0,102857	10,68382846
MW 2,4,6,8,10	-0,000142	0,014157	0,07031	-0,157143	10,10046762

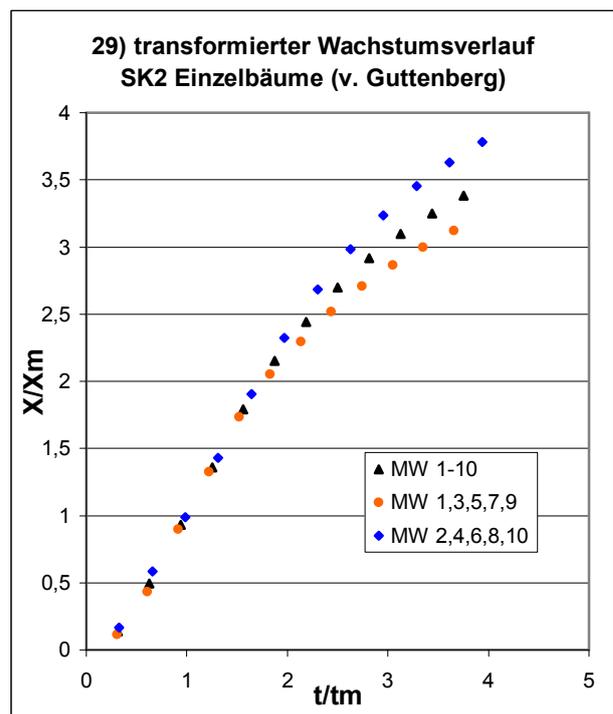
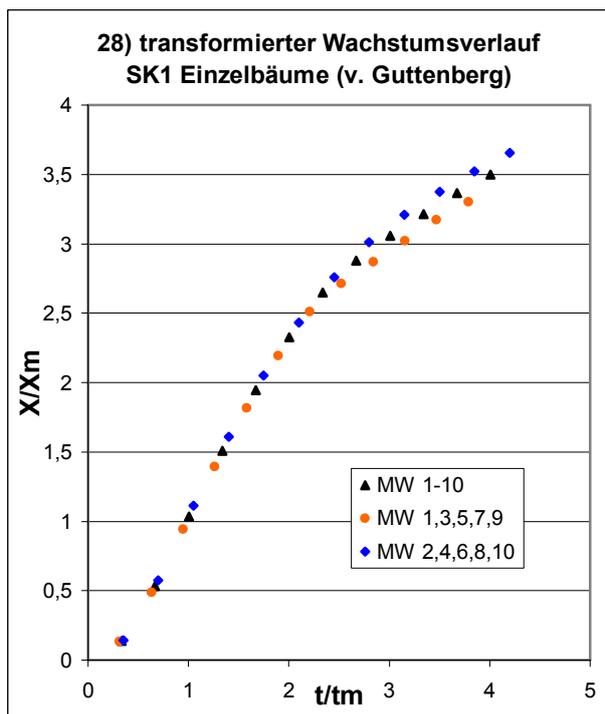


Abb. 28: Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklasse 1 von V. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode

Abb. 29: Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortsklasse 2 von V. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode

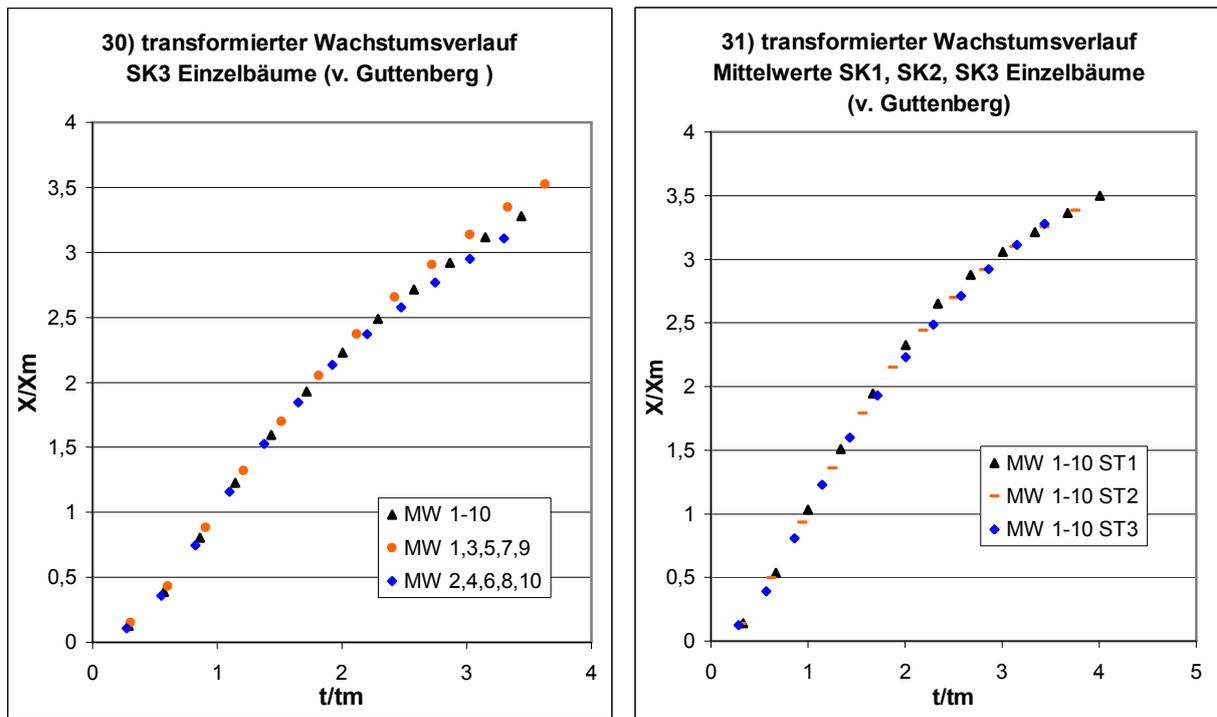


Abb. 30: Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortklasse 3 von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung der Polynommethode

Abb. 31: Wachstumsverlauf in transformierten Koordinaten für die Mittelwerte der Einzelbaumwerte der Standortklassen 1-3 von v. GUTTENBERG unter Verwendung der Polynommethode

Durch die Streuung der transformierten Wachstumskurven in der Abb. 28, Abb. 29 und Abb. 30 kann vermutet werden, dass eine Anzahl von 5 Einzelbäumen in einer Gruppe nicht ausreicht, um einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf widerzuspiegeln. Aber ein erster Trend in diese Richtung ist zu erkennen. Zur Untersuchung der Annahme, dass sich dieser Trend bei Erhöhung der zur Mittelwertbildung benutzten Baumanzahl fortsetzt, wurde in Abb. 31 der transformierte Wachstumsverlauf der Baumhöhenmittelwerte von 10 Einzelbäumen aller drei Standortklassen graphisch dargestellt. Diese Abbildung lässt einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf erkennen, der jedoch kleine Abweichungen der Kurven voneinander aufweist. Für eine Analyse auf der Grundlage von Mittelwerten sollte die Baumanzahl somit nicht kleiner als zehn sein.

Wie eingangs erwähnt, ist das Wachstum von Mittelwerten für Bäume und das Wachstum von Bestandesoberhöhen besser interpretierbar als das Wachstum von Bestandesmittelhöhen, da bei ersteren die Bestandteile des wachsenden Systems im Wesentlichen gleich bleiben. Frühere Untersuchungen (MIßBACH, 2008; ALBRECHT/MIßBACH, 2008) deuteten an, dass zur Mittelwertbildung nach Möglichkeit nicht weniger als zehn Bäume verwendet werden sollten, da sonst der Mittelwert den Trend nicht genügend genau widerspiegeln könnte.

Im Folgenden wird dennoch eine Untersuchung des Wachstumsgangs für Mittelwerte von Fichtenoberhöhen beschrieben, bei der die Anzahl der verwendeten Bäume nur fünf bzw. sechs beträgt.

Dabei wird gezeigt, dass im Fall von Veränderungen der Standortseigenschaften während des Wachstums der Zeitraum solcher Veränderungen abschätzbar ist. Dazu wird von der Hypothese ausgegangen, dass bei gleichbleibenden Standortseigenschaften die transformierten Wachstumsgänge für verschiedene Standorte zusammenfallen. Bei Standortveränderungen kommt es zu Abweichungen in den transformierten Wachstumsgängen gegenüber den transformierten Wachstumsgängen mit konstanten Standortseigenschaften. Diese Abweichungen lassen Schlüsse über die Zeitspanne von Standortveränderungen zu.

Nach Abschätzung der speziellen Erfolgsaussichten und der Überwindung einiger Schwierigkeiten wurden trotz der geringen Baumzahlen Ergebnisse erzielt. Die hier analysierten Wachstumsdaten für Oberhöhenbäume von Fichten stammen von gleichartigen Standorten (D005 und D084) bei Denklingen in Südbayern (RÖHLE, 1995, S.32/33), die durch folgende Merkmale charakterisiert werden: Höhe 708 m, mittlerer Niederschlag 1100 mm pro Jahr, Durchschnittstemperatur 6,7 °C.

Für jeden dieser Standorte standen die ermittelten Wachstumsgänge von sechs Oberhöhenbäumen zur Verfügung (RÖHLE, 1995). Eine Besonderheit besteht in der zeitlichen Versetzung des Aufwachsens der Bäume auf beiden Standorten. Das Wachstum der Bäume (Nr.1-6) auf dem Standort D005 begann bereits in den Jahren 1829-1839, während das Wachstum der Bäume (Nr.7-12) auf dem Standort D084 erst etwa 50 Jahre später in den Jahren 1878 bis 1883 begann (Tab. 32).

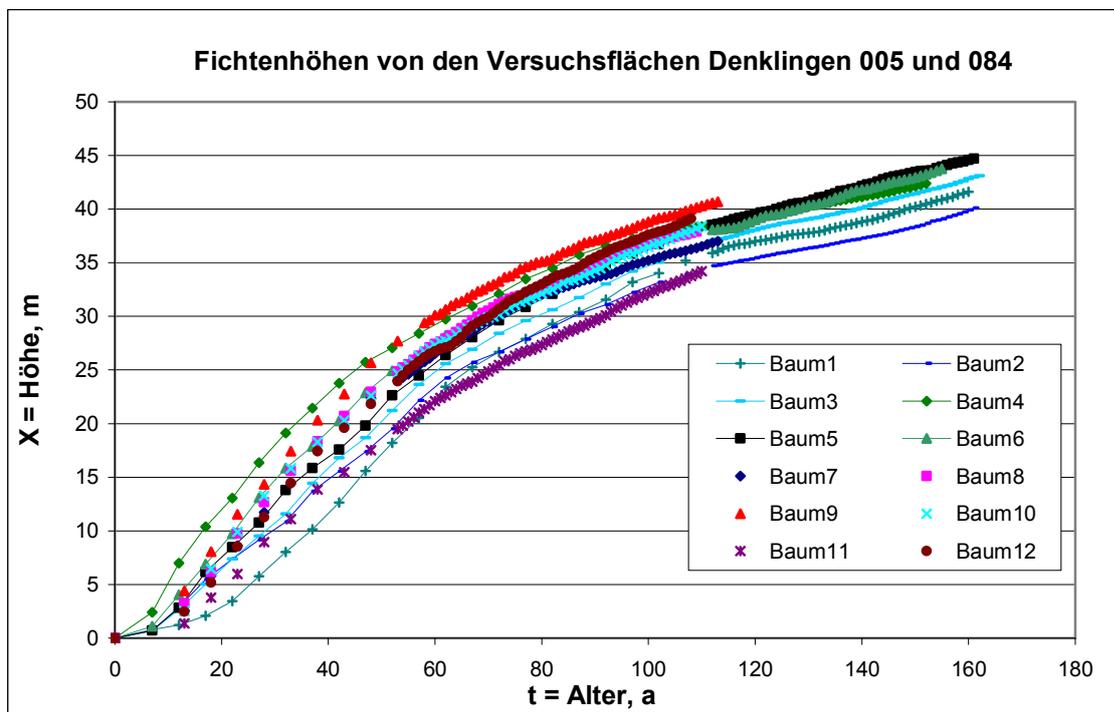


Abb. 32: Höhenwachstumsgänge der zunächst aller fünf Jahre und später jährlich vermessenen Oberhöhenbäume aus den Flächen D005 (Bäume 1-6) und D084 (Bäume 7-12)

Tab. 32: Jahr des Wachstumsbeginns der vermessenen Bäume

Denklingen 005						
Baum-Nr.	1	2	3	4	5	6
Wachstumsbeginn	1831	1830	1829	1839	1830	1836
Denklingen 084						
Baum-Nr.	7	8	8	10	11	12
Wachstumsbeginn	1878	1882	1878	1881	1881	1883

Abb. 32 zeigt die Wachstumsgänge der vermessenen Bäume 1-12 aus den Standorten D005 und D084. (Die Bäume aus der Fläche D005 sind durch Verbindungslinien gekennzeichnet). Die Alters- und Höhenangaben für die Einzelbäume sind in Tab. 110 und Tab. 111 des Anhangs angeführt. Wegen der im Vergleich zu den anderen Bäumen gegensätzlichen Krümmung zu Beginn (bis zum Alter von ca. 50 Jahren) des Wachstumsgangs von Baum 1 (B1) wurde dieser Baum von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen. Nach Prüfung und Vergleich der Wachstumsgänge der verbliebenen elf Bäume und insbesondere der Mittelwerte für die Bäume 2-6 und 7-12 der beiden Standorte ergaben sich Hinweise, dass trotz der geringen Baumzahl ausreichend genaue Ergebnisse erzielbar sein könnten. In Abb. 33 ist der Wachstumsgang der Mittelwerte der beiden Baumgruppen B2-B6 und B7-B12 dargestellt. Die relativ gute Übereinstimmung im Trend der Höhenwachstumsgänge dieser beiden Mittelwerte für fünf bzw. sechs Bäume aus gleichartigen Standorten legt nahe, dass beide Wachstumsgänge näherungsweise mit dem Wachstumsgang für Mittelwerte von größeren Baumzahlen hinreichend übereinstimmen und ihre Analyse zu brauchbaren Resultaten führen könnte. Um in Abb. 33 eventuelle Unterschiede durch die zeitliche Versetzung des Wachstumsgangs gegebenenfalls besser einordnen zu können, wurden bei den nächsten beiden Abbildungen die Kalenderjahre als Abszisse gewählt. Abb. 33 zeigt den Höhenwachstumsgang der beiden Mittelwerte in der historischen Einordnung und Abb. 34 enthält die entsprechenden Zuwächse. Zum besseren Vergleich der zeitlich versetzten Wachstumsgänge wurden in Abb. 33 und Abb. 34 die Daten von D084 zusätzlich um 50 Jahre in die Vergangenheit verschoben dargestellt.

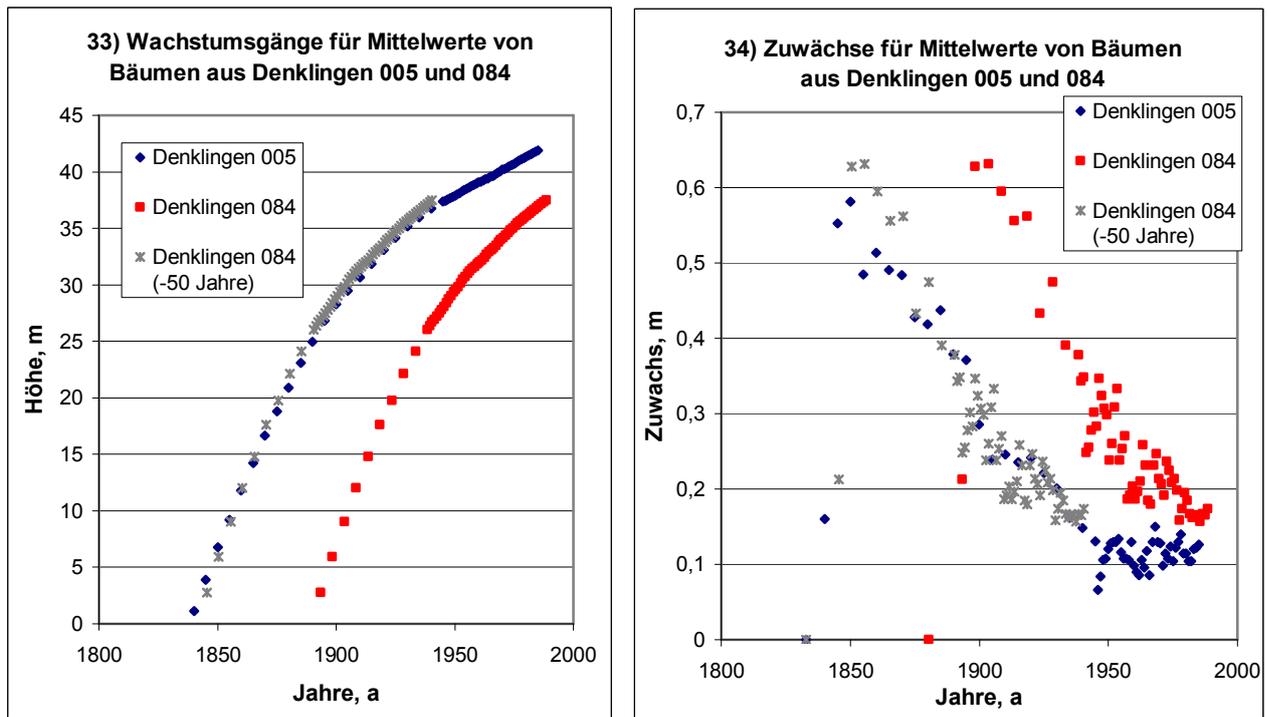


Abb. 33: Historische Einordnung der Wachstumsgänge von Mittelwerten der Höhen der Oberbäume B2-B6 aus der Versuchsfläche D005 und der Mittelwerte der Höhen der Oberbäume B7-B12 aus der Versuchsfläche D084

Abb. 34: Historische Einordnung der Zuwächse von Mittelwerten der Höhen der Oberbäume B2-B6 aus der Versuchsfläche D005 und der Mittelwerte der Höhen der Oberbäume B7-B12 aus der Versuchsfläche D084

Aus Abb. 34 geht hervor, dass sich die Zuwächse im frühen Baumalter für die beiden Flächen D005 und D084 unterscheiden, weswegen für die Transformationsparameter Unterschiede zu erwarten sind. Die weiteren Untersuchungen konzentrieren sich auf die Daten der Fläche D005, für die der Datenbereich 50 Jahre länger ist. Die Analyse dieses Wachstumsgangs ergab, dass der transformierte Wachstumsgang deutlich vom gemeinsamen standortunabhängigen transformierten Wachstumsgang abwich. Als Ursache dafür wird vermutet, dass eine Voraussetzung für das Zusammenfallen der transformierten Wachstumsgänge für verschiedene Standorte bei gleichbleibenden Wachstumsbedingungen nicht erfüllt war. Daher wurde angenommen, dass sich in der Umgebung von Denklingen Standortseigenschaften verändert haben und es entstand die Frage, welche Standortseigenschaften dafür infrage kämen. Durch GÖTTLEIN (2010) wurde darauf hingewiesen, dass für die Standorte bei Denklingen im vorigen Jahrhundert ein deutliches Anwachsen der Stickstoffverfügbarkeit registriert wurde, die durch starkes Anwachsen der Schweinemast in der Nähe dieser Standorte zustande kam (GÖTTLEIN, 2010).

Um die durch die anwachsende Stickstoffverfügbarkeit erwartete Abweichung des Wachstumsgangs vom gemeinsamen standortunabhängigen Wachstumsgang in den transformierten Koordinaten t' und X' nachzuweisen und zu analysieren, wurde zunächst versucht, die Werte der Transformationsparameter t_m und X_m zu bestimmen. Die Bestimmung der

Transformationsparameter erwies sich wie erwartet als schwierig und es ergaben sich zunächst inkonsistente Ergebnisse. Für den Zeitraum vor dem Anwachsen der Stickstoffverfügbarkeit war zu erwarten, dass die transformierten Daten mit dem gemeinsamen Wachstumsgang zusammenfallen sollten. Dies war aber für den transformierten Wachstumsgang mittels der Polynommethode erhaltenen Transformationsparameter t_m und X_m nicht der Fall. Wegen der Instabilität dieser Ergebnisse wurde eine andere Vorgehensweise versucht. Zunächst wurde die naheliegende Annahme gemacht, dass der von veränderter N-Verfügbarkeit nicht betroffene Teil des transformierten Wachstumsgangs der mittleren Oberhöhen des Standorts D005 mit dem gemeinsamen standortunabhängigen Wachstumsgang für Fichten zusammenfallen sollte. Davon ausgehend wurde zunächst ein grob geschätzter Startwert für den t_m -Wert vorgegeben. Der zugehörige Startwert für den X_m -Wert wurde dann aus dem mit einem Polynom 3. Grades angepassten Wachstumsgang der Oberhöhen abgelesen. Der nächste Startwert für den t_m -Wert wurde dann größer oder kleiner als der vorangegangene gewählt, je nachdem, ob sich der transformierte Wachstumsgang für die Mittelwerte für den Zeitraum, in dem die Standortteigenschaften noch nicht merklich verändert waren, unterhalb oder oberhalb des gemeinsamen Wachstumsgangs (für den Fall, dass der Standort unverändert bleibt) befand. Durch dieses manuelle iterative Vorgehen wurde schließlich ein Wertepaar $t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ Meter gefunden, für das der transformierte Wachstumsgang mit dem gemeinsamen standortunabhängigen Wachstumsgang bis zum Alter von etwa 86 Jahren, also etwa bis zum Jahre 1916, übereinstimmt. Danach weicht der reale Wachstumsgang zunehmend vom gemeinsamen standortunabhängigen Wachstumsgang ab. Als Ursache dafür kommt die zunehmende N-Verfügbarkeit infrage, zumal diese Verfügbarkeit früher als limitierender Faktor fungierte. Wie erwähnt, ist nach GÖTTLEIN (2010) der Anstieg der Stickstoffverfügbarkeit in diesem Gebiet hauptsächlich auf das Wachstum und die Intensivierung der Schweinezucht in der Nähe des Standorts zurückzuführen (GÖTTLEIN, 2010). Entsprechende Veränderungen von Standortseigenschaften in Bayern, die zu Bonitätsänderungen führten, wurden - insbesondere auch für den Standort Denklingen - von RÖHLE beschrieben (RÖHLE, 1997). Als Hauptursachen dafür wurden das Klimageschehen sowie die Konzentrationserhöhung von CO_2 und Stickstoff in der Atmosphäre gesehen.

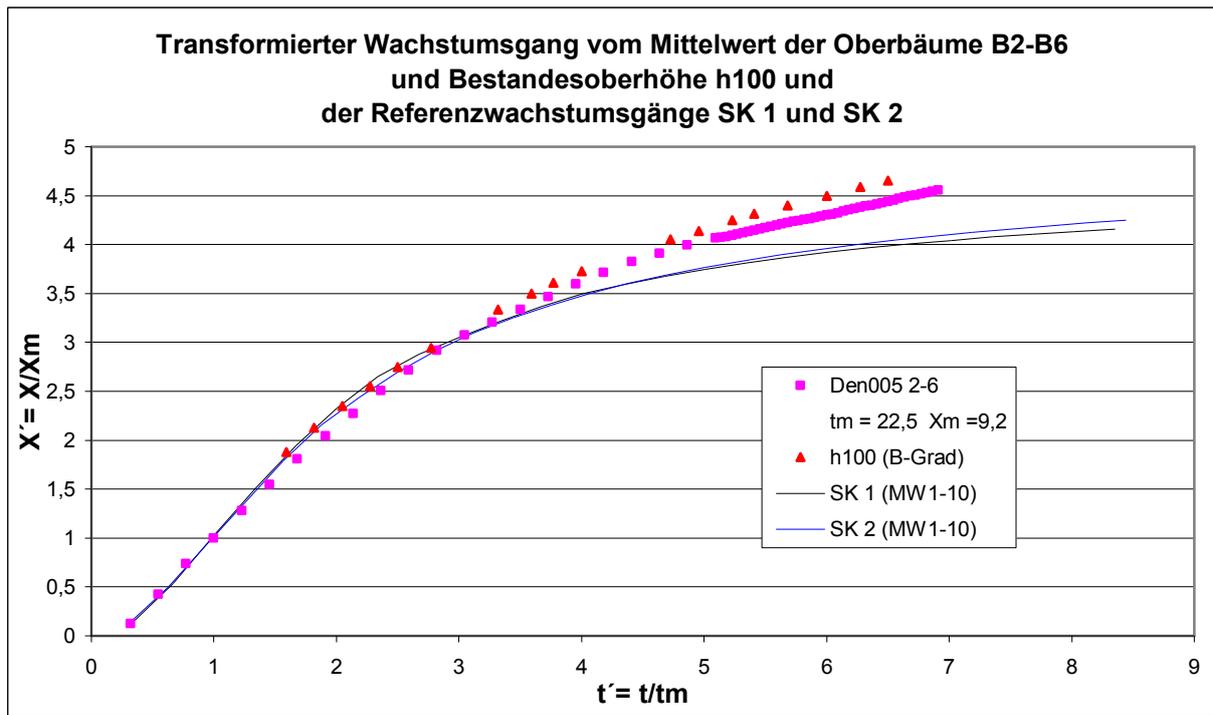


Abb. 35: Transformierter Wachstumsgang für die Mittelwerte der Höhen der Einzelbäume EB2-EB6 der Versuchsfläche D005 unter Verwendung von Transformationsparametern, deren Werte ($t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ m) abgeschätzt wurden (s. Text). Bei Verwendung derselben Transformationsparameter ist auch der transformierte Wachstumsgang für die Oberhöhen h_{100} (B-Grad Parzelle) dargestellt. Zusätzlich sind zwei transformierte Referenzwachstumsgänge (für unbeeinflusste Standortbedingungen), die auf Mittelwerten von je zehn Bäumen der Standortsklassen SK1-SK2 von GUTTENBERG beruhen, als Linien dargestellt

Abb. 35 zeigt den mittels der erwähnten Transformationsparameter $t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ Meter transformierten Wachstumsgang im Vergleich zum angenommenen unbeeinflussten Wachstumsgang für Fichten der Standortsklassen 1 und 2 von v. GUTTENBERG. Aus dem Abstand des Kurvenverlaufs lässt sich der Höhenunterschied abschätzen, der durch die Veränderung der Standortbedingung zustande kam. Die Genauigkeit solcher Abschätzungen hängt allerdings stark von der Menge und der Genauigkeit der Ausgangsdaten und der Gültigkeit der gemachten Annahmen ab. Da hier die Mittelwerte der Höhen von nur fünf Bäumen Verwendung fanden, kann keine hohe Genauigkeit erwartet werden. Dennoch soll an diesem Beispiel angedeutet werden, wie solche Abweichungen ermittelt werden können. Im Einklang mit Abb. 35 ergibt sich aus dem Verlauf der transformierten Daten der Fläche D005 für $t' = 6,5$ das Baumalter von etwa $t = 6,5 \cdot t_m = 6,5 \cdot 22,5$ Jahre = 146 Jahre und somit für das Kalenderjahr 1980 und für die zugehörige Höhe $X = X' \cdot X_m = 4,1 \cdot 9,2 \text{ m} = 37,72 \text{ m}$. Ohne Erhöhung der Stickstoffverfügbarkeit war zu erwarten, dass der Wachstumsgang auf dem gemeinsamen transformierten Wachstumsgang für Fichten verblieben wäre. Der entsprechende X' -Wert wäre dann $X' = 4,44$ und die entsprechende Höhe folglich $X = X' \cdot X_m = 4,44 \cdot 9,2 \text{ m} = 40,85 \text{ m}$. In der Zeit von 1916 bis 1980 hätte die zunehmende N-Verfügbarkeit somit etwa zu einer zusätzlichen Höhe von 3,15 m geführt.

Für denselben Standort (D005) existiert auch ein Wachstumsgang (beginnend ab dem Alter 35 Jahre bis zum Alter 140 Jahre, Fällungsjahr ca. 1990) für die Bestandesoberhöhen h_{100} (RÖHLE, 1995, Tab. 30/8, S. 254). Wegen seines späteren Beginns lassen sich die Transformationsparameter aus diesem Wachstumsgang nicht bestimmen. Transformiert man diesen Wachstumsgang aber mit denselben Transformationsparametern ($t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ m), die für den Wachstumsgang des Mittelwertes der fünf vermessenen Bäume 2-6 erhalten wurden, so stimmt der transformierte Wachstumsgang mit dem für die Mittelwerte erhaltenen weitgehend überein. Insbesondere beginnt auch er etwa im Jahre 1916 vom gemeinsamen transformierten Wachstumsverlauf für Fichten auf unveränderten Standorten abzuweichen. Dies weist darauf hin, dass die mit Hilfe der manuellen Interpolation aus den Mittelwerten von fünf Bäumen bestimmten Transformationsparameterwerte annähernd richtig bestimmt wurden.

Es soll darauf hingewiesen werden, dass für die sechs vermessenen Bäume der beiden Flächen bei Denklingen von RÖHLE auch eine Darstellung des Verlaufs der normierten Volumenzuwächse existiert (RÖHLE, 1995, S.180). Für gleichbleibende Standortseigenschaften sollte dieser Verlauf nur ein Maximum aufweisen. Etwa im Jahre 1950 beginnen hier aber die Zuwächse wieder zu einem neuen Maximum anzusteigen. Es gibt also eine etwa 1950 beginnende Abweichung vom normalen bei gleichbleibenden Standortseigenschaften stattfindendem Wachstum für den Volumenzuwachs. Aus den Ertragstafeln von v. GUTTENBERG geht hervor, dass das Zuwachsmaximum für die Holzmasse erst Jahrzehnte nach dem Zuwachsmaximum für die Höhe auftritt (ALBRECHT/MIBBACH, 2009).

Der Vollständigkeit halber sei noch darauf hingewiesen, dass die Transformation der entsprechenden Mittelwerte über die sechs Bäume der Versuchsfläche D084 nicht zu der erwarteten Übereinstimmung mit dem unter Verwendung $t_m = 22,5$ Jahre und $X_m = 9,2$ m transformierten Wachstumsgang bis zum Jahre 1916 führt. Möglicherweise wirkt sich die zeitliche Versetzung der Pflanzdaten um 50 Jahre entsprechend aus. So könnten z. B. die ersten Jahre für die Jungbäume für die Fläche D005 kälter gewesen sein als es 50 Jahre später für die Fläche D084 der Fall war. Auch unterschiedliche Provenienzen beim Pflanzgut kämen beispielsweise als Erklärung in Frage. Deutliche Unterschiede zwischen den anfänglichen Zuwächsen sind in Abb. 34 ersichtlich.

Insgesamt hat die Untersuchung der Daten zum Höhenwachstum der Versuchsflächen bei Denklingen gezeigt, dass mit Hilfe der transformierten Wachstumsgänge Standortveränderungen nachweisbar sind und deren zeitliche Einordnung möglich ist.

4.2 Untersuchungen mit Hilfe des Evolonmodells

Anhand der Untersuchungen unter Verwendung des Polynoms 3. Grades konnte festgestellt werden, dass ein einheitlicher Wachstumsgang von verschiedenen Ertragsklassen bzw. Bonitäten einer Baumart erkennbar ist. Teilweise sind sich verschiedene Baumarten sehr ähnlich und zeigen einen ähnlichen transformierten Wachstumsverlauf.

Im Folgenden soll nun geprüft werden, ob die Ergebnisse unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1976) bestätigt werden können. Mittels des Evolonmodells von MENDE (1976) ist es möglich, die erhaltenen Ergebnisse besser zu interpretieren und mögliche Rückschlüsse aus der Untersuchung mit und ohne Modellnutzung zu ziehen. Im Kapitel 2.3 wurden bereits Wachstumsfunktionen vorgestellt. Dieser Hintergrund bildet die Grundlage für die Untersuchungen mit der Nutzung des Evolonmodells. Das Evolonmodell wurde bisher nur ansatzweise in der Forstwissenschaft verwendet. Die erste Veröffentlichung diesbezüglich erschien im Jahr 2001 (MENDE und ALBRECHT, 2001).

4.2.1 Das Evolonmodell

Das Evolonmodell von MENDE (1976), welches ursprünglich durch das Wachstum der Anzahl deutschsprachiger mathematischer Veröffentlichungen entdeckt wurde und mit einem hyperbelartigen Ansatz beschrieben werden konnte, bildet die Grundlage der vorliegenden Untersuchungen. Im Zusammenhang mit Wachstumsuntersuchungen (z.B. Weltbevölkerung, globaler Energieverbrauch) und der Frage nach der Systematisierung von Wachstumsprozessen entwickelte MENDE das Evolonmodell und stellte die Klassifikationshypothese für Wachstumsprozesse auf (MENDE, 1982, 1985). Das Evolonmodell hat die Form einer einfachen nichtlinearen Differentialgleichung und besteht aus einem Wachstums- und einem Bremssterm. Es hat die Form einer gewöhnlichen autonomen nichtlinearen Differentialgleichung:

$$\frac{dX}{dt} = cX^{\kappa} (B - X)^{\lambda} \quad (4.7)$$

Die multiplikativ gekoppelten Terme cX^{κ} bzw. $(B-X)^{\lambda}$ bewirken das Anwachsen der Zuwächse während des anfänglich beschleunigten Wachstums bzw. die Abnahme der Zuwächse während des Abbremsens des Wachstums.

$X(t)$ repräsentiert den Wachstumsindikator. Die Modellparameter sind:

- c = Geschwindigkeitsparameter,
- B = Sättigungswert (Maximalwert des Wachstumsindikators),
- κ (k) = Exponent für die anfängliche Wachstumsphase,

λ (l) = Exponent für die Sättigungsphase des Wachstums,
 $X(t_0) = X_0 =$ Startwert für die Integration zum Zeitpunkt t_0 .

Das Evolonmodell enthält also fünf Modellparameter. Die Exponenten κ und λ sind dimensionslos und für die Krümmung der Wachstumskurve während der Beschleunigungs- bzw. Bremsphase verantwortlich. Die Werte des Parameters κ wirken sich daher vorwiegend auf die Beschleunigungsphase des Wachstums aus, während die Werte des Parameters λ vorwiegend auf die Bremsphase des Wachstums wirken. Dagegen haben der Sättigungswert B und der Startwert $X_0 = X(t_0)$ die Dimension des Wachstumsindikators X (bei der Baumhöhe Meter). Der Modellparameter B stellt den maximalen Endwert des Wachstumsindikators dar. Die Notwendigkeit des Sättigungswertes ist in der Endlichkeit der Umwelt eines jeden dynamischen Systems begründet. Der Anfangswert X_0 ist der Startwert für die Integration. Da sein genauer Wert z.B. wegen Messfehlern nicht exakt bekannt ist, wird er als zusätzlicher freier Parameter betrachtet. Für die Steigung der Kurve ist der Geschwindigkeitsparameter c verantwortlich.

Mit Hilfe der Konstruktion des sogenannten Exponentialturms

$$y(x) = x^{x^{x^{\dots}}} = \lim_{n \rightarrow \infty} x \uparrow \uparrow n \quad (4.8)$$

find MENE (1985) eine Erklärungsmöglichkeit für das Zustandekommen hyperbolischen Wachstums. Der Exponentialturm besteht aus einer Kette exponentiell wachsender Teilprozesse, bei dem die relativen Zuwächse proportional der im vorangegangenen Kettenglied erhaltenen Wachstumsgröße X sind. Beim Übergang der Kettengliedzahl $n \rightarrow \infty$ ergibt sich für die Wachstumsgröße X im untersten Kettenglied die Zuwachsgleichung:

$$dX(t)/dt = cX(t)^\kappa. \quad (4.9)$$

In Abhängigkeit vom Wert des Parameters κ ergibt sich daraus für:

$\kappa < 1$: parabolisches Wachstum (sinkende relative Wachstumsraten)

$$X(t) = c'(t-t_0)^{1/(1-\kappa)} \text{ mit } c' = [(1-\kappa)c]^{1/(1-\kappa)} \quad (4.10)$$

$\kappa = 1$: exponentielles Wachstum (konstante relative Wachstumsraten)

$$X(t) = X(t_0)e^{c(t-t_0)} \quad (4.11)$$

$\kappa > 1$: hyperbolisches Wachstum (steigende relative Wachstumsraten)

$$X(t) = c'(t-t_0)^{-1/(1+\kappa)} \text{ mit } c' = [(1+\kappa)c]^{-1/(1+\kappa)} \quad (4.12)$$

Für den Fall des parabolischen und des hyperbolischen Wachstums besteht hinsichtlich des Parameters κ eine Strukturstabilität, d.h. kleine Störungen von κ führen zu keiner Änderung des Wachstumstyps (PESCHEL und MENE, 1983). Dagegen trennt das exponentielle Wachstum das parabolische vom hyperbolischen Wachstum und ist an der Trennlinie bezüglich des Parameters κ

strukturinstabil. Das bedeutet, dass jede kleine Störung von κ exponentielles Wachstum entweder in parabolisches oder in hyperbolisches Wachstum verwandelt.

Damit die Endlichkeit des Wachstumsprozesses, welche in wirklichkeitsnahen Systemen immer beobachtet wird, berücksichtigt werden konnte, musste ein zu cX^κ analoger Bremsterm konstruiert werden (PESCHEL und MENDE, 1986). Dazu wurde ein Exponentialterm für die Größe $Y(t) = B - X(t)$ verwendet, was zu einem Bremsprozess des Wachstums bzw. einem Sättigungsterm der Form $Y(t) = c(B - X)^\lambda$ führte (MENDE, 1982, 1985). Dieser Term beschreibt die Annäherung des Wachstumsindikators $X(t)$ an die Größe B (Maximum) im Verlauf des Bremsprozesses. Diese Annäherung kann je nach Ausprägung des λ -Wertes wiederum parabolisch ($\lambda < 1$), exponentiell ($\lambda = 1$) oder hyperbolisch ($\lambda > 1$) sein (MENDE und ALBRECHT, 2001).

Die Klassifikation der Teilprozesse, beschleunigtes Wachstum und gebremstes Wachstum, ist also durch die Werte der Exponenten κ und λ möglich. Die meisten Wachstumsprozesse verlaufen in der Anfangsphase entweder parabolisch (z.B. Wachstum des Menschen) oder hyperbolisch (z.B. Wachstum der Weltbevölkerung). Exponentielles Wachstum mit konstantem Zuwachs in der Anfangsphase kommt nur in Ausnahmefällen vor. Die Analyse verschiedener Wachstumsprozesse brachte MENDE (1982, 1985) zur Formulierung der folgenden Klassifikationshypothese, mit der den Wertebereichen von κ bzw. λ unterschiedliche inhaltliche Eigenschaften der Teilprozesse des Wachstums zugeordnet werden:

- $\kappa, \lambda < 1$ \rightarrow zielgerichteter, programmierbarer, planbarer, wiederholbarer Prozess;
- $\kappa, \lambda > 1$ \rightarrow evolutionsartiger, unikaler, nicht zielgerichteter und nicht programmierbarer Primärprozess (Anpassungsprozess) mit Innovationen;
- $\lambda > \kappa$ - Regel \rightarrow Regel der erhöhten Kooperation in der Sättigungsphase (Bremsphase), Zunahme der Systemvernetzungen und Kooperation der Systemteile zur Nutzung der knapp werdenden Ressourcen (bei Annäherung an die durch die Umwelt bedingte Wachstumsgrenze).

Entsprechend der aus dem Exponentialterm folgenden Beziehung $\kappa = 1 + c'/c_0$ werden beide Exponenten als Kooperationsparameter interpretiert. Dabei entstehen während der Bremsphase zunehmende Wechselwirkungen zwischen den Teilprozessen bei der Annäherung des Systems an seine Wachstumsgrenzen. Die empirisch erhaltene Beziehung $\lambda > \kappa$ führt zur Regel der größeren Kooperativität in der Bremsphase. D.h. die Kooperativität ist während der Bremsphase größer als in der Beschleunigungsphase. In Abb. 36 wird veranschaulicht auf welche Teile des Wachstumsprozesses die beiden Terme des Evolonmodells vorwiegend wirken. Die markierte vertikale Linie in der Abb. 36 ist der Zeitpunkt des Zuwachsmaximums. Vor dem Zuwachsmaximum, in der sogenannten Beschleunigungsphase, ist der Term cX^κ wirksam und

bewirkt eine positive Rückkopplung. Nach dem Zuwachsmaximum, in der sogenannten Sättigungsphase, wirkt der Term $(B - X)^\lambda$ der zu einer negativen Rückkopplung führt.

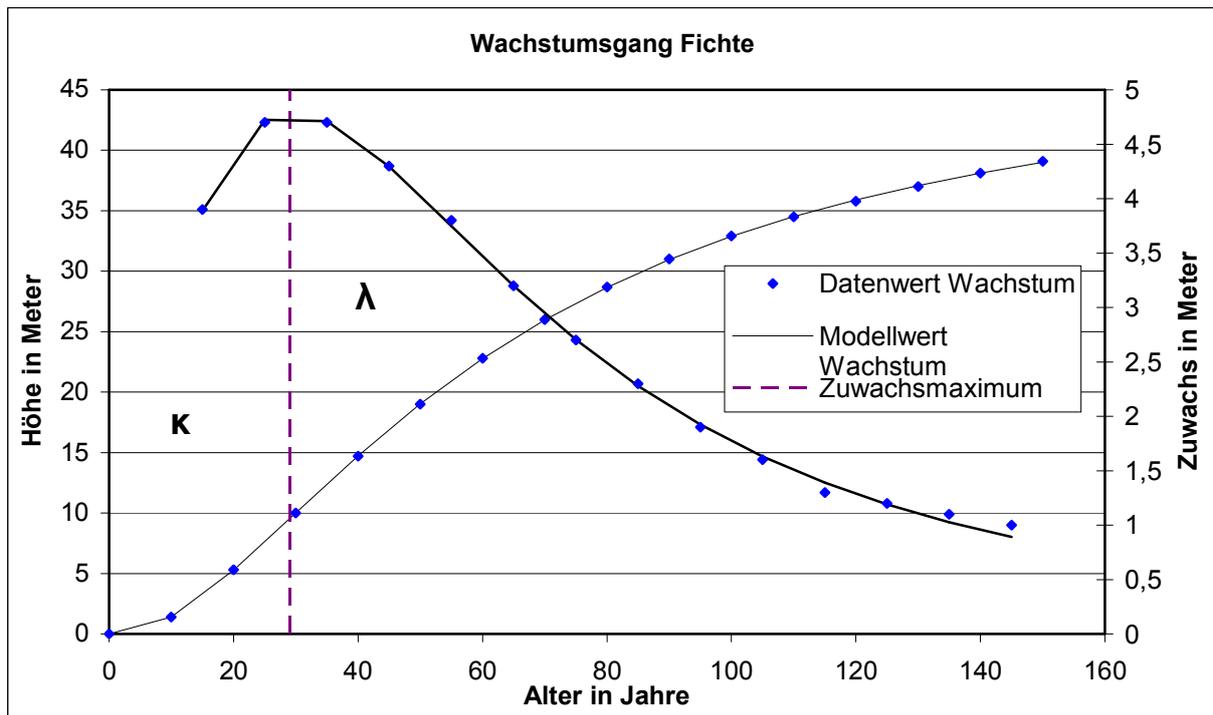


Abb. 36: Das Evolonmodell (nach MENDE) anhand des Wachstums der Baumart Fichte für die Standortsklasse 1 nach der Ertragstafel von v. GUTTENBERG

4.2.2 Wachstumsanalysen mit Hilfe des Evolonmodells

Seit 1972 wurde das Evolonmodell MENDE und anderen auf verschiedene Wachstumsprozesse angewendet. Dabei wurde die Klassifikationsregel und die Beziehung $\lambda > \kappa$ an Beispielen belegt.

Parabolisches Wachstum konnte mit Hilfe des Evolonmodells z.B. für die Entwicklung des Gewichtes von Hühnerembryonen oder dem Elektroenergieverbrauch (ALBRECHT und MENDE, 1989) der BRD, DDR und der UdSSR für die Wiederaufbauperiode (1945-1955) nach dem Zweiten Weltkrieg nachgewiesen werden. Dabei handelt es sich um zielgerichtete Wachstumsprozesse, was sich in Parameterwerten $\kappa < 1$ widerspiegelt.

Hyperbolisches Wachstum wurde anhand der Entwicklung der mathematischen Veröffentlichungen, der Genauigkeit der Zeitmessung, der Einwohnerzahl deutscher Großstädte, des Wachstums des globalen Energieverbrauchs und der Zunahme der Weltbevölkerung bestimmt. Hyperbolisches Wachstum findet man in dynamischen Systemen, die sich einmalig evolutionär entwickeln und deren Ziel nicht festgelegt ist. In diesem Fall ergeben sich Parameterwerte von $\kappa > 1$ bzw. $\lambda > 1$.

Exponentielles Wachstum ist hingegen ein seltener Fall. Es konnte unter anderem für die Entwicklung der Bevölkerungszahl der USA (1790-1930) nachgewiesen werden. Dabei treten

gegensätzliche Merkmale auf, die einerseits zu parabolischem und andererseits zu hyperbolischem Wachstum führen sollten, wodurch sich insgesamt exponentielles Wachstum ergibt. Bei den Untersuchungen mit dem Evolonmodell zeigte sich, dass die Wachstumsprozesse zunächst parabolisch oder hyperbolisch verlaufen. Für kurze Zeitabschnitte lassen sich Wachstumsprozesse auch näherungsweise mit exponentiellem Wachstum beschreiben.

Die Regel der erhöhten Kooperation während der Bremsphase ($\lambda > \kappa$ - Regel) wurde bei allen dafür infrage kommenden untersuchten Wachstumsprozessen bestätigt, beispielsweise anhand von Untersuchungen des Wachstums für der Weltbevölkerung (SCHLENZKA, 2000) und für mikrobielle Abbauprozesse mit Hilfe des Evolonmodells (FEDERBUSCH, 2000). Viele Wachstumsprozesse erlauben jedoch noch keine λ -Bestimmung, da bei ihnen der Wachstumsprozess nicht weit genug in die Bremsphase vorgedrungen ist.

Bei der Beschreibung und Interpretation des Wachstums der mittleren Bestandeshöhen von Fichten zeigte sich parabolisches Wachstum ($\kappa < 1$) für die Anfangsphase des Wachstums und hyperbolisches Wachstum ($\lambda > 1$) für die Bremsphase des Wachstumsprozesses. Unter Verwendung der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) wurden die Modellparameter an unterschiedliche Wachstumsverläufe angepasst (MENDE und ALBRECHT, 2001). Dabei wurden die in der Ertragstafel angegebenen mittleren Bestandeshöhen für fünf Standortklassen verwendet und mit dem Evolonmodell beschrieben. Zur Interpretation der Evolonmodellparameter κ und λ schreiben MENDE und ALBRECHT: *„Zu Anfang ist der Wachstumsprozeß hauptsächlich von innen heraus entsprechend der artspezifischen Erbinformation programmiert. Dieser Teil des Wachstumsprozesses wird durch den Parameter κ beschrieben. In der späteren Sättigungsphase werden ökologische Grenzen wirksam. In dieser Phase vollzieht der Baum einen individuellen Anpassungsprozeß an seine den speziellen Standortbedingungen entsprechenden Wachstumsbedingungen. Dieser Sättigungsprozess wird durch den Parameter λ beschrieben.“* (MENDE und ALBRECHT, 2001). Außerdem zeigte sich, dass der Standorteinfluss sich nur auf zwei ($B, X(t_0)$) der fünf Parameter auswirkt und die anderen drei (c, κ, λ) Parameter relativ unabhängig von der Standortklasse sind.

In weiteren Untersuchungen im Rahmen von Diplomarbeiten wurden diese Ergebnisse bekräftigt. BRAUN (1999) zeigte mit seinen Untersuchungen, dass auch bei anderen Standorten für das Wachstum von Fichtenhöhen ähnliche Werte für die Parameter κ und λ erhalten werden.

In der Diplomarbeit von HARTMANN (2004) wurden alle bisherigen Erkenntnisse bestätigt und zusätzlich eine vereinfachte Prognosemethode mit Hilfe des Evolonmodells entwickelt, mit der die Vorhersage des gesamten Wachstumsgangs $X(t)$ der Bestandesmittelhöhen von Fichten allein auf der Basis der Kenntnis einer Bestandeshöhe $X(t_0)$ zu einem bekannten Baumalter (t_0) berechnet werden kann.

Mit Hilfe des Evolonmodells wurden realitätsnahe Prognosen für Wachstumsprozesse in völlig unterschiedlichen Systemen aufgestellt (z.B. Stromverbrauchsprognose für die UdSSR (ALBRECHT und MENDE, 1993). Auch für das Wachstum der mittleren Bestandeshöhen von Fichten wurden Prognosen mit Hilfe des Evolonmodells durchgeführt. Die Beschreibung des Höhenwachstums mit Hilfe des Evolonmodells ist gegenüber anderen in der Forstwirtschaft häufig verwendeten Modellen (z.B. Richardsmodell) sogar deutlich besser (MENDE und ALBRECHT, 2001).

Tab. 33: Klassifikation von Wachstums- und Sättigungsprozessen mittels der Parameter κ und λ des Evolonmodells (MENDE, 1976)

parabolisch ($\kappa, \lambda < 1$)	exponentiell ($\kappa, \lambda = 1$)	hyperbolisch ($\kappa, \lambda > 1$)
Charakteristische Prozesseigenschaften:		
ausgerichtet auf ein Ziel, Wachstumsziel vorgegeben	nicht zielgerichtet, Endzustand unbekannt	
Kombination existierender Mechanismen und Strukturen	Erzeugung neuer Mechanismen und Strukturen	
routinemäßige Entwicklung	einzigartige, neuartige Evolution	
Konstruktion mittels bekannter Prinzipien	Entdeckung neuer Prinzipien	
Dekodierung und Anwendung vorhandener Information	Akkumulation und Nutzung neuer Information	
geplant, instruiert, kontrolliert, programmiert, algorithmisiert	ungeplant, selbstorganisierend, Versuch und Fehler, offene Suche	
gezielte Suche	unvorhersagbares einzigartiges Auftreten	
wiederholt auftretend		
Rekonstruktion und Reparatur, Substitution	Pionierprozess, Innovationen	
kooperativ hemmende Kopplung	kooperativ stimulierende Kopplung	
Beispiele:		
Ontogenese	Phylogenese	
ökologische Sukzession	Evolution von Arten	
Konstruktion von Generatoren mit wachsender Leistung	Einführung des dynamoelektrischen Prinzips	
kodierte Wiedersuche	assoziative Suche	

In Tab. 33 werden charakteristische Eigenschaften und Beispiele des parabolischen und hyperbolischen Wachstums entsprechend der Parameter für κ und λ des Evolonmodells zugrunde gelegt. Für die Regel $\kappa < \lambda$ gilt, dass die Kooperativität während der Sättigungsphase größer ist, da in dieser Phase zusätzliche Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umwelt auftreten, die eine zusätzliche Kooperativität der Teilsysteme zur Anpassung an die wachstumsbegrenzenden Faktoren erzwingen. Das bei $\lambda > 1$ die Kooperation der Teile des wachsenden Systems während der Sättigungsphase größer ist, wird durch die begrenzte Umwelt eines Systems erzwungen.

4.2.3 Ermittlung der Transformationsparameter mit Modellnutzung

In der Geschichte der Forstwissenschaften gab es viele Versuche, das Höhenwachstum von Bäumen und Beständen zu beschreiben und daraus allgemeine Trends abzuleiten sowie das weitere Wachstum vorherzusagen. Dazu dienten z.B. die v. GUTTENBERG (1915) durch Messung und Mittelung erstellten Daten für das normale Wachstum von Fichten für unterschiedliche Standortsklassen. Neben anderen Wachstumsindikatoren wurde dort insbesondere auch das Wachstum von Bestandeshöhen analysiert. Ähnliche Zielstellungen wurden auch durch die Aufstellung weiterer Ertragstafeln anderer Autoren verfolgt. Zur Anpassung an Wachstumsdaten wurde eine größere Zahl von Modellen mit unterschiedlichem Erfolg entwickelt und benutzt (siehe z.B. RÖMISCH, 1982; ZEIDE, 1993). Wie bereits erwähnt bietet auch das Evolonmodell die Möglichkeit, Wachstumsgänge der Baumart Fichte zu beschreiben. Aus den durch Optimierung erhaltenen Werten der Evolonmodellparameter und der Klassifikationsregel ergibt sich, dass die Anfangsphase oder Beschleunigungsphase des Baumwachstums programmiert (bzw. zielgerichtet) abläuft. Bei der Bremsphase handelt es sich hingegen um einen nicht programmierten (bzw. nicht zielgerichteten) Anpassungsprozess an die Standortbedingungen. Die Frage nach dem Ziel der Beschleunigungsphase führte zu der Erkenntnis, dass kein standortunabhängiges Ziel angestrebt wird, sondern dass beim Zuwachsmaximum ein bestimmter Anteil der theoretischen Endhöhe erreicht wird. Aus dem Evolonmodell folgt:

$$X_m = \frac{\kappa}{\kappa + \lambda} B \quad (4.13)$$

Dieser Zusammenhang ergibt sich aus dem gesuchten Wert $X = X_m$, für den der Zuwachs dX/dt nach dem Evolonmodell maximal wird. Dafür gilt:

$$dX/dt = d(cX^{\kappa}(B-X)^{\lambda})/dt = 0 \quad (4.14)$$

u v

Es muss also das Evolonmodell $dX/dt = cX^{\kappa}(B-X)^{\lambda}$ nach dem Wachstumsalter t abgeleitet

u v

und diese Ableitung später gleich 0 gesetzt werden.

Aus der Summen-, Produkt- und Potenzregel (farbliche Markierungen) der Differentiation sowie der inneren Differentiation folgt:

$$dX/dt = d(cX^{\kappa}(B-X)^{\lambda})/dt = u'v - uv' = \quad (4.15)$$

u v

$$dX/dt = \kappa cX^{\kappa-1}(B-X)^{\lambda} + cX^{\kappa} \lambda (B-X)^{\lambda-1} (-1) =$$

u' v u v'

$$dX/dt = \kappa cX^{\kappa-1}(B-X)^{\lambda} - cX^{\kappa} \lambda (B-X)^{\lambda-1}$$

Die Forderung, dass der Zuwachs (dX/dt) (bei X_m) maximal wird, bedeutet:

$$\begin{aligned} dX/dt &= ckX_m^{k-1} (B-X_m)^l - cX_m^k l(B-X_m)^{l-1} = 0 && \text{(geteilt:)} \quad /c \rightarrow \\ dX/dt &= kX_m^{k-1} (B-X_m)^l - X_m^k l(B-X_m)^{l-1} = 0 && / (B-X_m)^{l-1} \\ dX/dt &= k X_m^{k-1} (B-X_m) - X_m^k l = 0 \quad \rightarrow && / X_m^{k-1} \\ dX/dt &= k(B-X_m) - X_m l = 0 \quad \rightarrow \\ dX/dt &= kB - kX_m - X_m l = 0 \quad \rightarrow \\ kB &= (k + l)X_m \quad \rightarrow \\ \mathbf{B} &= \mathbf{(k+l)/k X_m} \end{aligned}$$

Da sich κ und λ in den Untersuchungen von MENDE und ALBRECHT (2001) sowie MIBBACH (2008) als standortunabhängig erwiesen haben, ist wegen (4.13) das Verhältnis des theoretischen Höchstwertes B zur Höhe beim Erreichen des Zuwachsmaximums X_m (also B/X_m) unabhängig vom Standort. In den Koordinaten $X' = X/X_m$ und $t' = t/t_m$ ist damit auch der Höchstwert $X'_{\max} = B/X_m$ für alle Standortsklassen gleich groß. Schließlich wurde festgestellt, dass auch alle anderen Punkte der Wachstumskurven von verschiedenen Standorten nach einer Transformation in die Koordinaten t' und X' zusammenfallen. Zur Durchführung dieser Transformation wird t_m und X_m benötigt. Zunächst wurde das Evolonmodell zur Bestimmung von t_m und X_m benutzt. Dabei wurde X_m aus der Formel (4.13) bestimmt. Zur Bestimmung von t_m wurde der Wert X_m auf der Evolonmodellkurve aufgesucht. Der zugehörige Wert auf der t -Achse (Zeit-Achse) ergab dann den Wert für t_m , welcher mit Hilfe einer linearen Interpolation

$$t_m = \frac{(X_m - X_0)(t_1 - t_0)}{(X_1 - X_0)} + t_0 \quad (4.16)$$

berechnet wurde. Die Transformation von $t, X \rightarrow t', X'$ nach Formel (4.1) ermöglicht es, Wachstumsgänge für Fichtenhöhen von unterschiedlichen Standorten mittels einfacher linearer Achsentransformation auf eine universelle einheitliche Form zu überführen.

Die Berechnungen der Wachstumskurven und die Anpassung des Evolonmodells an vorgegebene Datensätze wurden, wie bereits im Kapitel 3.5 beschrieben, mit dem Optimierungsprogramm von RÖMISCH (2009) durchgeführt.

Als Abstandsfunktion wurde die Summe der Quadrate der relativen Differenzen zwischen Datenwerten $X^d(t_i) = X_i^d$ und den entsprechenden Modellwerten $X(t_i) = X_i$ zu den Zeitpunkten t_i (t_i = Baumalter in Jahren) gewählt:

$$F(X_1^d, \dots, X_n^d; X_i(p_1, \dots, p_m)) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i^d - X_i}{X_i} \right)^2 \quad (4.17)$$

n = Anzahl der Datenwerte

m = Anzahl der Parameter

Da die Transformation für die Ausgangshypothese des Wachstums gilt, lässt sich ihre Wirkung am besten am Wachstum von Mittelwerten mehrerer Einzelbäume oder von Bestandeshöhen, wie sie in Ertragstafeln aufgeführt sind, demonstrieren. Aus diesem Grund wurden wie bei der modellunabhängigen Methode zunächst Ertragstafelwerte für Mittelhöhen der Baumart Fichte von ASSMANN/FRANZ und von v. GUTTENBERG als Datengrundlage verwendet.

4.2.4 Ertragstafelwerte Fichte

Ein wesentliches Anliegen der Untersuchungen ist es, zu zeigen, dass die Transformierbarkeit auf einen einheitlichen Verlauf des Wachstums nicht notwendigerweise auf der Nutzung eines Modells beruht, sondern dass es sich dabei um eine wesentliche Eigenschaft des realen Wachstumsverlaufs selbst handelt. Aus diesem Grund wurde im ersten Schritt ein Verfahren zur Bestimmung der Transformationsparameter angewendet, das die Transformationsparameterbestimmung unabhängig von der Verwendung von Modellen gestattet. Um die Ergebnisse zu prüfen bzw. besser zu interpretieren, wurde in einem zweiten Schritt das Evolonmodell genutzt und die bereits verwendeten Ertragstafelwerte mittels des Evolonmodells analysiert. Für die Untersuchung der Baumart Fichte mit Hilfe des Evolonmodells dienten wie im Punkt 4.1.2 als Datengrundlage die Ertragstafeln von v. GUTTENBERG, ASSMANN/FRANZ und die DDR-Fichtenertragstafel. Die Ertragstafelwerte von v. GUTTENBERG sind in Tab. 94 des Anhangs angegeben.

Bei der bereits geschilderten Vorgehensweise wurde das Evolonmodell zur Bestimmung der Transformationsparameter t_m und X_m benutzt. Bereits ALBRECHT (2006) hat mit den Ertragstafelwerten von v. GUTTENBERG erste vorläufige Ergebnisse zur Transformierbarkeit auf einen standortunabhängigen Wachstumsverlauf für Bestandeshöhen erzielt. Dabei wurde anstelle von X_m der Sättigungswert B verwendet.

In Tab. 34 sind die Parameterwerte unter Verwendung des Programmsystems MINUIT in der verbesserten Version von RÖMISCH (2009) mittels nichtlinearer Parameteroptimierung angegeben. Der Tabelle können die Werte für die Parameter des Evolonmodells (c , κ , B , λ und $X_s=X_0$) entnommen werden. Außerdem sind der Anpassungsbereich, die Abstandsfunktion und der Wert für $T_s=t_0$ (Zeitpunkt zum Startwert für die Integration) angeführt.

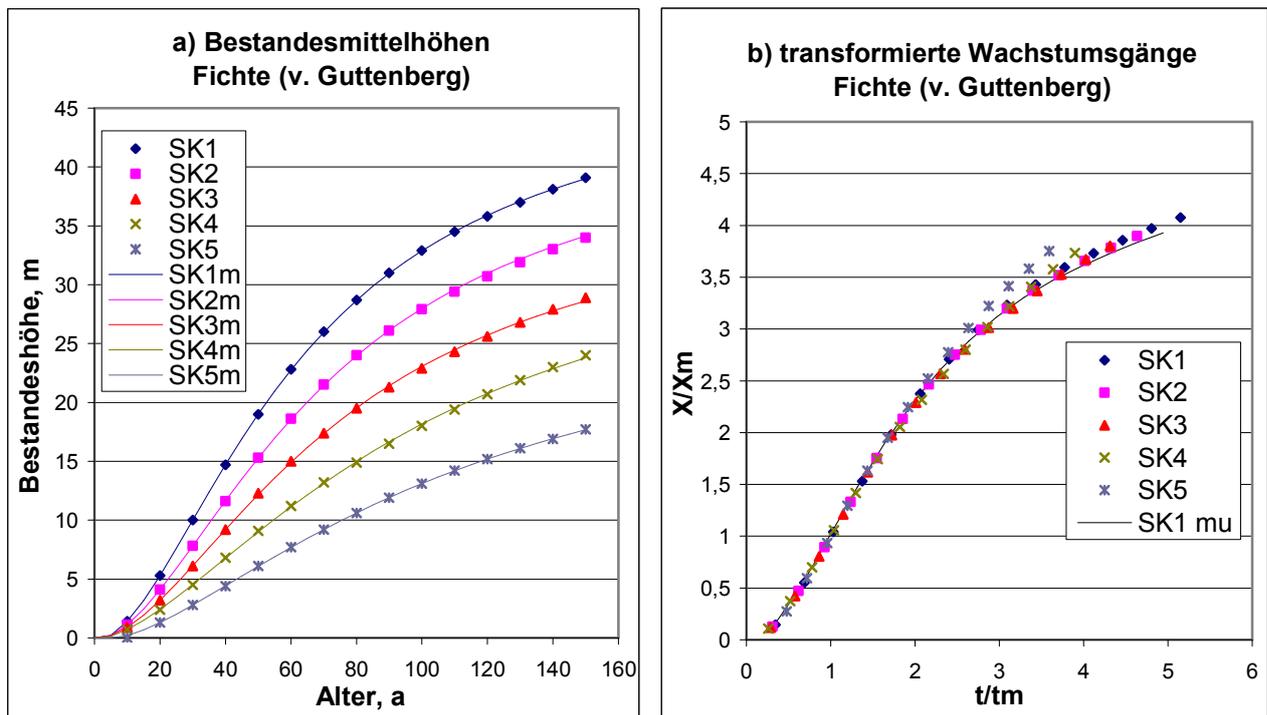
Tab. 34: Parameter des Evolonmodells der Standortsklasse 1-5 von v. GUTTENBERG (1915)

Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
SK1	10-150 (10)	3,551929E-05	5,23071E-04	0,402635	48,1839	1,61909	25,9609	70
SK2	10-150 (10)	4,927638E-05	4,96191E-04	0,399498	44,1772	1,62346	21,4498	70
SK3	10-150 (10)	4,059796E-04	4,13632E-04	0,413109	38,5706	1,68352	17,3711	70
SK4	10-150 (10)	5,668957E-04	4,18232E-04	0,354964	36,4229	1,6563	13,1419	70
SK5	10-150 (10)	6,652329E-05	4,45276E-04	0,32437	29,3187	1,6914	9,19842	70

Tab. 35: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Standortsklasse 1-5 von v. GUTTENBERG (1915) mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
SK1	29,1286	9,596	5,0212	4,0212	30,35	9,951
SK2	32,3645	8,7242	5,0637	4,0637	33,23	8,924
SK3	34,7819	7,5998	5,0752	4,0752	35,72	7,780
SK4	38,4878	6,4282	5,6661	4,6661	37,94	6,222
SK5	41,7768	4,7179	6,2144	5,2144	44,24	5,065

In Tab. 35 sind die Transformationsparameter für t_m und X_m aus der Berechnung mit Hilfe des Evolonmodells angegeben sowie als Vergleich die Werte mit Hilfe Polynommethode. Die angeführten Werte mit Hilfe des Evolonmodells für t_m weichen etwas von den t_m -Werten mittels der Polynommethode ab (bei SK1 ca. 1 Jahr, bei SK5 ca. drei Jahre). Diese Abweichungen haben aber keinen größeren Einfluss auf die Transformation der Wachstumsgänge. Die Abweichungen von t_m sind auf die Änderung von X_m zurückzuführen, da X_m für die Berechnung von t_m verwendet wird. Insgesamt ergibt sich jedoch nur eine geringe Abweichung des transformierten Wachstumsverlaufes.



**Abb. 37: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells**

Abb. 37b zeigt den transformierten Wachstumsverlauf für die Ertragstafelwerte von v. GUTTENBERG der Standortsklassen 1-5. Die Werte für die Standortsklassen 4 und 5 weichen etwas vom Trend der ersten drei Standortsklassen ab. Diese Abweichung wurde bereits bei der Polynommethode (Abb. 11) festgestellt und könnte auf Störungen des Wachstums in der Jugendphase durch Schneereignisse zurückzuführen sein. Dennoch weichen die transformierten Koordinaten für die Standortsklassen 4 und 5 in den transformierten Koordinaten des späteren Alters nicht wesentlich vom einheitlichen transformierten Wachstumsverlauf der anderen Standortsklassen ab. Zum Vergleich ist der transformierte Wachstumsverlauf der Standortsklasse 1, welcher mit Hilfe der Transformationsparameter aus der Polynommethode (gekennzeichnet mit μ) erhalten wurde, abgebildet.

In der Abb. 37a sind die Bestandesmittelhöhen (als Punkte) im Vergleich zum angepassten Wachstumsverlauf mit Hilfe des Evolonmodells (als Linien) für die Standortsklassen 1 bis 5 dargestellt. Es zeigt sich, dass die angepassten Wachstumsverläufe nicht wesentlich von den Ausgangsdaten abweichen. Durch die Anpassung mittels des Evolonmodells ist es möglich, auch Wachstumsdaten fehlender Jahre zu berechnen. Dabei wurde geprüft, ob der Wachstumsverlauf im Ursprung Null beginnt. Bei der Ertragstafel von v. GUTTENBERG ist im Wesentlichen ein guter Verlauf bis in den Ursprung Null festzustellen. Die berechneten Höhenwerte liegen jeweils im Alter von fünf Jahre bei SK1 0,229 m, bei SK2 0,196 m, bei SK3 0,196 m, bei SK4 0,141 m und bei SK5 0,000 m. Demnach weist die Standortsklasse 4 einen relativ geringen Wert und die Standortsklasse 5 einen Wert mit Null (der nicht stimmen kann) auf. Dies ist auch in den Parameterwerten für k (Tab. 34) ersichtlich, welche vom allgemeinen Trend der anderen drei Standortsklassen abweichen. Bei Standortsklasse 5 ist die Abweichung womöglich auf den späten Beginn der Alters- und Höhenangabe in der Ertragstafel zurückzuführen. Die berechneten Modellwerte für die Bestandeshöhen und den Bestandeshöhenzuwachs sind im Anhang beigefügt.

In Tab. 35 sind zusätzlich die berechneten Werte für das Verhältnis $\frac{\kappa + \lambda}{\kappa} = \frac{B}{X_m}$, welches sich aus

Formel (4.13) ergibt, angegeben. Dabei soll anhand der Ausgangshypothese die theoretische Endhöhe B etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums sein. In Tab. 35 trifft dies für die Standortsklasse 1-3 zu, jedoch nicht für die Standortsklasse 4 und 5. Aus

dem genannten Verhältnis der Formel (4.13) folgt gleichzeitig $\frac{\lambda}{\kappa} = 4$, wenn man das Verhältnis

$\frac{B}{X_m} = 5$ annimmt. Der Wert für $\frac{\lambda}{\kappa}$ wurde in Tab. 35 angeführt und zeigt eine Übereinstimmung

nach der Hypothese für die Standortsklassen 1-3, aber nicht für die Standortsklassen 4 und 5. Die Berechnungen für $(k+1)/k$ und $1/k$ sind bei den folgenden untersuchten Baumarten bzw.

Ertragstafelwerten stets angegeben. Die Werte werden später in der Diskussion eingehender betrachtet.

MENDE und ALBRECHT (2001) nutzten, wie bereits erwähnt, ebenfalls die Standortsklassen 1-5, um mit Hilfe des Evolonmodells Untersuchungen durchzuführen. Die Ergebnisse dazu sind in Tab. 36 angegeben. Es besteht jedoch nur ein geringer Unterschied zu den neu ermittelten Wachstumsparametern. Entscheidend ist der kleinste Wert für die Abstandsfunktion, der dann als bestes Ergebnis gilt.

Tab. 36: Parameter des Evolonmodells der Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG berechnet nach MENDE und ALBRECHT (2001)

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
SK1	10-150 (10)	5,6E-05	4,33E-04	0,40	48,96	1,66	25,94	70
SK2	10-150 (10)	1,2E-04	4,28E-04	0,41	43,82	1,66	21,45	70
SK3	10-150 (10)	4,17E-04	4,09E-04	0,42	38,36	1,69	17,39	70
SK4	10-150 (10)	5,75E-04	4,35E-04	0,36	36,18	1,65	13,15	70
SK5	10-150 (10)	6,7E-05	4,40E-04	0,33	29,32	1,69	9,20	70

Tab. 37: Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
M40	20-120 (5)	5,674857E-05	2,25343E-03	0,299176	48,3644	1,33808	30,6433	70
M38	20-120 (5)	7,389967E-05	7,93171E-04	0,36457	47,9294	1,57381	28,9265	70
M36	20-120 (5)	9,975825E-05	1,61484E-03	0,328545	44,0617	1,42456	27,1325	70
M34	20-120 (5)	7,363769E-05	7,18465E-05	0,385283	44,1453	1,65857	25,3035	70
M32	20-120 (5)	8,431305E-05	8,31706E-05	0,397404	42,6317	1,72449	23,4637	70
M30	20-120 (5)	1,035573E-04	1,03530E-04	0,394201	41,0668	1,75592	21,6332	70
M28	20-120 (5)	4,179531E-05	4,17941E-05	0,388456	38,6816	1,72239	19,8126	70
M26	20-120 (5)	1,485505E-04	1,46300E-04	0,333744	38,2451	1,7508	17,9816	70
M24	20-120 (5)	2,233466E-04	2,23346E-04	0,37039	35,1882	1,7488	16,2499	70
M22	20-120 (5)	2,006548E-04	2,00655E-04	0,33824	31,5868	1,5632	14,521	70
M20	20-120 (5)	1,830330E-04	4,78687E-03	0,288175	25,7934	1,14511	13,738	70

Tab. 38: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
M40	22,0712	8,8376	5,4726	4,4726	25,45262533	10,77635139
M38	23,7689	9,0145	5,3169	4,3169	26,69714312	10,57257262
M36	23,9120	8,2575	5,3360	4,3360	27,38531929	10,00791526
M34	25,8307	8,3218	5,3048	4,3048	28,98786076	9,78485788
M32	27,1534	7,9844	5,3394	4,3394	30,09611956	9,21551479
M30	28,4102	7,5292	5,4544	4,4544	31,62953515	8,77239444
M28	29,7964	7,1185	5,4339	4,4339	33,54356051	8,42817622
M26	29,4914	6,1232	6,2459	5,2459	34,21441704	7,63434771
M24	32,5344	6,1502	5,7215	4,7215	36,87106841	7,39822767
M22	33,9022	5,6189	5,6216	4,6216	38,61187956	6,84331895
M20	35,7138	5,186	4,9737	3,9737	40,43753170	6,28601641

Um dieses Ergebnis an weiteren Ertragstafelwerten für Fichten zu untersuchen, wurden zunächst die Ertragstafelwerte der „Vorläufigen Fichten-Ertragstafel für Bayern“ von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) verwendet. Die Bestandeshöhen der einzelnen Bonitäten des mittleren Ertragsniveaus sind in Tab. 95 des Anhangs aufgeführt. In der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ werden Oberhöhenbonitäten als Standortklassen angegeben, jedoch wird für die Vergleichbarkeit mit anderen Ertragstafeln vorerst die Mittelhöhe genutzt. Die Bonität M40 stellt die höchste bzw. beste Bonität dar, die Bonität M20 dagegen die letzte bzw. schlechteste Bonität. Die Evolonparameterwerte in Tab. 37 wurden wie in Tab. 34 mit Hilfe des Evolonmodells bestimmt.

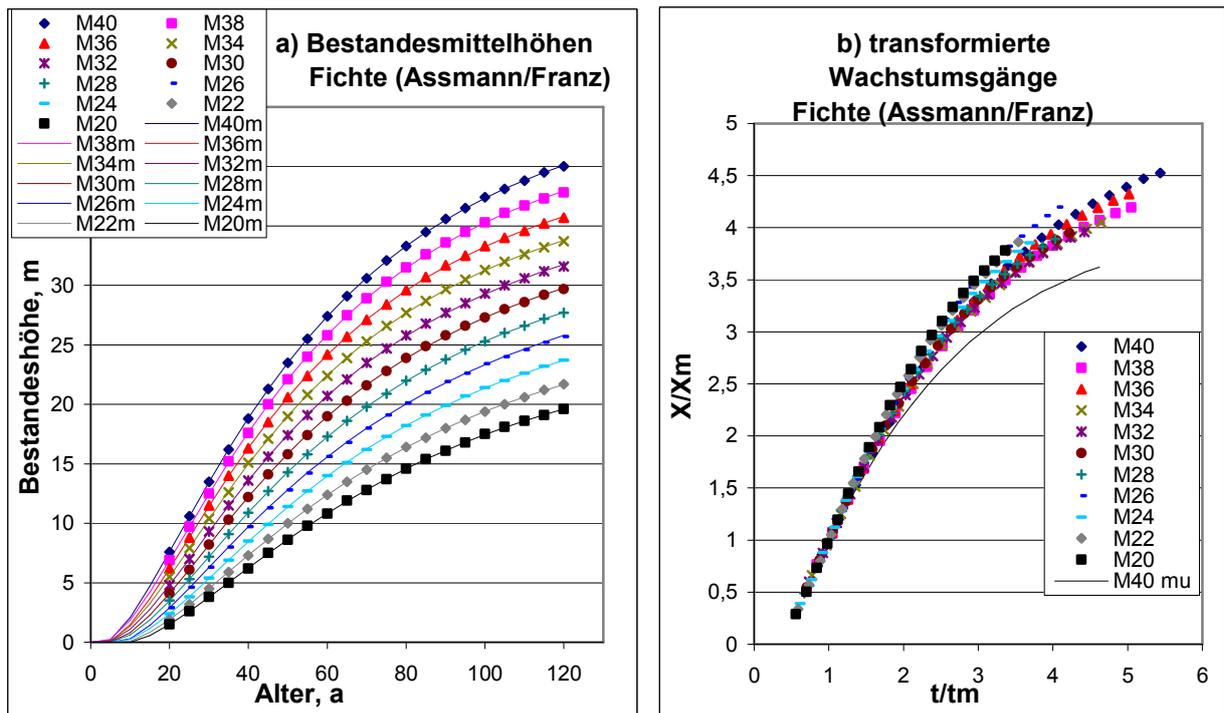


Abb. 38: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Um die Bestandeshöhen graphisch darzustellen, wurden ebenfalls Höhenwachstumskurven für die Ertragstafelwerte der Bonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ angefertigt. Diese sind bereits in Abb. 12 angeführt. Sie zeigen deutlich den unterschiedlichen Wachstumsverlauf der jeweiligen Bonitäten im Zusammenhang mit guten bzw. schlechten Standorten. In Abb. 38 wird der transformierte Wachstumsverlauf der Transformationsparameter mittels Evolonmodell für die Ertragstafelwerte von ASSMANN/FRANZ der Bonitäten M40-M20 dargestellt. Dabei ist nach der Transformation der Mittelhöhen ein im Wesentlichen einheitlicher, standortunabhängiger Wachstumsverlauf für die Bonitäten M40-M28 festzustellen. Die Bonitäten M26-M20 weichen jedoch vom transformierten Wachstumsverlauf der Bonitäten M40-M28 ab. Auch der

transformierte Wachstumsverlauf mit Hilfe der modellunabhängigen Methode unterscheidet sich deutlich zum transformierten Wachstumsverlauf unter Verwendung des Evolonmodells. Prinzipiell ist ersichtlich, dass die in Tab. 38 angegebenen Transformationsparameter t_m und X_m mit und ohne Modell voneinander abweichen. Für die Werte von k und l in Tab. 37 ist eine größere Schwankung zu verzeichnen, das trifft auch auf die Werte für $(k+l)/k$ und l/k der Bonität M40 bis M20 zu. Nur die Werte für die Bonitäten M40-M28 und die Bonität M20 liegen in Näherung zueinander.

Tab. 39: Parameter des Evolonmodells der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ

Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
M40	20-120 (5)	1,165838E-04	7,60676E-04	0,371058	52,5902	1,57029	33,4841	70
M38	20-120 (5)	3,894989E-05	1,19468E-03	0,3603	48,8541	1,4799	31,7877	70
M36	20-120 (5)	9,645761E-05	2,33695E-03	0,295051	45,755	1,35471	29,9573	70
M34	20-120 (5)	3,582831E-05	2,19879E-03	0,342879	43,0905	1,34299	28,1194	70
M32	20-120 (5)	5,321542E-05	3,83836E-03	0,28998	40,3211	1,22791	26,2382	70
M30	20-120 (5)	4,771138E-05	3,87197E-03	0,285196	38,5055	1,22402	24,3512	70
M28	20-120 (5)	5,274253E-05	9,26545E-04	0,360271	39,7078	1,55274	22,4723	70
M26	20-120 (5)	1,377083E-04	6,32808E-04	0,378002	38,6875	1,63799	20,616	70
M24	20-120 (5)	8,357150E-05	7,50750E-04	0,373057	36,2077	1,60183	18,8454	70
M22	20-120 (5)	8,906418E-05	5,68555E-04	0,365952	35,3218	1,67012	17,036	70
M20	20-120 (5)	1,816767E-04	1,01764E-03	0,341319	31,8711	1,5351	15,2887	70

Tab. 40: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Oberhöhenbonitäten M40-M20 von ASSMANN/FRANZ mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		$(k+l)/k$	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
M40	20,6969	10,052	5,2319	4,2319	22,50003149	11,20504132
M38	21,2280	9,5653	5,1074	4,1074	23,19799452	10,76450138
M36	20,2846	8,183	5,5915	4,5915	23,66966341	10,15248527
M34	22,7278	8,7639	4,9168	3,9168	25,07653232	9,97383180
M32	22,3981	7,703	5,2345	4,2345	25,80992830	9,35282613
M30	23,2045	7,2764	5,2919	4,2919	26,58919712	8,77493606
M28	25,6940	7,478	5,3099	4,3099	27,93150334	8,34562760
M26	27,3233	7,254	5,3333	4,3333	29,29548280	11,20504132
M24	28,6455	6,8397	5,2938	4,2938	30,63861472	10,76450138
M22	29,7301	6,3486	5,5638	4,5638	31,86817730	10,15248527
M20	30,7315	5,7973	5,4975	4,4975	32,81402005	9,97383180

Aus der „Vorläufigen Fichten-Ertragstafel für Bayern“ von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) wurden für die Untersuchung mit dem Evolonmodell die Oberhöhen genutzt. Die Datengrundlage dafür bilden die Ertragstafelwerte der Oberhöhenbonitäten M40-M20 aus Tab. 96 des Anhangs. In Tab. 39 sind die Werte für die Parameter des Evolonmodells (c , κ , B , λ und $X_s = X_0$) sowie der Wert für $T_s = t_0$ (Zeitpunkt zum Startwert für die Integration) angegeben. In Tab. 40 sind die Transformationsparameter für t_m und X_m aus der Berechnung mit Hilfe des Evolonmodells angegeben und als Vergleich die Werte mit Hilfe der modellunabhängigen Methode.

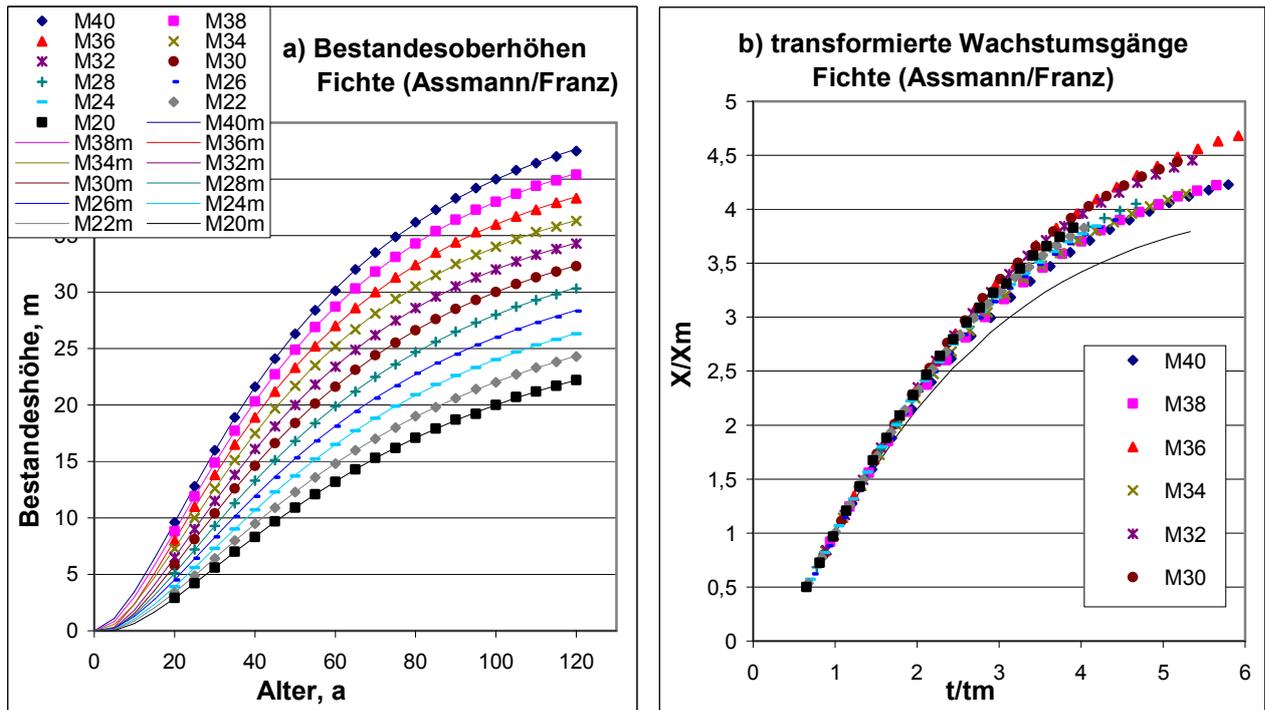


Abb. 39: a) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Ähnlich den Mittelhöhen weisen die transformierten Wachstumsgänge der Oberhöhen von ASSMANN/FRANZ in Abb. 39 Abweichungen zueinander auf. Hierbei fällt die Abweichung der Bonitäten untereinander jedoch stärker aus als im Vergleich zum transformierten Wachstumsgang der Mittelhöhen. Ein einheitlicher Wachstumsgang nach der Transformation ist nicht erkennbar.

Die DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) wurde analog zur modellunabhängigen Untersuchung (Polynom) verwendet. Die Parameterwerte des Evolonmodells sowie die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind für das schnelle System in Tab. 41 und Tab. 42, für das mittlere System in Tab. 43 und Tab. 44 und für das langsame System in Tab. 45 und Tab. 46 angegeben. Die Transformationsparameter t_m und X_m wurden nach Formel (4.16) und (4.13) berechnet. Die Abb. 40, Abb. 41 und Abb. 42 zeigen eine bemerkenswert gute Übereinstimmung der transformierten Wachstumsgänge für die einzelnen Systeme. Lediglich die beste Bonität S32 im schnellen System weicht deutlich vom transformierten Wachstumsverlauf ab.

Tab. 41: Parameter des Evolonmodells der Bonitäten S32-S16 schnelles System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
S32	10-120 (10)	3,839295E-04	7,22867E-04	0,482157	39,2931	1,6253	25,6279	60
S30	10-120 (10)	5,239219E-04	5,50600E-04	0,441069	40,2718	1,67073	22,5815	60
S28	10-130 (10)	5,354737E-03	1,21192E-04	0,532835	43,7054	1,94565	19,3607	60
S26	10-130 (10)	9,477328E-03	1,04505E-04	0,58559	40,6947	1,9847	17,688	60
S24	10-130 (10)	1,053209E-02	1,13803E-05	0,689078	41,5752	2,5209	16,1305	60
S22	10-130 (10)	6,895050E-03	1,01933E-05	0,67838	40,0554	2,5631	14,4487	60
S20	10-140 (10)	3,241126E-03	3,01609E-04	0,579297	32,5468	1,73972	14,9141	60
S18	10-140 (10)	3,245579E-03	5,13677E-04	0,429499	33,2139	1,59703	13,093	60
S16	10-140 (10)	5,854910E-03	7,74078E-04	0,59276	25,7157	1,51677	11,5641	60

Tab. 42: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten S32-S16 schnelles System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
S32	18,0991	8,9897	4,3709	3,3709	14,54985929	7,10236453
S30	22,0054	8,4111	4,7879	3,7879	19,84663385	7,39056642
S28	31,5692	9,396	4,6515	3,6515	27,45668150	7,94794536
S26	34,5496	9,2715	4,3892	3,3892	30,31476850	7,96000783
S24	36,8453	8,9249	4,6584	3,6584	32,52716889	7,66707790
S22	38,6630	8,3828	4,7783	3,7783	35,08219826	7,47468783
S20	42,2126	8,1303	4,0032	3,0032	39,00862471	7,40672342
S18	40,7070	7,0393	4,7184	3,7184	37,91927186	6,36182404
S16	48,2734	7,2259	3,5588	2,5588	46,52663521	6,96699181

Tab. 43: Parameter des Evolonmodells der Bonitäten M36-M20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
M36	10-120 (10)	1,479677E-04	4,99753E-04	0,366331	47,2285	1,73439	28,2685	60
M34	10-120 (10)	3,637660E-04	2,06268E-03	0,333903	43,0469	1,36221	25,6635	60
M32	10-120 (10)	6,480871E-04	5,10683E-04	0,391775	45,8046	1,65115	23,1774	60
M30	10-120 (10)	3,548475E-03	6,01559E-04	0,471445	42,4576	1,5669	20,8988	60
M28	10-120 (10)	9,452915E-03	1,36251E-05	0,600473	49,8202	2,40692	18,7597	60
M26	10-130 (10)	9,767907E-03	4,05962E-05	0,611624	45,623	2,14388	16,6024	60
M24	10-130 (10)	7,233713E-03	4,07663E-05	0,596235	45,8449	2,11993	14,4844	60
M22	10-140 (10)	5,503299E-03	5,19243E-04	0,493419	41,9655	1,48908	15,1592	60
M20	10-140 (10)	1,069219E-02	4,30281E-04	0,407952	48,2053	1,48921	13,1878	60

Im Vergleich zum dargestellten transformierten Wachstumsverlauf der modellunabhängigen Methode ist jedoch eine größere Abweichung beim schnellen und langsamen System bzw. der Wachstumstypen festzustellen. Diese Abweichungen erklären sich auch anhand der Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells. Bei Betrachtung der Werte ist ein großer Unterschied zwischen den

Transformationsparametern des schnellen und langsamen Systems festzustellen. Für das mittlere System fallen die Abweichungen der Transformationsparameter zwischen Evolonmodell und modellunabhängiger Methode geringer aus. Für die transformierten Wachstumsgänge mittels des Evolonmodells ist jedoch ersichtlich, dass entsprechend der Eingangshypothese die transformierten Wachstumsgänge für verschiedene Standorte von Fichten der verschiedenen Systeme im Wesentlichen zusammenfallen.

Tab. 44: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten M36-M20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
M36	16,1320	8,2359	5,7345	4,7345	15,52683939	7,76818225
M34	19,5851	8,4744	5,0797	4,0797	19,34160184	8,24587436
M32	23,6320	8,7840	5,2145	4,2145	21,90965360	7,92216055
M30	30,3693	9,8200	4,3236	3,3236	26,78251299	8,44469440
M28	35,2482	9,9474	5,0084	4,0084	31,13431354	8,52878403
M26	40,7559	10,1267	4,5052	3,5052	37,00074831	9,05019047
M24	45,7740	10,0636	4,5555	3,5555	42,31460618	9,13561269
M22	57,9210	10,4447	4,0179	3,0179	49,15402840	9,49235237
M20	58,6450	10,3657	4,6504	3,6504	55,37551425	9,61998914

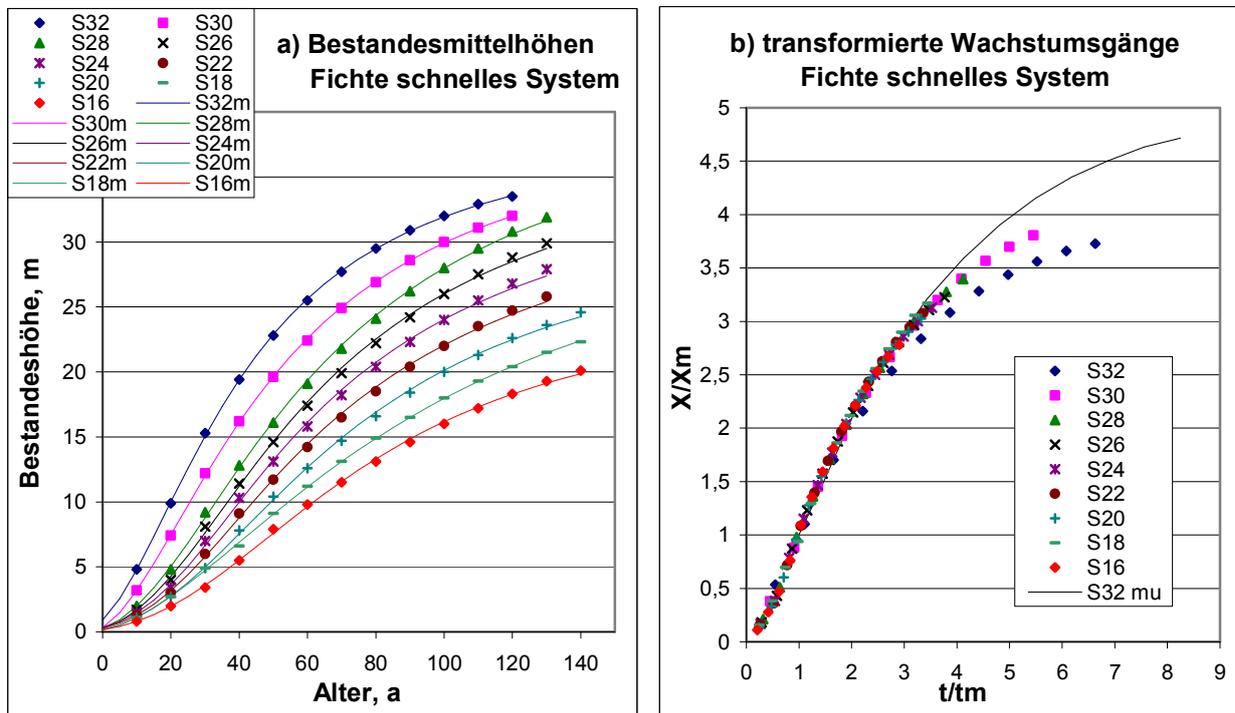


Abb. 40: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

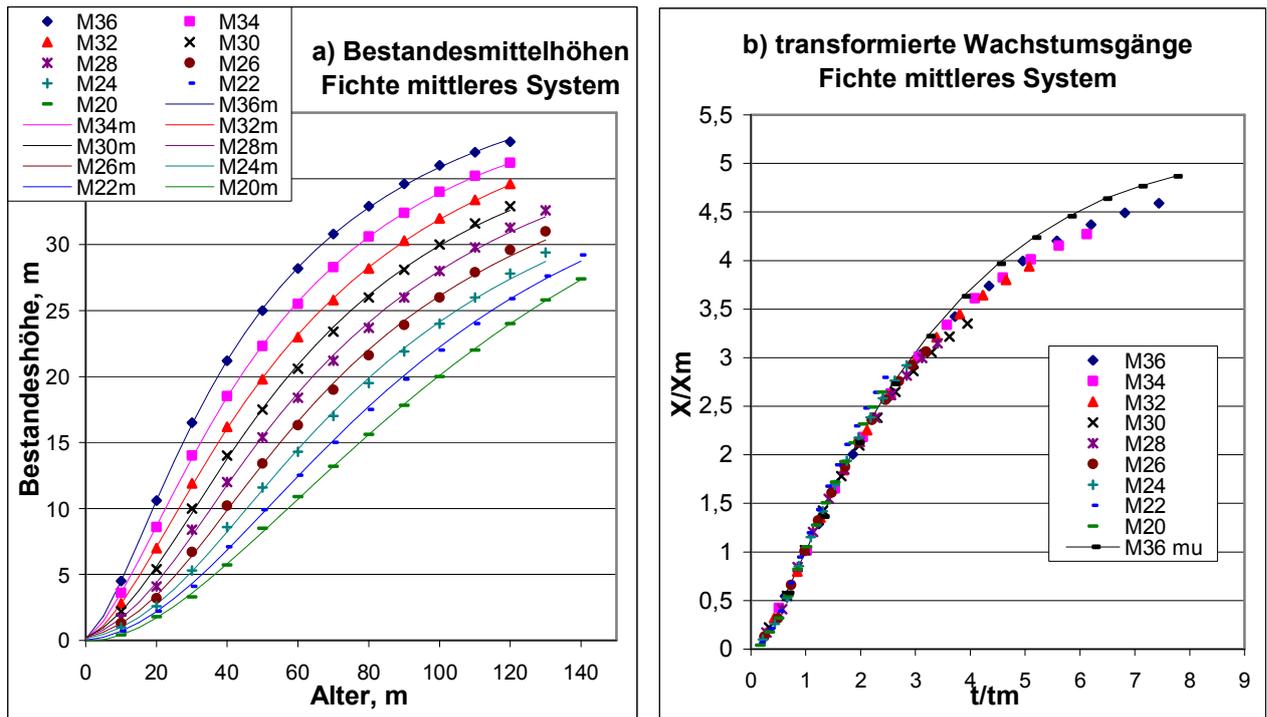


Abb. 41: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Tab. 45: Parameter des Evolonmodells der Bonitäten L38-L20 mittleres System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
L38	10-120 (10)	7,628527E-04	7,26209E-06	0,58414	61,9464	2,5029	27,9806	60
L36	10-120 (10)	9,725706E-04	4,72804E-07	0,65434	66,7419	3,0636	25,8002	60
L34	10-120 (10)	2,164906E-03	3,88509E-08	0,669567	71,9043	3,57864	23,6237	60
L32	10-120 (10)	3,897188E-03	1,22390E-07	0,622396	69,2463	3,3458	21,5606	60
L30	10-130 (10)	1,115383E-02	1,14501E-08	0,69988	72,0948	3,8206	19,4331	60
L28	10-130 (10)	1,260415E-02	9,97572E-09	0,724279	71,6577	3,82626	17,2203	60
L26	10-140 (10)	1,020730E-02	2,62331E-07	0,68977	67,0817	3,0842	18,1469	60
L24	10-140 (10)	1,175786E-02	4,01681E-07	0,754922	63,9845	2,96955	15,942	60
L22	10-140 (10)	7,845856E-03	9,91092E-07	0,704597	66,5352	2,72336	13,7172	60
L20	10-140 (10)	8,205698E-03	7,40430E-06	0,651542	69,61	2,2083	11,5316	60

Tab. 46: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Bonitäten L38-L20 langsames System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
L38	24,8921	11,7217	5,2848	4,2848	20,45096184	9,34646196
L36	28,0263	11,7463	5,6820	4,6820	22,73798491	9,18856548
L34	30,6245	11,3330	6,3447	5,3447	25,42295350	9,04446037
L32	33,2441	10,8610	6,3757	5,3757	29,48026581	9,32189928
L30	38,4747	11,1620	6,4589	5,4589	34,78300683	9,89912805
L28	44,0337	11,4053	6,2829	5,2829	41,54209331	10,62931427
L26	52,2540	12,2605	5,4713	4,4713	46,26506904	10,70245598
L24	60,8522	12,9692	4,9336	3,9336	62,19465940	13,29835067
L22	69,8660	13,6759	4,8651	3,8651	78,11351991	15,82680809
L20	84,7431	15,8589	4,3893	3,3893	99,96404976	20,06393975

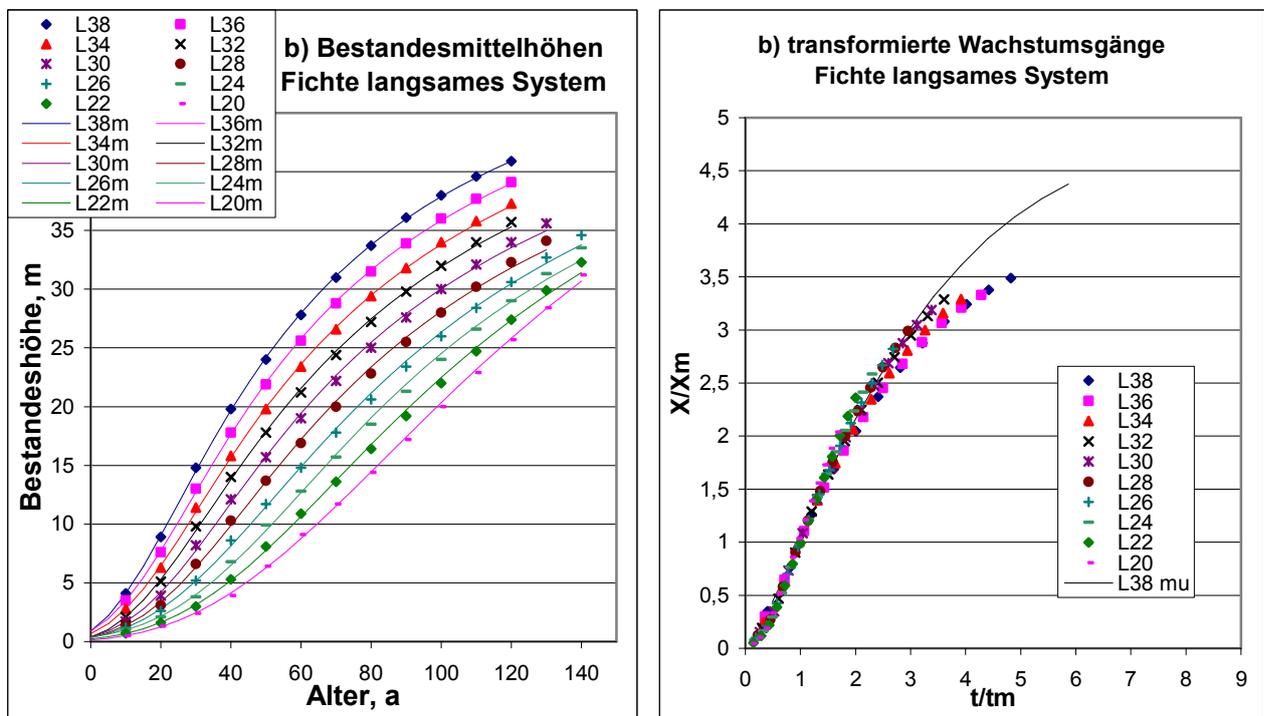


Abb. 42: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.5 Ertragstafelwerte Roteiche

Bei den Untersuchungen zur Roteiche wurde als Datengrundlage die Ertragstafel von BAUER (1953) zugrunde gelegt. Die Ertragstafelwerte sind in Tab. 97 des Anhangs angeführt. Wie bei der bereits vorgestellten Baumart Fichte sind die Parameterwerte des Evolonmodells (4.7) für die Baumart Roteiche unter Verwendung des vorgestellten Programms MINUIT berechnet bzw. die

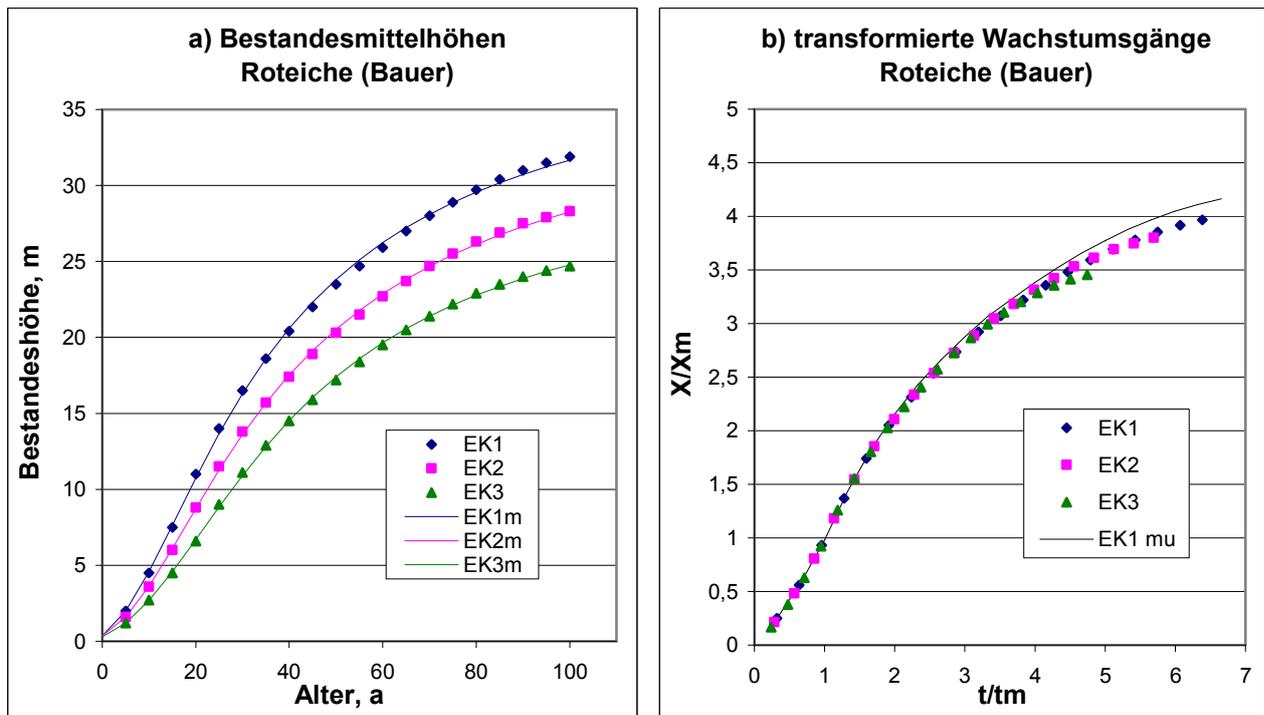
Ertragstafelwerte angepasst worden. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m konnten dann nach Formel (4.16) und (4.13) berechnet werden.

Tab. 47: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von BAUER

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	5-100 (5)	3,214737E-03	1,77160E-04	0,509165	40,3658	2,04623	23,8102	50
EK2	5-100 (5)	1,735863E-03	5,01093E-05	0,554021	39,1422	2,35777	20,5404	50
EK3	5-100 (5)	1,768553E-03	2,35623E-04	0,561164	32,4381	1,98444	17,4039	50

Tab. 48: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von BAUER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	15,6569	8,0429	5,0188	4,0188	15,20545997	7,75668257
EK2	17,5615	7,4475	5,2557	4,2557	16,97226989	7,15349565
EK3	21,0751	7,1508	4,5363	3,5363	20,47481791	6,91244863



**Abb. 43: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHOBBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHOBBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells**

Die Evolonmodellparameterwerte der Ertragsklasse EK1 bis EK3 und die Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen sind in Tab. 47 und Tab. 48 angegeben. In Abb. 43 ist der Wachstumsverlauf der drei Ertragsklassen nach der Transformation dargestellt. Es ist ein weitestgehend einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ersichtlic

weicht in den transformierten Koordinaten in späterem Alter (ab dem Bestandesalter von ca. 80 Jahren) etwas von den beiden besten Ertragsklassen ab. Im Vergleich zum transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklasse EK1 der modellunabhängigen Methode (gekennzeichnet durch EK1mu in Abb. 43) ist ebenfalls nur eine geringe Abweichung erkennbar. Die geringen Abweichungen erklären sich auch durch die geringen Unterschiede der Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells.

4.2.6 Ertragstafelwerte Weißtanne

Eine weitere Ertragstafel, welche ebenfalls für die Untersuchung mit Hilfe des Evolonmodells in Betracht kam, war die Ertragstafel für Weißtanne von HAUSSER. Die Ertragstafelwerte sind in Tab. 99 des Anhangs angegeben. Wie bei den vorhergehenden Baumarten Fichte und Roteiche ist den Versuchsfeldern für Weißtanne eine mäßige Durchforstung vorausgesetzt bzw. erfolgt. In der Ertragstafel sind Bestandesmittelhöhen für die Ertragsklassen EK1-EK4 angegeben. Demnach stellen die Ertragsklassen der Baumart Weißtanne für die Ertragstafel von HAUSSER, wie bei v. GUTTENBERG und BAUER, eine relative Höhenbonität dar. Die Ertragstafelwerte wurden aus der Ertragstafelzusammenstellung wichtiger Baumarten von SCHÖBER (1995) entnommen.

Die Wachstumsverläufe der einzelnen Ertragsklassen wurden mit der vorgestellten Methode unter Verwendung des Evolonmodells und des Programms MINUIT untersucht (siehe Kapitel 4.2.3). Die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK4 sind in Tab. 49 des Anhangs angegeben. Die berechneten Transformationsparameter t_m und X_m aus den Evolonmodellparametern der Ertragsklassen sind in Tab. 50 angeführt.

Tab. 49: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	25-150 (5)	6,909268E-05	2,999230E-03	0,30722	45,0944	1,17215	23,7154	75
EK1/2	30-150 (5)	1,460970E-04	8,138660E-04	0,41239	45,5268	1,44259	23,115	80
EK2	30-150 (5)	1,055215E-04	4,761790E-03	0,314211	39,301	1,04584	21,0754	80
EK2/3	30-150 (5)	2,815282E-04	6,440920E-04	0,42313	42,0776	1,50371	19,2753	80
EK3	30-150 (5)	8,654597E-05	4,705610E-04	0,45403	40,3539	1,57737	17,456	80
EK3/4	40-150 (5)	2,673620E-04	3,963190E-04	0,523626	37,3365	1,60089	17,8738	90
EK4	40-150 (5)	1,774853E-04	3,800080E-04	0,597255	33,7472	1,60391	16,0421	90

Tab. 50: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK4 von HAUSSER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	34,1555	9,3647	4,8153	3,8153	37,16396425	10,48708072
EK1/2	39,8167	10,121	4,4981	3,4981	41,23095037	10,60112253
EK2	40,8081	9,0797	4,3285	3,3285	44,90879893	10,38179068
EK2/3	45,2467	9,2401	4,5538	3,5538	48,26275480	10,11415317
EK3	49,0630	9,0194	4,4742	3,4742	52,30537183	9,87774383
EK3/4	54,2802	9,2023	4,0573	3,0573	56,19392263	9,64005202
EK4	59,6278	9,1568	3,6855	2,6855	61,32531109	9,49444805

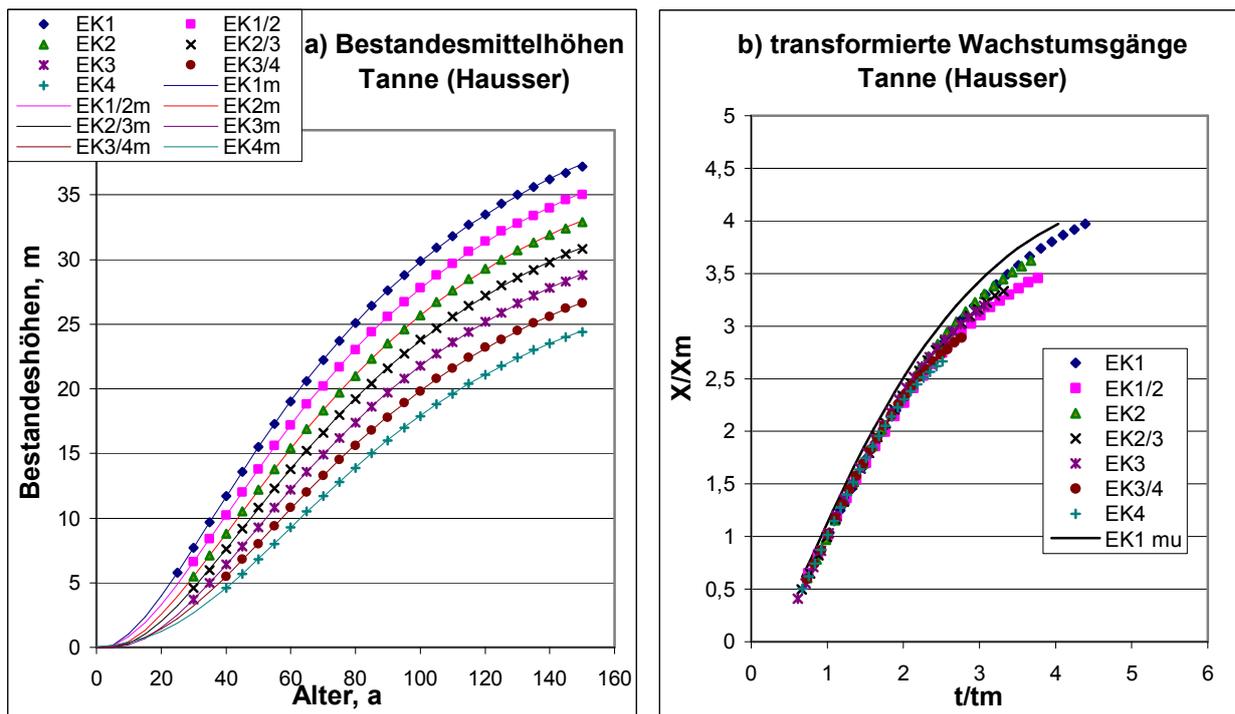


Abb. 44: a) Wachstumsverlauf von Bestandeseshöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandeseshöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

In Abb. 44b ist der Wachstumsverlauf der einzelnen Ertragsklassen nach der Transformation dargestellt. Dabei ist ein weitgehend einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ersichtlich. Es zeigt sich, dass die transformierten Wachstumsverläufe vor allem im späten Altersabschnitt bzw. hohen Baumalter vom gemeinsamen Trend abweichen. Deutlich weicht die Ertragsklasse EK1/2 vom gemeinsamen Trend ab.

Im Vergleich zum transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklasse EK1 der modellunabhängigen Methode (gekennzeichnet durch EK1mu) ist eine Abweichung erkennbar, die jedoch gering ausfällt. Die Abweichungen der Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells in Tab. 50 sind

teilweise sehr deutlich. Dadurch ist auch der transformierte Wachstumsverlauf der Ertragsklasse EK1/2 zu erklären, denn der Wert für X_m der modellunabhängigen Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells zeigt möglicherweise eine Störung des Wachstumsverlaufes des Bestandes für diese Ertragsklasse.

4.2.7 Ertragstafelwerte Douglasie

Eine weitere untersuchte Nadelbaumart ist die Douglasie aus der Ertragstafel von BERGEL (1985). Aus der Ertragstafel wurden Bestandesmittelhöhen der Ertragsklassen EK1-EK3 für mäßige Durchforstung verwendet, damit diese mit den anderen untersuchten Baumarten verglichen werden können und unterschiedliche Bestandesbehandlungsprogramme keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Die Ertragstafelwerte für die Baumart Douglasie für die Ertragsklassen 1-3 von BERGEL sind in Tab. 100 des Anhangs angegeben. Die Ertragsklassen sind wie bei den vorher untersuchten Ertrags- bzw. Standortklassen ein relatives Maß für die Leistung des Bestandes und geben nichts über die tatsächliche Zuwachsleistung des Bestandes an.

In Abb. 45 sind die transformierten Wachstumsverläufe der drei Ertragsklassen dargestellt. Die dazugehörigen Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK3 sind in Tab. 51 angegeben und die Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen sind in Tab. 52 angeführt. Es zeigt sich bei der Baumart Douglasie nach der Transformation der Ertragstafelwerte unter Verwendung der Formel (4.16) und (4.13) kein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf. Ein Unterschied ist auch im Vergleich zum transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklasse EK1 der modellunabhängigen Methode (gekennzeichnet durch EK1mu) erkennbar. Dies spiegelt sich auch bei den Transformationsparametern t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells in Tab. 52 wider. Dabei ist ein Unterschied vor allem bei den Werten der Ertragsklasse EK1 festzustellen.

Tab. 51: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von BERGEL

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	20-100 (5)	1,071588E-05	7,565391E-04	0,275072	58,9618	1,6156	29,53	50
EK2	20-100 (5)	4,274995E-05	4,073985E-04	0,4436	50,861	1,7135	25,5373	50
EK3	20-100 (5)	5,544962E-05	8,540655E-04	0,546136	40,7582	1,53467	21,6741	50

Tab. 52: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von BERGEL mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	16,5775	8,5783	6,8734	5,8734	21,40425667	12,27465520
EK2	23,1763	10,459	4,8627	3,8627	25,42000497	11,85667834
EK3	28,7632	10,698	3,8100	2,8100	30,27435105	11,42795145

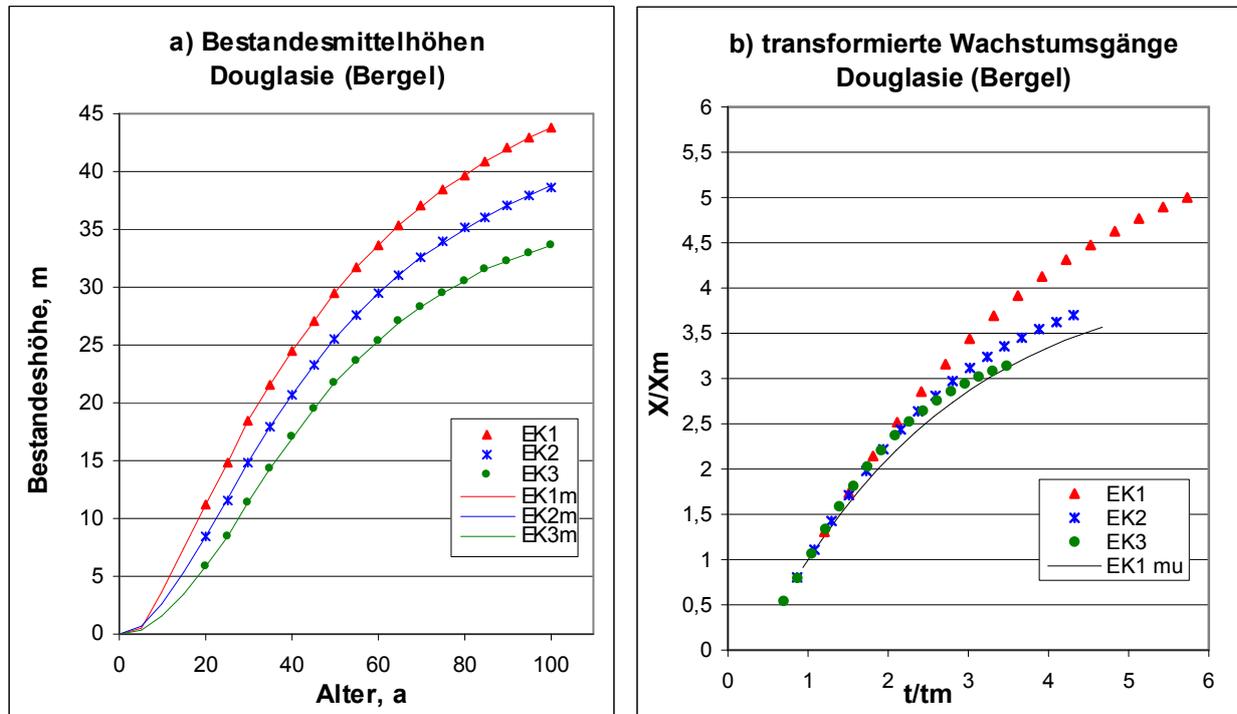


Abb. 45: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.8 Ertragstafelwerte Rotbuche

Für die Baumart Rotbuche wurden für die Untersuchungen mit Hilfe des Evolonmodells zwei verschiedene Ertragstafeln verwendet. Zum einen die bereits vorgestellte Ertragstafel für Rotbuche von WIEDEMANN (1931) (siehe Kapitel 4.1.6) und zum zweiten die Ertragstafel für Rotbuche von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995). Die Ertragstafel von WIEDEMANN untergliedert sich in die Ertragsklassen EK1 bis EK5 und die Ertragstafel von SCHOBER in die Ertragsklassen EK1 bis EK4. Beiden Ertragstafeln ist als Durchforstungsprogramm mäßige Durchforstung hinterlegt und die Ertragsklassen stellen den relativen Maßstab für die Leistung des Bestandes dar. Die

Ertragstafelwerte von WIEDEMANN und die Ertragstafelwerte von SCHOBER sind in Tab. 101 und Tab. 102 im Anhang angegeben.

Die Verwendung der Ertragstafel der Baumart Rotbuche von WIEDEMANN ist aufgrund der Angabe der Bestandesmittelhöhen beginnend erst mit dem Alter ab 30 Jahren als schwierig einzustufen. Durch das Fehlen von Alters- und Höhenangaben vor 30 Jahren ist die Bestimmung des Zuwachsmaximums unsicher. Trotzdem wurde versucht, aus den Daten einen Trend zu erkennen.

In Tab. 53 sind die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK5 von WIEDEMANN und in Tab. 55 die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK4 von SCHOBER angegeben. Die dazugehörigen berechneten Transformationsparameter t_m und X_m aus den Evolonmodellparametern der Ertragsklassen EK1 bis EK5 von WIEDEMANN sind in Tab. 54 und für die Ertragsklassen EK1 bis EK4 von SCHOBER in Tab. 56 angeführt. Anhand des Ergebnisses für den transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklassen von WIEDEMANN in Abb. 46 ist ersichtlich, dass sich kein einheitlich transformierter Wachstumsgang aller Ertragsklassen ergibt. Wie erwartet schwanken die κ -Werte erheblich wegen fehlender Daten vor dem Zuwachsmaximum. Im Vergleich mit den transformierten Wachstumsgängen unter Verwendung der modellunabhängigen Methode in Abb. 21 ist der Unterschied deutlich sichtbar. Ein Grund dafür liegt in der schon erwähnten späten Angabe der Ertragstafelwerte erst ab 30 Jahren. Dadurch ist es nicht möglich, mittels des Evolonmodells das Zuwachsmaximum sicher zu bestimmen. Der graphische Unterschied ist auch anhand der Transformationsparameter t_m und X_m für die Polynommethode und die Methode mit Hilfe des Evolonmodells in Tab. 54 erkennbar. Dabei weichen die t_m - und X_m -Werte der beiden Methoden deutlich voneinander ab.

Tab. 53: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	30-140 (5)	2,180690E-04	1,151270E-03	0,302294	49,5244	1,41948	27,6818	80
EK1/2	30-140 (5)	2,202530E-04	1,423405E-03	0,249248	47,3905	1,39938	25,7172	80
EK2	30-140 (5)	2,524543E-04	5,084440E-04	0,2608	48,4475	1,6412	23,7228	80
EK2/3	30-140 (5)	1,838055E-04	3,197875E-03	0,137053	41,8587	1,25842	21,8105	80
EK3	30-140 (5)	2,172793E-04	6,375180E-04	0,185313	43,5125	1,64072	19,909	80
EK3/4	30-130 (5)	1,177976E-04	8,215183E-04	0,137076	41,4842	1,59275	17,9823	80
EK4	30-130 (5)	1,049407E-04	6,194897E-04	0,05	43,0499	1,66668	16,0163	80
EK4/5	30-130 (5)	1,656664E-04	9,945889E-04	0,209724	34,622	1,50358	14,0092	80
EK5	30-130 (5)	1,638481E-04	4,991731E-04	0,153726	36,4262	1,66812	11,9955	80

Um dieses Ergebnis zu prüfen bzw. eventuell ein besseres Ergebnis zu erhalten, wurde die Ertragstafel für Rotbuche von SCHOBER (1967) zusätzlich verwendet. In Abb. 47 ist ein annähernd einheitlich transformierter Wachstumsverlauf für die Ertragsklassen EK2 bis EK4 zu erkennen. Die Ertragsklasse EK1 weicht jedoch deutlich vom allgemeinen Trend der anderen Ertragsklassen ab.

Auch die Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells in Tab. 56 weichen voneinander stark ab. Hierbei ist genauso wie bei WIEDEMANN der späte Beginn der Alters- und Bestandeshöhenangabe ein Grund für die Unterschiede.

Tab. 54: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	25,7049	8,695	5,6957	4,6957	29,04923553	10,17431456
EK1/2	24,0632	7,1648	6,6144	5,6144	29,22242064	9,32206977
EK2	24,9831	6,6431	7,2929	6,2929	30,13430308	8,63530473
EK2/3	20,7297	4,1111	10,1820	9,1820	32,45739098	8,42063017
EK3	23,8469	4,4158	9,8538	8,8538	35,07307478	8,17048354
EK3/4	22,7266	3,2873	12,6195	11,6195	36,92503730	7,64381226
EK4	18,9848	1,2539	34,3336	33,3336	39,13412471	7,08412343
EK4/5	31,3408	4,238	8,1693	7,1693	39,50753661	5,92144268
EK5	31,0383	3,0736	11,8512	10,8512	43,64713089	5,54567175

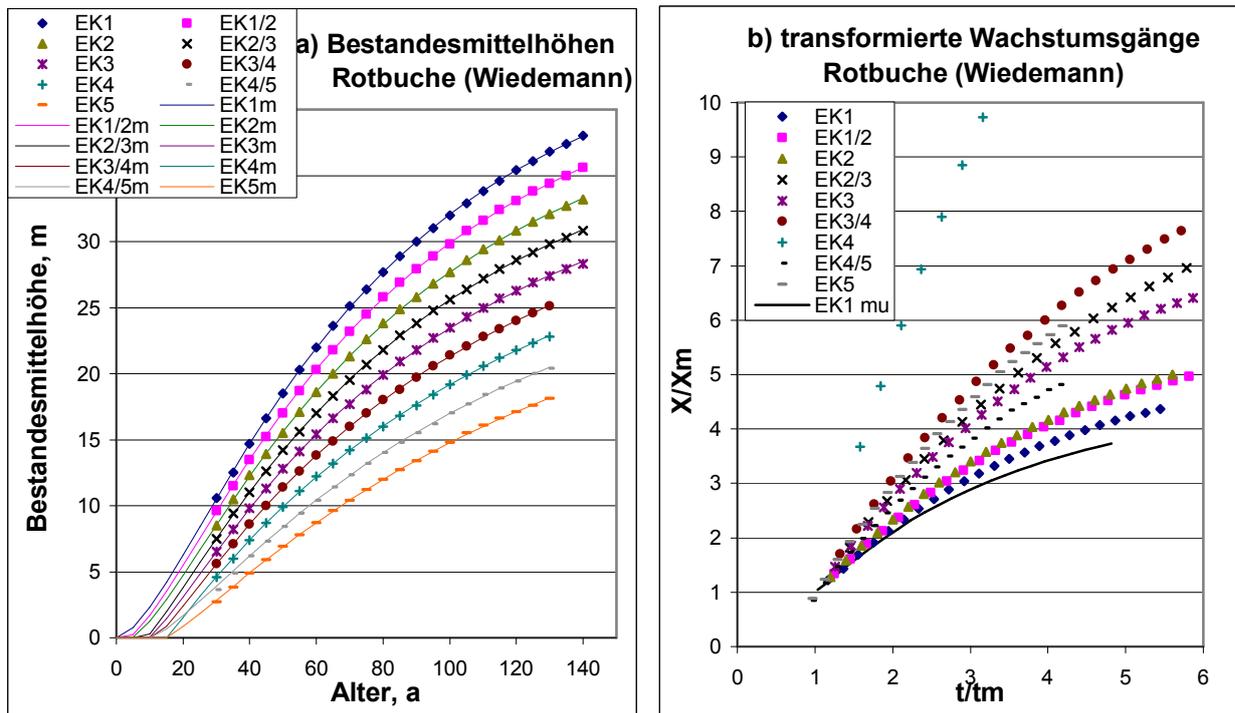


Abb. 46: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Tab. 55: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK4 von SCHOBER

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	30-150 (5)	5,414749E-04	1,585630E-03	0,293683	54,6759	1,92871	27,0281	80
EK2	30-150 (5)	7,765095E-04	2,030750E-04	0,409857	45,837	1,85273	23,3119	80
EK3	30-150 (5)	1,673605E-03	6,025120E-04	0,464989	36,5723	1,59979	19,5878	80
EK4	30-150 (5)	4,064810E-03	8,998260E-05	0,633323	33,0404	2,10745	15,9068	80

Tab. 56: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK4 von SCHOBER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	27,0698	7,2253	7,5673	6,5673	38,28235397	12,43113466
EK2	34,1831	8,3032	5,5204	4,5204	42,03862200	11,35708939
EK3	40,9154	8,2361	4,4405	3,4405	46,96710123	10,25446436
EK4	48,2685	7,6348	4,3276	3,3276	53,33239909	9,14138221

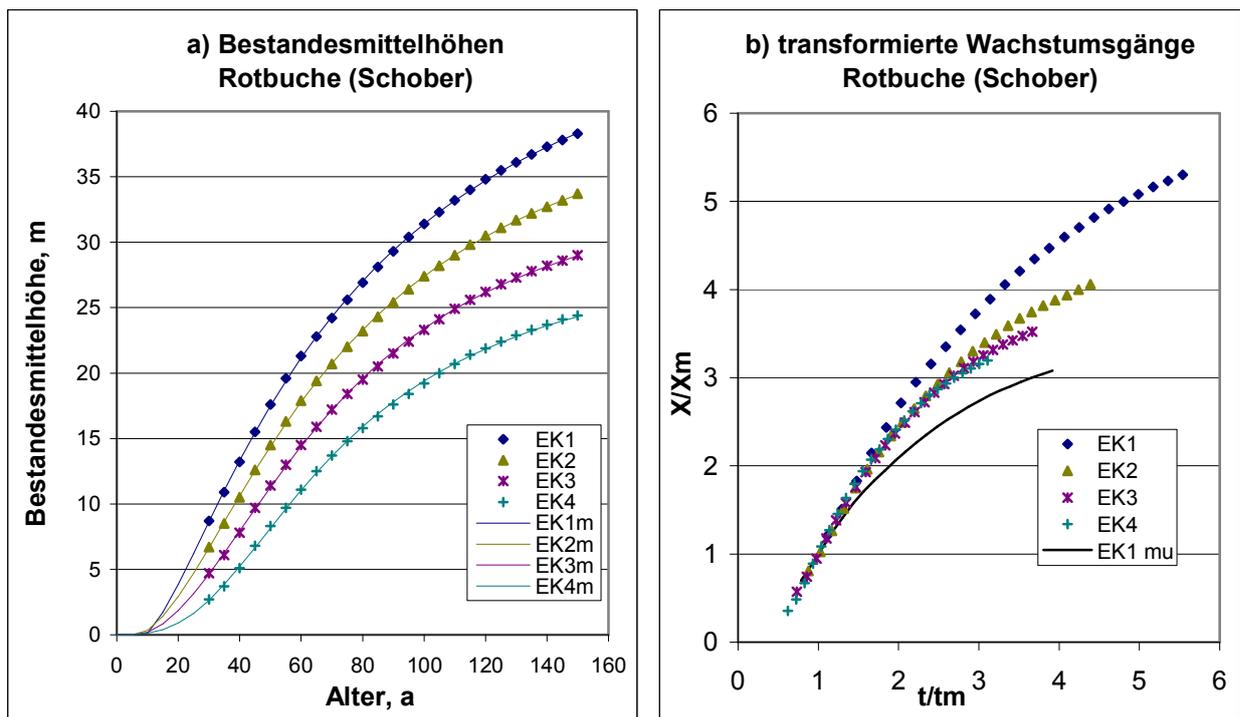


Abb. 47: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.9 Ertragstafelwerte Eiche

Auch die Verwendung der Ertragstafel der Baumart Eiche von ERTELD ist, wie bei der Baumart Rotbuche, aufgrund der Angabe der Bestandesmittelhöhen und dem dazugehörigen Alter ab 20 Jahren der Ertragsklasse 1 (und bei den weiteren Ertragsklassen mit abstufenden Angaben, Ertragsklasse 1/2 und 2 ab dem Alter von 25 Jahren, Ertragsklasse 2/3 und 3 ab dem Alter von 30 Jahren und Ertragsklasse 3/4 ab dem Alter von 40 Jahren) als schwierig einzustufen. Durch die späten Alters- und Höhenangaben ist die Bestimmung des Zuwachsmaximums problematisch. Trotzdem wurde versucht, aus den Daten einen Trend zu erkennen. Die Ertragstafelwerte der Baumart Eiche für die Ertragsklassen EK1 bis EK3/4 von ERTELD sind in Tab. 103 des Anhangs angegeben.

Für die Berechnung bzw. Anpassung der Ertragstafelwerte unter Verwendung des Evolonmodells (Formel (4.7)) wurde das Programm MINUIT genutzt. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m konnten dann nach Formel (4.16) und (4.13) berechnet werden.

Tab. 57: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	20-200 (5)	2,004121E-03	2,511590E-06	0,531093	49,6567	2,92876	22,3969	70
EK1/2	25-200 (5)	1,174575E-03	4,370870E-07	0,642615	48,8523	3,33016	20,5129	70
EK2	25-200 (5)	2,015535E-03	2,740980E-06	0,672413	42,3808	2,93342	18,6578	70
EK2/3	30-200 (5)	1,157891E-03	4,726960E-08	0,836803	44,6214	3,894	17,0555	70
EK3	30-200 (5)	3,895706E-03	1,078650E-07	1,03815	38,6598	3,69929	15,424	70
EK3/4	40-160 (5)	1,059052E-03	3,089760E-05	0,639055	31,8562	2,42859	13,4113	70

Tab. 58: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3/4 von ERTELD mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	23,7447	7,6224	6,5146	5,5146	26,60101204	8,72748733
EK1/2	28,5275	7,9021	6,1822	5,1822	32,35150334	9,29557998
EK2	33,2392	7,9031	5,3625	4,3625	37,35200508	9,31044571
EK2/3	36,8692	7,8928	5,6534	4,6534	40,77015600	9,09433168
EK3	43,2954	8,4718	4,5633	3,5633	48,06800177	9,81457886
EK3/4	41,1096	6,6363	4,8003	3,8003	48,98677632	8,62566368

Die Evolonmodellparameterwerte der Ertragsklasse EK1 bis EK3/4 und die Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen sind in Tab. 57 und Tab. 58 angegeben. In Abb. 48 ist der Wachstumsverlauf der sechs Ertragsklassen nach der Transformation dargestellt. Ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ist nur ansatzweise ersichtlich. Der Vergleich der Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit

Hilfe des Evolonmodells zeigt einen deutlichen Unterschied vor allem bei den Werten für t_m . Bei der Betrachtung des transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklasse EK1 unter Verwendung der Polynommethode (gekennzeichnet durch EK1mu) im Vergleich zur Methode mit Hilfe des Evolonmodells ist eine Abweichung erkennbar. Wie bei den Ergebnissen der Polynommethode zeigt auch die Untersuchung mittels Evolonmodell keinen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf. Als Begründung ist für beide Methoden der späte Beginn der Alters- und Höhenangaben zu nennen.

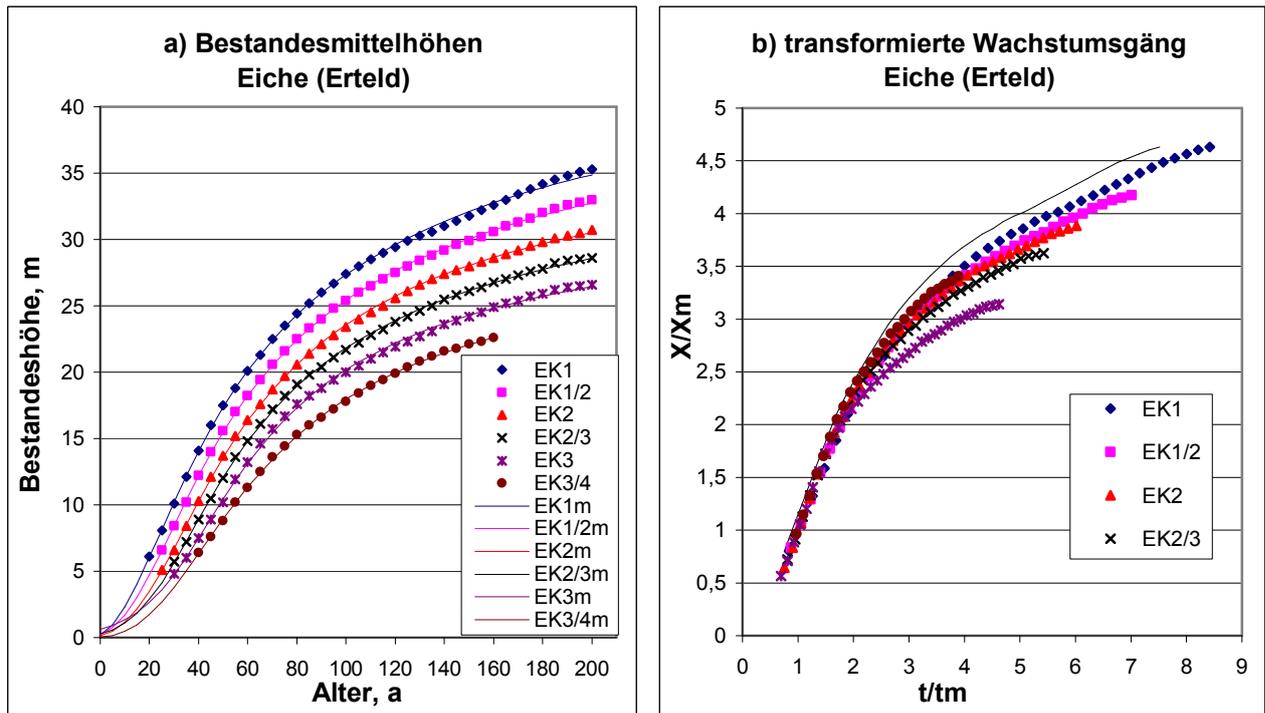


Abb. 48: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.10 Ertragstafelwerte Lärche

Die Untersuchung der Baumart Lärche mittels des Evolonmodells ist insoweit interessant, da für diese Baumart Ertragstafelwerte schon im frühen Alter angegeben sind. Die Ertragstafelwerte, aus der Ertragstafel von SCHÖBER (1946 aus SCHÖBER, 1995), der Ertragsklassen EK1 bis EK3 sind in Tab. 105 (im Anhang) bereits ab dem Alter von fünf Jahren angeführt. Der Ertragstafel ist als Durchforstungsprogramm mäßige Durchforstung hinterlegt und die Ertragsklassen stellen den relativen Maßstab für die Leistung des Bestandes dar.

Tab. 59: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstands-funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	5-140 (5)	5,578388E-04	2,552180E-04	0,293893	46,9464	1,97505	29,3143	70
EK1/2	5-140 (5)	6,779962E-04	1,911190E-04	0,309528	44,7471	2,0547	27,3079	70
EK2	5-140 (5)	1,518422E-03	5,277600E-04	0,32504	39,2686	1,81571	25,3926	70
EK2/3	5-140 (5)	1,894965E-03	1,392810E-04	0,397468	38,5149	2,14812	23,3935	70
EK3	5-140 (5)	3,818458E-03	3,054290E-04	0,404863	33,8742	1,97916	21,459	70

Tab. 60: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von SCHOBER mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EK1	12,5070	6,0809	7,7203	6,7203	14,85010096	7,43744016
EK1/2	13,1604	5,8584	7,6382	6,6382	14,32481162	6,39672336
EK2	14,5920	5,9623	6,5861	5,5861	15,28874690	6,15463468
EK2/3	16,0766	6,0137	6,4045	5,4045	15,93971548	5,87109364
EK3	17,2094	5,7526	5,8885	4,8885	17,07189590	5,67605186

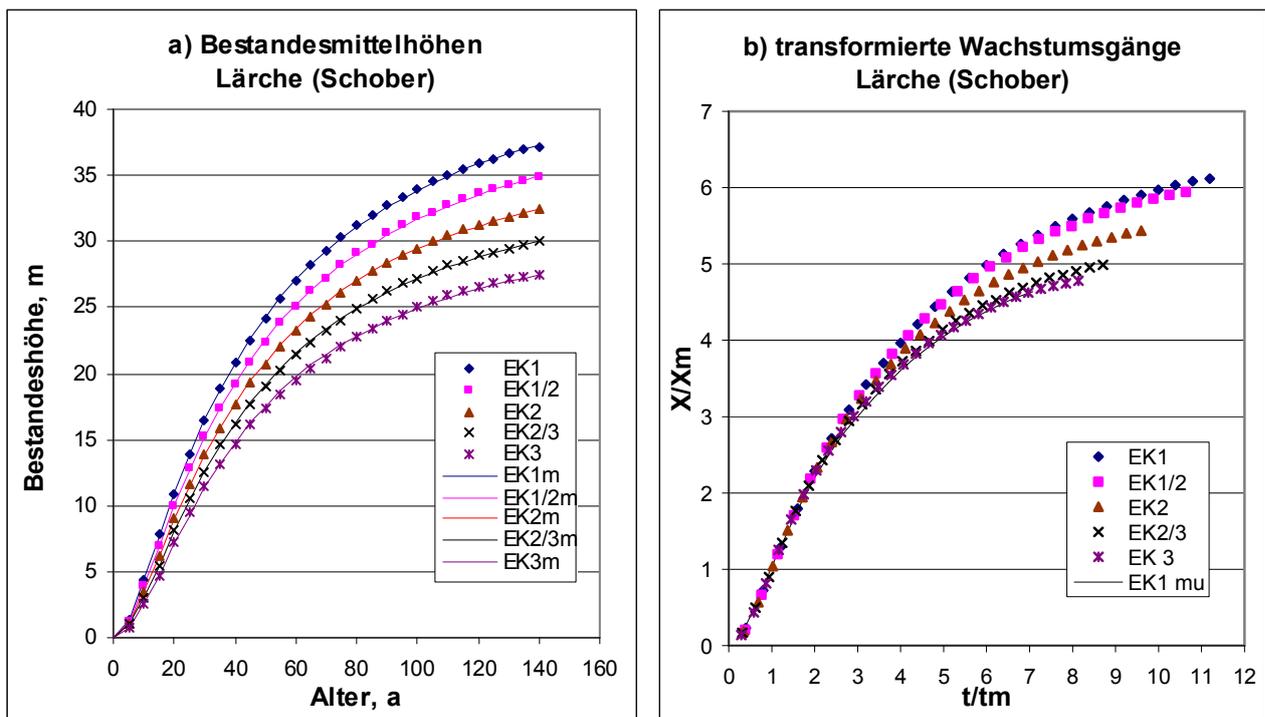


Abb. 49: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

In Abb. 49 sind die transformierten Wachstumsverläufe der drei Ertragsklassen dargestellt. Die dazugehörigen Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK3 sind in Tab. 59 angegeben und die Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen sind in Tab. 60 angeführt. Es zeigt sich bei der Baumart Lärche nach der Transformation der Ertragstafelwerte

unter Verwendung der Formel (4.16) und (4.13) kein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf. Im Vergleich mit der Darstellung der transformierten Wachstumsverläufe ohne Modell ist zu erkennen, dass vor allem die Ertragsklassen EK1 bis EK2 vom Trend abweichen. Dies zeigt sich auch anhand der Transformationsparameter t_m und X_m mit und ohne Modell. Dabei weichen die besten Ertragsklassen vor allem in den Werten für t_m ab.

4.2.11 Ertragstafelwerte Kiefer

Als zweite Hauptbaumart in Sachsen wurden wegen ihrer starken Verbreitung Ertragstafelwerte der Baumart Kiefer untersucht. Für die Baumart Kiefer wurde die Ertragstafel von Kiefer von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) verwendet. Auch aus dieser Ertragstafel wurden die angegebenen Mittelhöhen verwendet, obwohl die Ertragstafel auf absoluten Oberhöhenbonitäten beruht. Die Alters- und Höhenangaben wurden in der Ertragstafel ab 20 Jahren angegeben. Jedoch wurden in der Ertragstafelzusammenstellung Angaben für Kiefernjungbestände beigefügt. Diese überschneiden sich mit dem mittleren Ertragsniveau, sodass auch die Alters- und Höhenangaben der Ertragstafel für Kiefernjungbestände ab 5 Jahren verwendet werden konnten. Ohne diese zusätzlichen Datenwerte vor 20 Jahren wäre ein aussagekräftiges Ergebnis nicht zu erwarten gewesen. Die Ertragstafelwerte sind in Tab. 108 des Anhangs angegeben und wurden für die Untersuchung mit Hilfe des Evolonmodells verwendet.

Tab. 61: Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR

Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
M34	5-130 (5)	5,267099E-04	2,18334E-04	0,192331	53,3893	1,95858	22,9948	50
M32	5-130 (5)	5,122811E-04	5,37879E-04	0,191839	47,8363	1,75924	21,5036	50
M30	5-130 (5)	4,189611E-04	1,03987E-03	0,158977	44,1569	1,61669	19,9707	50
M28	5-130 (5)	7,091116E-04	2,76293E-04	0,205613	44,8208	1,92341	18,4875	50
M26	5-130 (5)	1,099215E-03	4,30369E-04	0,220410	40,6499	1,82266	16,9887	50
M24	5-130 (5)	8,064635E-04	6,29303E-04	0,189879	38,0451	1,73849	15,4495	50
M22	5-130 (5)	1,421172E-03	3,93077E-04	0,235590	35,881	1,85355	13,9598	50
M20	5-140 (5)	7,562189E-04	1,39404E-02	0,176813	24,3773	0,92129	12,4597	50
M18	5-140 (5)	2,531536E-03	1,02820E-02	0,234171	22,3672	0,98298	10,9482	50
M16	10-140 (5)	3,413525E-04	3,48650E-02	0,151320	18,1028	0,60212	9,38238	50
M14	10-140 (5)	3,269863E-04	3,22543E-02	0,192511	15,8815	0,5891	7,86988	50
M12	10-140 (5)	2,433705E-03	9,69811E-03	0,405085	14,6475	0,94561	6,40903	50

In Tab. 61 sind die Parameter des Evolonmodells für Bonitäten M34 bis M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR angeführt. Die dazugehörigen berechneten Transformationsparameter t_m und X_m aus den Evolonmodellparametern sind in Tab. 62 angeführt. Anhand des Ergebnisses für den transformierten Wachstumsverlauf der Bonitäten von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR in Abb. 50 ist

ersichtlich, dass sich kein einheitlich transformierter Wachstumsgang aller Bonitäten ergibt. Im Vergleich mittels der Polynommethode fällt der transformierte Wachstumsgang ähnlich aus, obwohl ein einheitlich transformierter Wachstumsgang unter Verwendung der Polynommethode näherungsweise erkennbar ist.

Tab. 62: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
M34	10,4814	4,7740	11,1834	10,1834	12,01054605	5,53497335
M32	11,0489	4,7035	10,1704	9,1704	11,85711239	5,03007140
M30	10,3354	3,9534	11,1693	10,1693	12,05469804	4,69175277
M28	12,0102	4,3286	10,3545	9,3545	12,58232362	4,49281577
M26	13,2388	4,3854	9,2694	8,2694	12,42912518	3,97969414
M24	12,8016	3,7461	10,1558	9,1558	13,69746976	3,98721601
M22	15,2480	4,0463	8,8677	7,8677	14,15042133	3,62585150
M20	16,7594	3,9251	6,2105	5,2105	15,55094931	3,52500875
M18	20,9404	4,3033	5,1977	4,1977	16,81980551	3,25856513
M16	21,2570	3,6358	4,9791	3,9791	18,86420444	3,08752983
M14	27,3373	3,9116	4,0601	3,0601	23,42257128	3,17307867
M12	37,1305	4,3929	3,3343	2,3343	33,53747523	3,85381206

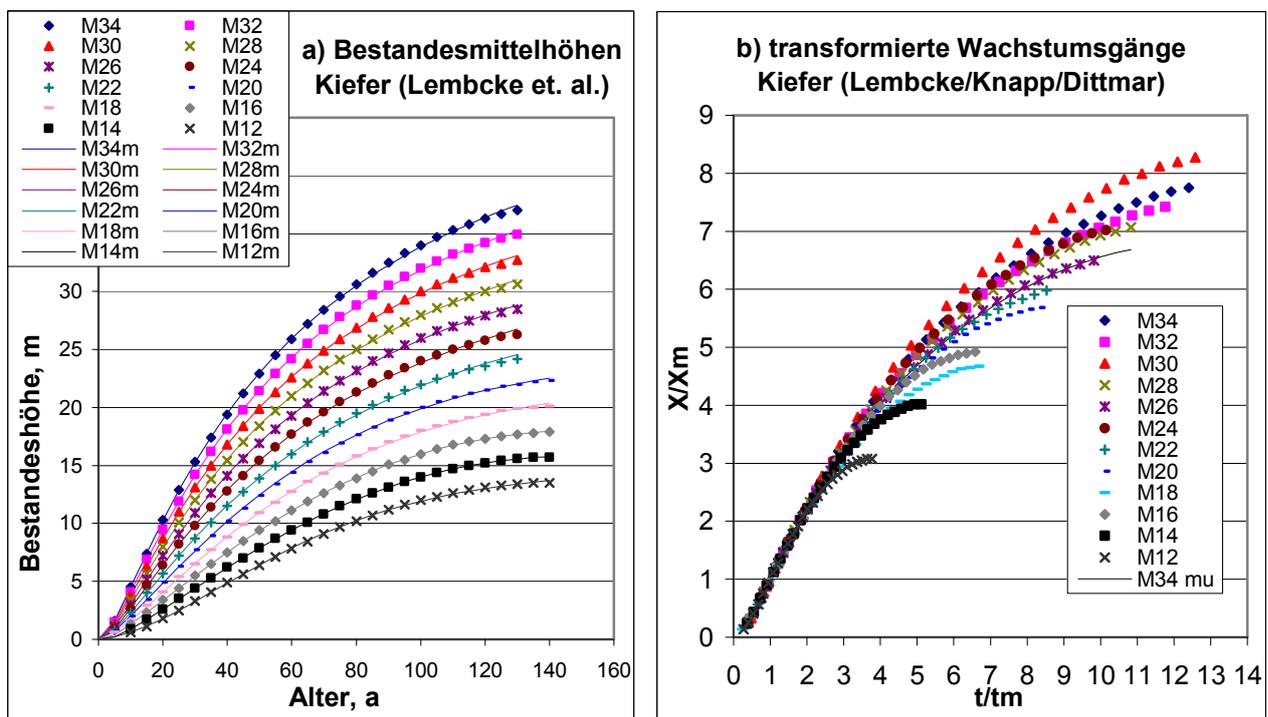


Abb. 50: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.12 Ertragstafelwerte weiterer Baumarten

Wie im Kapitel 4.1.10 wurden im Verlauf der Untersuchungen weitere Baumarten zunächst stichprobenhaft untersucht. Da die Ergebnisse zur Erweiterung der Arbeit beitrugen wurden die Ertragstafelwerte weiterer Baumarten eingehender geprüft. Bei der Betrachtung von Bestandeshöhen weiterer Ertragstafeln unter Verwendung der modellunabhängigen Methode wurde bereits die Küstentanne im Kapitel 4.1.10 ausführlicher dargestellt. Für die Untersuchungen mit Hilfe des Evolonmodells wurden neben Ertragstafelwerten der Küstentanne auch Ertragstafelwerte der Baumart Eukalyptus und Robustapappel verwendet. Die beiden letzt genannten Baumarten gehören zu den schnellwachsenden Baumarten. Für die Küstentanne von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) sind die Ertragstafelwerte in Tab. 106, für Eukalyptus von v. GADOW et al. (1987) in Tab. 107 und für Robustapappel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) in Tab. 104 des Anhangs angegeben.

In Abb. 51 sind die transformierten Wachstumsverläufe für Küstentanne der Ertragsklassen 340 bis 180 dargestellt. Im Gegensatz zur modellunabhängigen Methode in Abb. 25 ist in Abb. 51 kein einheitlich transformierter Wachstumsgang für die Baumart Küstentanne zu erkennen. Das beruht wahrscheinlich darauf, dass in diesem Fall die Transformationsparameter t_m und X_m mit der Interpolation unter Verwendung der Polynommethode genauer bestimmt wurden. Beim Vergleich der Transformationsparameter t_m und X_m für die modellunabhängige Methode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells sind in Tab. 64 Unterschiede in den Parametern sichtbar, welche den transformierten Wachstumsverlauf beeinflussen. In Tab. 63 sind die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen 340 bis 180 angegeben, aus denen die Transformationsparameter t_m und X_m berechnet wurden.

Während der Untersuchung der Küstentanne stellte sich die Frage, wie sich schnellwachsende Baumarten verhalten bzw. ob ein Ergebnis zu einem möglichen einheitlichen transformierten Wachstumsverlauf von Beständen erhalten werden kann. Die Baumarten Eukalyptus und Robustapappel wurden mit Hilfe der modellunabhängigen Methode nicht untersucht. Jedoch unter Verwendung des Evolonmodells werden die Ergebnisse dargestellt. In Tab. 107 des Anhangs sind die Ertragstafelwerte für Eukalyptus und in Tab. 104 die Ertragstafelwerte für Robustapappel angegeben.

In Tab. 65 sind die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen SQ1 bis SQ3 der Baumart Eukalyptus von v. GADOW et al. und in Tab. 67 die Parameter des Evolonmodells für die Ertragsklassen EK1 bis EK3 der Baumart Robustapappel von RÄTZLE angegeben. Die dazugehörigen berechneten Transformationsparameter t_m und X_m aus den Evolonmodellparametern der Ertragsklassen SQ1 bis SQ3 von v. GADOW et al. sind in Tab. 66 und für die Ertragsklassen EK1 bis EK3 von RÄTZLE in Tab. 68 angeführt. Die transformierten Wachstumsverläufe von

Eukalyptus und Robustapappel in Abb. 52 und Abb. 53 zeigen keinen einheitlichen Wachstumsgang, sodass die erste Hypothese im Kapitel 1.1 für die untersuchten Ertragstafelwerte von Eukalyptus und Robustapappel nicht zutrifft.

Tab. 63: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
Class 340	15-80 (5)	8,640016E-05	6,023652E-04	0,717273	51,8909	1,5142	32,6083	40
Class 300	15-80 (5)	1,616738E-04	1,453007E-04	0,87438	50,3633	1,7887	30,248	40
Class 260	15-80 (5)	5,972405E-05	1,014506E-03	0,655571	44,9794	1,45716	27,7368	40
Class 220	15-80 (5)	1,207527E-04	1,465129E-03	0,604949	41,1996	1,41395	25,0431	40
Class 180	15-80 (5)	6,650798E-05	7,004502E-03	0,465454	35,162	1,08645	22,0772	40

Tab. 64: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen 340-180 von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
Class 340	21,4045	16,68	3,1110	2,1110	19,86378127	15,16224517
Class 300	22,7959	16,536	3,0457	2,0457	20,82751804	14,77298823
Class 260	21,3435	13,957	3,2227	2,2227	20,81850559	13,47747619
Class 220	21,2541	12,345	3,3373	2,3373	20,98565978	12,09691308
Class 180	20,9159	10,546	3,3342	2,3342	21,08720991	10,61513359

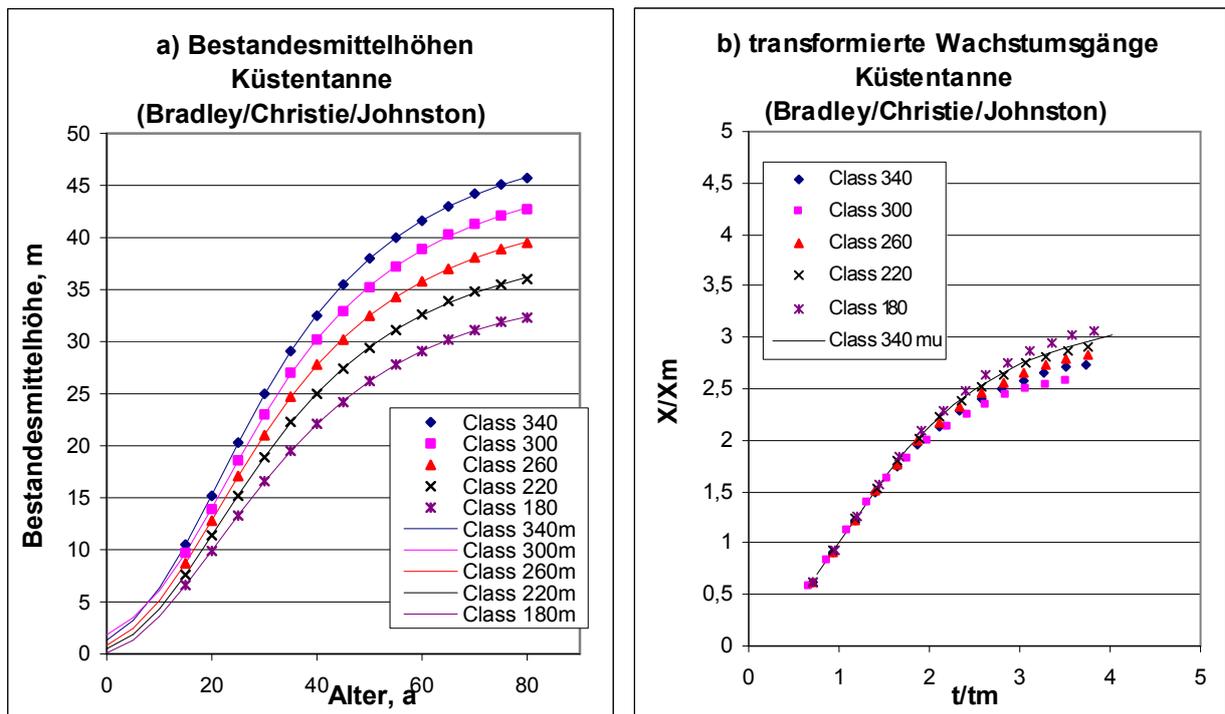


Abb. 51: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Tab. 65: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK1-EK3 von v. GADOW et al.

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
SQ1	1- 40 (1)	1,903576E-03	5,332701E-04	0,106659	63,5473	2,1112	36,6524	20
SQ2	1- 40 (1)	2,211950E-03	5,051906E-05	0,15841	53,2627	2,71787	27,129	20
SQ3	1- 40 (1)	2,188735E-03	1,623097E-04	0,139092	32,9487	2,65003	16,8819	20

Tab. 66: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von v. GADOW et al. mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+l)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
SQ1	1,3936	3,056	20,7940	19,7940
SQ2	1,6514	2,9334	18,1572	17,1572
SQ3	1,5302	1,6431	20,0523	19,0523

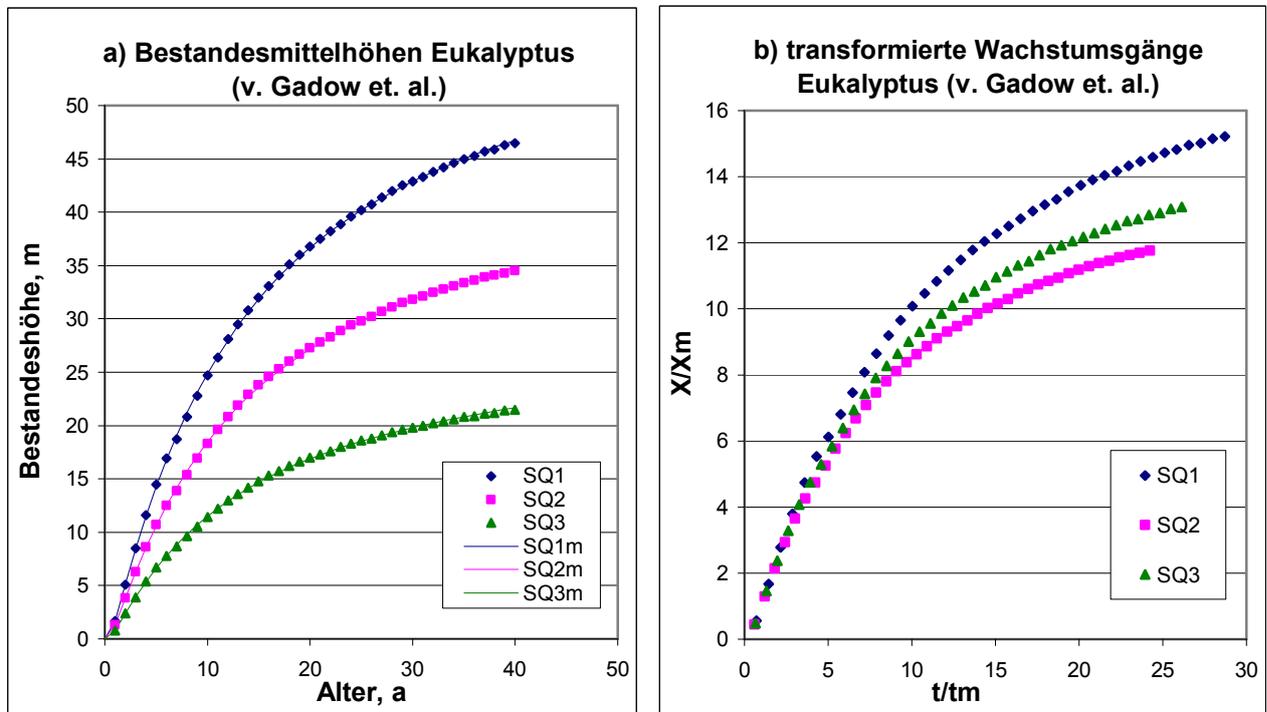


Abb. 52: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Tab. 67: Parameter des Evolonmodells der Ertragsklassen EK 1-EK3 von RÄTZLE

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EK1	1- 40 (1)	5,531778E-05	8,79967E-04	0,606655	45,2517	1,77932	33,6980	25
EK2	1- 40 (1)	1,172588E-04	2,00484E-03	0,538363	41,3197	1,62108	30,9463	25
EK3	1- 40 (1)	1,343904E-03	8,92110E-04	0,546099	38,8501	1,87491	27,604	25

Tab. 68: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK3 von RÄTZLE mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
EK1	7,4305	11,5056	3,9330	2,9330
EK2	7,5588	10,3013	4,0111	3,0111
EK3	7,5429	8,7633	4,4333	3,4333

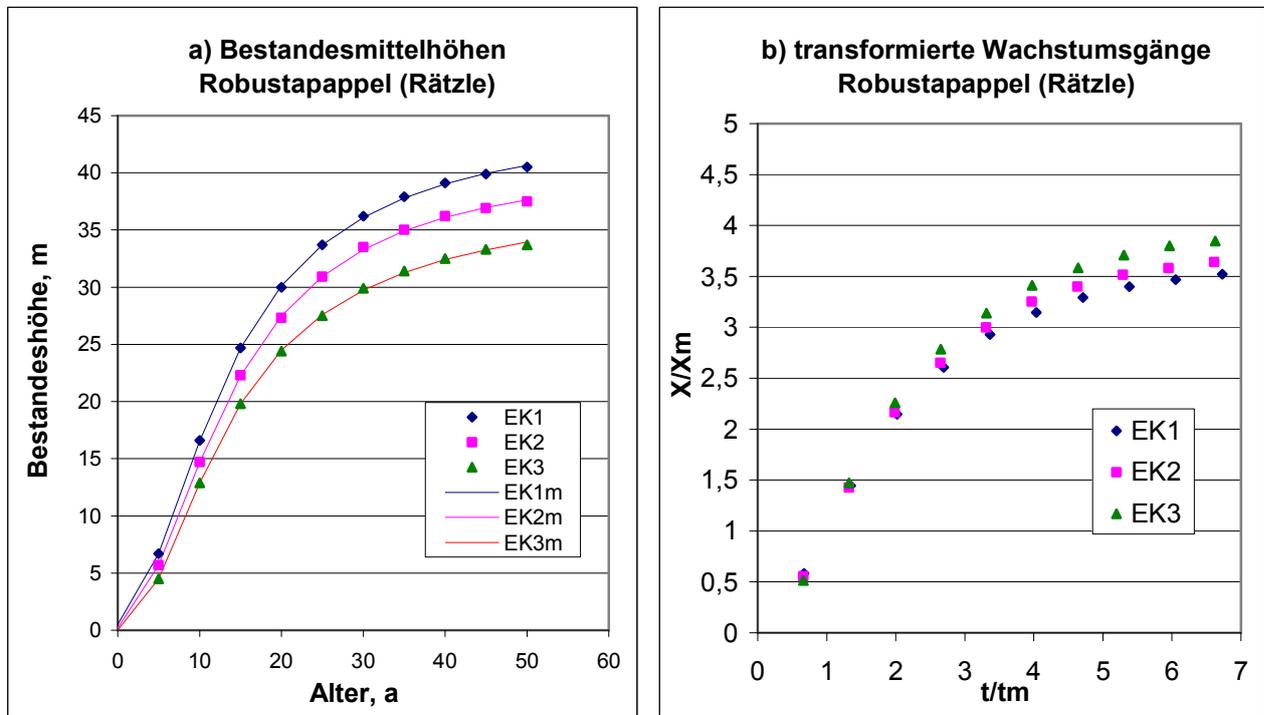


Abb. 53: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.13 Einzelbäume Fichte

Wie bereits bei der modellunabhängigen Methode in Kapitel 4.1.11 gezeigt wurde, ist es schwierig, für Einzelbäume einen einheitlich transformierten Wachstumsverlauf zu erhalten, denn jeder Einzelbaum durchläuft eine eigene Wuchsgeschichte mit mehr oder weniger Einflüssen. Deshalb wurde eine Mittelwertbildung von mindestens zehn Einzelbäumen mit der dazugehörigen Wachstumskenngröße Baumhöhe über dem Alter vorgeschlagen. Diese Mittelwertbildung wurde auch für die Untersuchung mit dem Evolonmodell, wenn möglich, beachtet. Trotzdem wurden auch die Wachstumsverläufe der Einzelbäume unter Verwendung des Evolonmodells analysiert, um eventuell Erkenntnisse für die Einzelbäume (Ursprungsdaten) zu erhalten. Die Betrachtungen zu den Einzelbäumen von Fichte und anderen Baumarten haben das Ziel, die Variationsbreite der

Abweichungen vom Normalwachstum von Bäumen, die in Beständen aufwachsen, zu verdeutlichen.

Die Daten der untersuchten Einzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) sind in Tab. 109 des Anhangs angegeben. Für die Berechnung bzw. Anpassung der Baumhöhen für die Einzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) unter Verwendung des Evolonmodells (Formel (4.7)) wurde, wie bei den Untersuchungen an Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln, das Programm MINUIT genutzt. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m konnten dann nach Formel (4.16) und (4.13) berechnet werden. Die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume 1-10 und die Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume sind in Tab. 69 und Tab. 70 angegeben. In Abb. 54a ist der Wachstumsverlauf der Einzelbäume anhand der Ausgangsdaten (als Punkte dargestellt) zum Vergleich des mit Hilfe des Evolonmodells berechneten Wachstumsverlaufs dargestellt. Die Abweichungen der Ausgangsdaten vom Modellverlauf sind relativ gering, obwohl bei Einzelbäumen eher eine Abweichung der Ausgangsdaten von den Modelldaten erwartet wird. Abb. 54b zeigt den transformierten Wachstumsverlauf der Einzelbäume 1-10 von v. GUTTENBERG (1915). Als Vergleich ist der transformierte Wachstumsverlauf der Standortklasse 1 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) und der Bonität M40 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) dargestellt.

Tab. 69: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-10 von v. GUTTENBERG

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E1	10-140 (10)	2,904239E-04	7,293690E-05	0,806438	38,2985	2,12641	23,0862	60
E2	10-140 (10)	6,275118E-04	6,625527E-05	0,526905	49,0513	2,1299	23,8173	60
E3	10-140 (10)	7,682421E-03	5,242809E-04	0,289466	56,4331	1,59038	22,5629	60
E4	10-140 (10)	9,008067E-04	4,194654E-04	0,257212	57,1949	1,73147	26,8227	60
E5	10-150 (10)	1,074505E-03	4,141489E-04	0,282625	51,846	1,73496	24,3524	60
E6	10-150 (10)	1,163799E-03	2,328535E-03	0,403101	40,7917	1,293	22,6516	60
E7	10-150 (10)	1,548442E-03	2,481483E-05	0,599987	50,1386	2,32335	22,7106	60
E8	10-120 (10)	3,272870E-03	2,485357E-04	0,302857	50,9765	1,85142	22,5898	60
E9	10-120 (10)	9,544663E-04	2,564572E-04	0,59449	45,1563	1,76474	25,3923	60
E10	10-120 (10)	1,282364E-03	2,606185E-04	0,732912	43,2348	1,70443	25,5864	60

Interessant ist, dass einzelne Einzelbäume einen ähnlichen transformierten Wachstumsverlauf wie die Standortklasse 1 oder die Bonität M40 aufweisen. Anhand der Parameter aus Tab. 69 sind jedoch große Unterschiede zwischen den Einzelbäumen erkennbar, wovon durchaus auszugehen war. Auch die Werte für t_m und X_m in Tab. 70 des Evolonmodells und der modellunabhängigen Methode weichen bei einigen Einzelbäumen deutlich voneinander ab.

Tab. 70: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-10 von v. GUTTENBERG mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
E1	32,1448	10,53084	3,6368	2,6368	36,37500941	12,84257502
E2	29,2624	9,727991	5,0423	4,0423	32,32462061	11,17408579
E3	26,4532	8,689787	6,4942	5,4942	24,84797022	7,59269596
E4	20,8621	7,397471	7,7317	6,7317	27,01955374	10,51328544
E5	20,6915	7,262611	7,1388	6,1388	23,77290786	8,55978446
E6	30,2660	9,694706	4,2076	3,2076	33,58697418	10,99977384
E7	32,6543	10,29048	4,8723	3,8723	35,32336266	11,58119554
E8	22,7681	7,16647	7,1132	6,1132	25,76769696	8,26509190
E9	29,3652	11,37869	3,9685	2,9685	27,20852258	10,12154426
E10	34,3439	13,00073	3,3256	2,3256	35,42429876	13,45246997

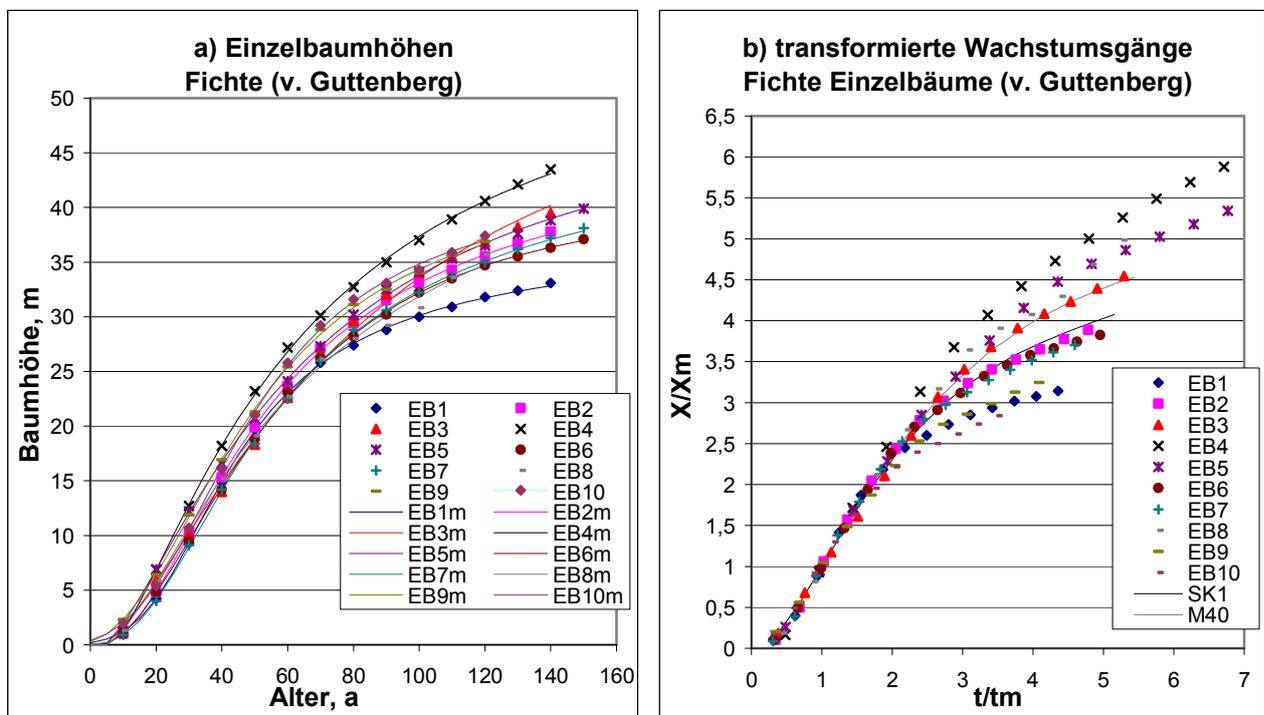


Abb. 54: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen aus den Untersuchungen von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen aus den Untersuchungen von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Die Daten der untersuchten Einzelbäume der Standorte Denklingen 005 und 084 wurden im Kapitel 4.1.11 vorgestellt und bereits von RÖHLE (1995) untersucht. Die Daten der Einzelbäume sind für den Standort Denklingen 005 in Tab. 110 und für Denklingen 084 in Tab. 111 des Anhangs aufgeführt. Die Einzelbäume 1-6 sind dem Standort Denklingen 005 und die Einzelbäume 7-12 dem Standort Denklingen 084 zuzuordnen. Für die Berechnung bzw. Anpassung der Baumhöhen für die Einzelbäume von Denklingen unter Verwendung des Evolonmodells (Formel (4.7)) wurde, wie bei

den Untersuchungen an den Einzelbäumen von v. GUTTENBERG (1915) und auch bei den folgenden Einzelbäumen, das Programm MINUIT genutzt. In Tab. 71 und Tab. 72 sind die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume 1-12 und die Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume angegeben. Ein Vergleich der Werte für t_m und X_m mittels der Polynommethode kann für die Einzelbäume von Denklingen nicht nachvollzogen werden, da die Werte für t_m und X_m der modellunabhängigen Methode nicht berechnet wurden. Wie aber bei den Einzelbäumen von v. GUTTENBERG (1915) gesehen wurde, wäre eine Abweichung der t_m - und X_m -Werte zu erwarten.

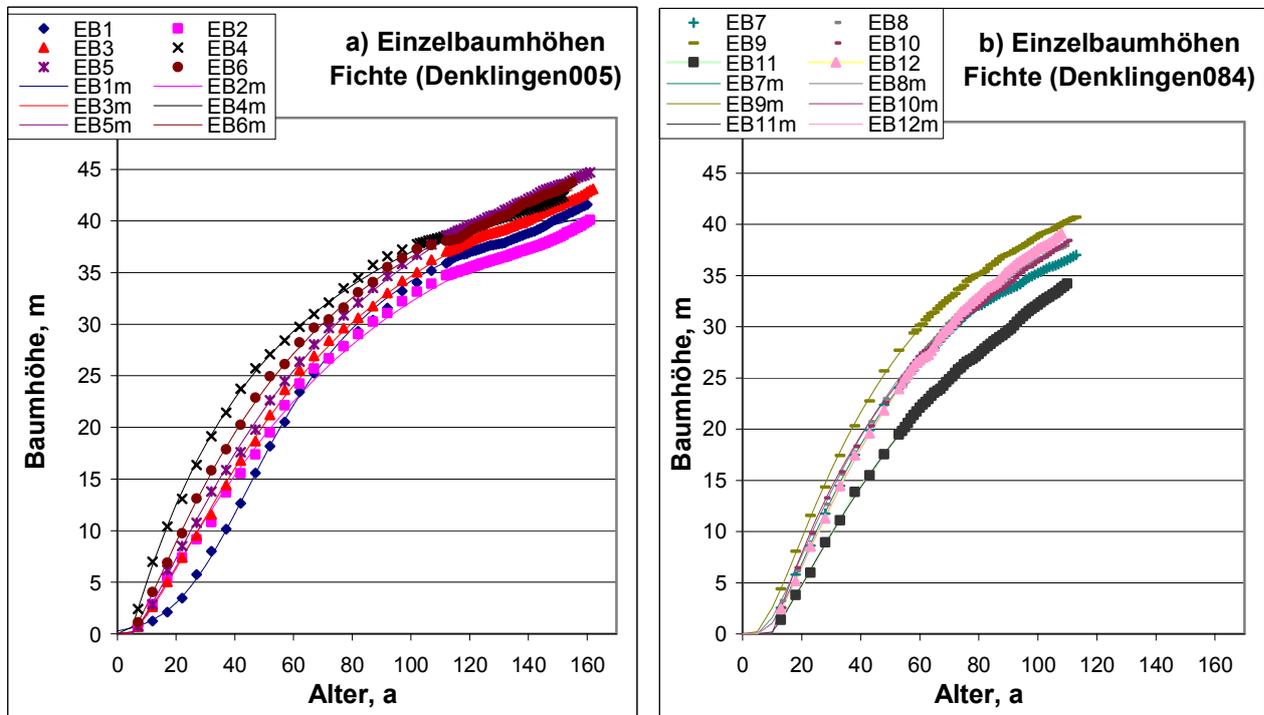
In Abb. 55a und b ist der Wachstumsverlauf der Einzelbäume anhand der Ausgangsdaten (als Punkte dargestellt) zum Vergleich mit dem berechneten Wachstumsverlauf unter Verwendung des Evolonmodells dargestellt. Die Abweichungen der Ausgangsdaten vom Modellverlauf sind wie bei den Einzelbäumen von v. GUTTENBERG (1915) relativ gering. Abb. 56 zeigt den transformierten Wachstumsverlauf der Einzelbäume 1-12 der Standorte Denklingen 005 und 084. Als Vergleich ist der Wachstumsverlauf der Oberhöhenbonität M40 und M36 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) nach der Transformation dargestellt. Wie erwartet ist auch bei den Einzelbäumen vom Standort Denklingen kein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf zu erkennen. Vor allem die Einzelbäume 4 und 10 weichen erheblich von den anderen Einzelbäumen ab. Diese Abweichung ist auch anhand der Parameterwerte des Evolonmodells für den Parameter κ zu erkennen. Während die meisten κ -Werte bei 0,3 liegen, gibt es bei den Einzelbäumen 4 und 10 erhebliche Abweichungen. Betrachtet man die κ -Werte und den transformierten Wachstumsverlauf der Einzelbäume genauer, wird ersichtlich, dass ein hoher κ -Wert einen „flachen“ und ein kleiner κ -Werte einen „steilen“ transformierten Wachstumsverlauf ergibt. Für die Einzelbäume 4 und 10 ist festzustellen, dass der Zeitpunkt des Zuwachsmaximums und die dabei erreichte Höhe möglicherweise nicht richtig mit Hilfe des Evolonmodells berechnet wurden.

Tab. 71: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-12 der Standorte Denklingen 005 und 084

Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E1	7-160 (5/1)	4,181476E-02	4,332160E-05	0,839834	47,6889	2,05847	23,0624	62
E2	7-161 (5/1)	3,580250E-02	3,223149E-03	0,177193	47,3148	1,25394	23,1353	62
E3	7-162 (5/1)	1,069295E-02	1,042156E-03	0,290606	51,8432	1,47196	24,7585	62
E4	7-152 (5/1)	8,752906E-03	1,725788E-04	0,083237	57,6638	2,10878	29,8379	62
E5	7-161 (5/1)	1,730832E-02	4,380153E-04	0,222913	59,1793	1,69199	26,161	62
E6	7-155 (5/1)	8,571522E-03	5,996450E-04	0,204187	54,6146	1,69162	27,7706	62
E7	13-113 (5/1)	4,012890E-03	4,876708E-04	0,313922	48,91	1,75715	27,143	62
E8	13-109 (5/1)	2,937777E-03	1,981240E-04	0,315663	54,0249	1,94041	28,025	62
E9	13-113 (5/1)	3,189063E-03	1,730417E-04	0,340131	55,4153	1,97074	30,4659	62
E10	13-110 (5/1)	2,975320E-03	2,545137E-04	0,032678	62,5089	1,96577	27,5976	62
E11	13-110 (5/1)	6,316501E-03	2,471026E-04	0,192919	57,6698	1,84398	22,5187	62
E12	13-108 (5/1)	4,257867E-03	4,819222E-04	0,255203	57,2122	1,69723	27,4746	62

Tab. 72: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-12 der Standorte Denklingen 005 und 084 mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E1	43,9353	13,8187	3,4510	2,4510
E2	18,5893	5,8582	8,0767	7,0767
E3	24,4468	8,5477	6,0651	5,0651
E4	6,7216	2,189654	26,3347	25,3347
E5	19,2280	6,889048	8,5903	7,5903
E6	15,1151	5,882256	9,2846	8,2846
E7	20,8798	7,413524	6,5974	5,5974
E8	19,9046	7,558984	7,1471	6,1471
E9	18,3700	8,156439	6,7941	5,7941
E10	5,2336	1,022125	61,1558	60,1558
E11	21,3976	5,462019	10,5583	9,5583
E12	21,5196	7,478241	7,6505	6,6505



**Abb. 55: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zwölf Einzelbäumen vom Standort Denklingen 005 im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zwölf Einzelbäumen vom Standort Denklingen 084 im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)**

Für die weiteren Untersuchungen an Einzelbäumen der Baumart Fichte wurden Einzelbäume des Standorts Weißwasser verwendet. Die Daten der Stammanalysen für die Einzelbäume wurden vom Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik (TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften) zur Verfügung gestellt. Die Wachstumsverläufe für zehn Einzelbaumhöhen wurden bereits durch MARSCHNER (1972) untersucht. Die Stammanalysen stammen aus dem Naturschutzgebiet „Urwald Weißwasser“. Die untersuchten Einzelbäume sind demnach autochthone Vorkommen für die Baumart Fichte und unter naturnahen Verhältnissen

aufgewachsen. Der größte Teil der analysierten Fichten ist aus Naturverjüngungen der Jahre 1824 bis 1839 hervorgegangen (MARSCHNER, 1972). Gefällt wurden die Probestämme 1964/65, so dass die Einzelbäume ein Alter zwischen 120 und 170 Jahre erreicht haben.

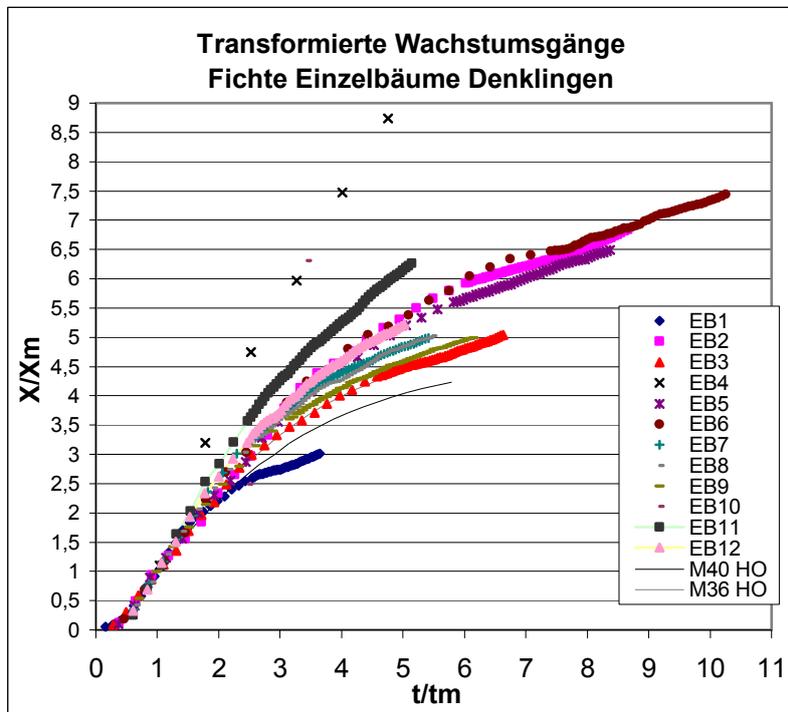


Abb. 56: Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte vom Standort Denklingen 005 und 084 nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Anhand dieser Erkenntnis ist davon auszugehen, dass die Einzelbäume unterschiedliche Wachstumsverläufe aufweisen, denn schon KRAMER (1979) stellte den differenzierten Wachstumsverlauf von „Uraltfichten“ dar. Die Daten der untersuchten Einzelbäume des Standorts Weißwasser sind in Tab. 112 und Tab. 113 des Anhangs angegeben. Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m konnten dann nach den Formeln (4.16) und (4.13) berechnet werden. Die Evolonmodellparameterwerte der 10 Einzelbäume (2-32) und die Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume sind in Tab. 73 und Tab. 74 angegeben. Der Wachstumsverlauf der Einzelbäume anhand der Ausgangsdaten (als Punkte angegeben) ist in Abb. 57a dargestellt. Zum Vergleich ist der mit Hilfe des Evolonmodells berechnete Wachstumsverlauf für die 10 Einzelbäume dargestellt (als Linie angegeben). Anhand der Ausgangsdaten ist erkennbar, dass die Einzelbäume einen recht unterschiedlichen Verlauf zeigen. Dementsprechend ist auch die Kulmination des Höhenzuwachses bzw. das Alter und die Höhe beim Zuwachsmaximum sehr unterschiedlich. Drei Einzelbäume zeigen ein verzögertes Wachstum und zwei Einzelbäume weisen ein stärkeres Höhenwachstum auf. Das verzögerte Wachstum kann durchaus auf eine Überschildung bzw. Beschattung in der Jugend zurückzuführen sein, wie es bei autochthonen Beständen vorkommt. Auch MARSCHNER (1972) führt die unterschiedlichen Wachstumsverläufe

der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser vor allem auf Lichtmangel zurück. Die Abweichungen der Ausgangsdaten vom Modellverlauf sind beim Standort Weißwasser höher als bei den vorangegangenen Einzelbäumen. Der transformierte Wachstumsverlauf der zehn Einzelbäume vom Standort Weißwasser ist in Abb. 57b dargestellt. Zum Vergleich oder zur Orientierung ist der Wachstumsverlauf der Standortsklasse 1 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation mit beigelegt. Interessanterweise liegen die transformierten Wachstumsverläufe für den Standort Weißwasser nicht so weit auseinander wie bei den Einzelbäumen von v. GUTTENBERG (1915) und vom Standort Denklingen.

Die Einzelbäume liegen mit ihrem transformierten Wachstumsverlauf alle unterhalb der Standortsklasse SK1. Demnach ist davon auszugehen, dass die Parameterwerte des Evolonmodells für κ höher als die der Standortsklasse 1 ($\kappa = 0,402635$) sind. In Tab. 73 werden die erwarteten hohen κ -Werte bestätigt. Vier κ -Werte liegen deutlich über 1, was der Interpretation des Wachstumsgangs von Bestandeshöhen der Baumart Fichte mittels des Evolonmodells durch MENDE und ALBRECHT (2001) widerspricht.

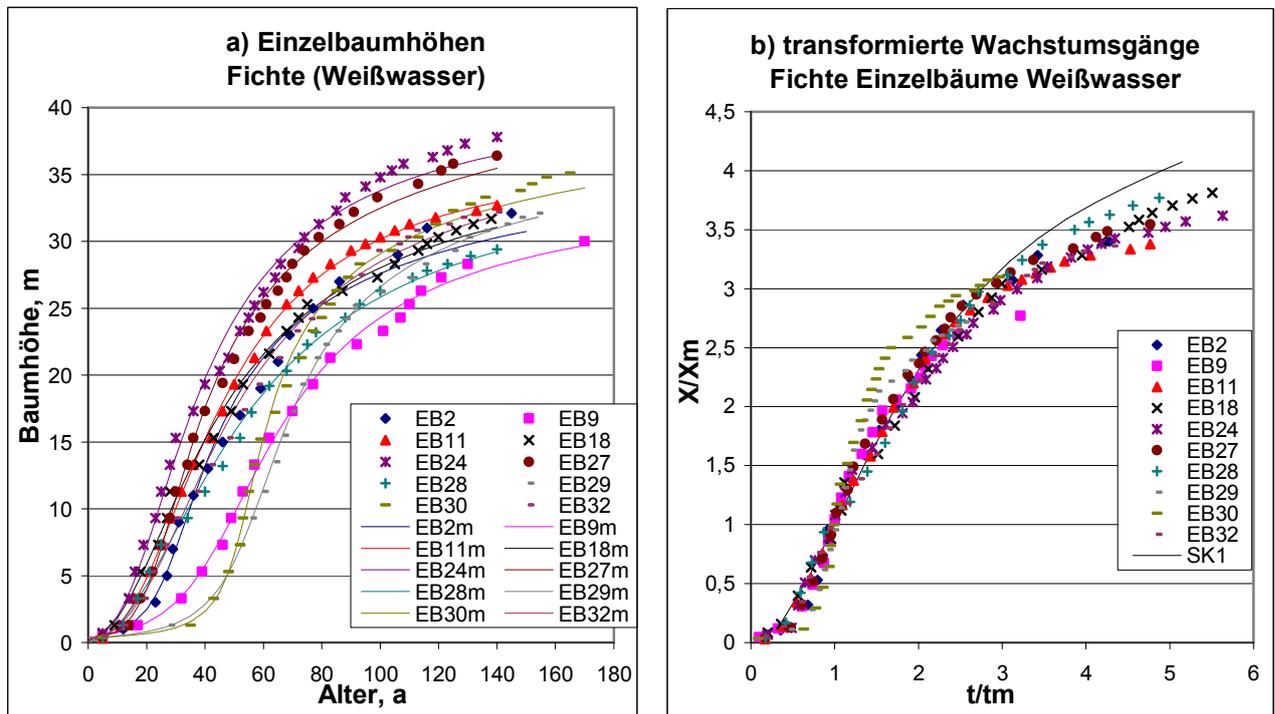
Um bei den Untersuchungen zu Einzelbäumen der Fichte auch junge Bestände zu betrachten, wurden Einzelbäume des Standorts Bärenstein einbezogen. Die Einzelbäume wurden ebenfalls vom Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik (TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften) zur Verfügung gestellt. Die Stammanalysen der Einzelbäume von Bärenstein wurden teilweise in den Untersuchungen von DIEN und VIET (1972) sowie von BERGMANN und HÄNEL (1973) verwendet. Interessant dabei ist, ob Erkenntnisse über junge Einzelbäume mit einer geringen Altersspanne gewonnen werden können.

Tab. 73: Parameter des Evolonmodells der zehn Einzelbäume (E2-E32) des Standorts Weißwasser

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E2	5-145	1,148657E-01	1,815820E-09	1,216535	45,9843	4,7088	21,0334	59
E9	5-170	3,091407E-02	5,660212E-06	1,113279	36,5311	2,6419	12,5937	57
E11	5-140	2,090989E-02	5,207148E-04	0,598126	37,0313	1,68897	23,2566	61
E18	5-138	8,227811E-02	4,102444E-05	0,619439	39,7742	2,34334	22,039	62
E24	5-140	3,848769E-01	8,398466E-05	0,696035	42,386	2,12808	26,4778	57
E27	5-140	8,616471E-02	2,931808E-08	1,007541	50,7774	3,97515	25,5114	59
E28	5-140	1,207268E-01	3,374898E-04	0,5006	36,0981	1,81588	17,5542	56
E29	5-154	1,545672E-02	5,012840E-08	1,417205	42,9458	3,72884	9,15393	56
E30	5-165	7,563985E-02	1,743300E-12	1,731482	51,6874	6,16731	12,6872	57
E32	5-140	1,009632E-01	1,947353E-05	0,731611	41,5776	2,44323	20,1386	58

Tab. 74: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der zehn Einzelbäume (E2-E32) des Standorts Weißwasser mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E2	33,8978	9,441072	4,8707	3,8707
E9	52,8339	10,8302	3,3731	2,3731
E11	29,3736	9,684515	3,8238	2,8238
E18	25,0470	8,315734	4,7830	3,7830
E24	24,8662	10,44651	4,0574	3,0574
E27	29,3582	10,26759	4,9454	3,9454
E28	28,7274	7,800931	4,6274	3,6274
E29	60,4413	11,82714	3,6311	2,6311
E30	55,5437	11,33031	4,5619	3,5619
E32	32,3933	9,581142	4,3395	3,3395



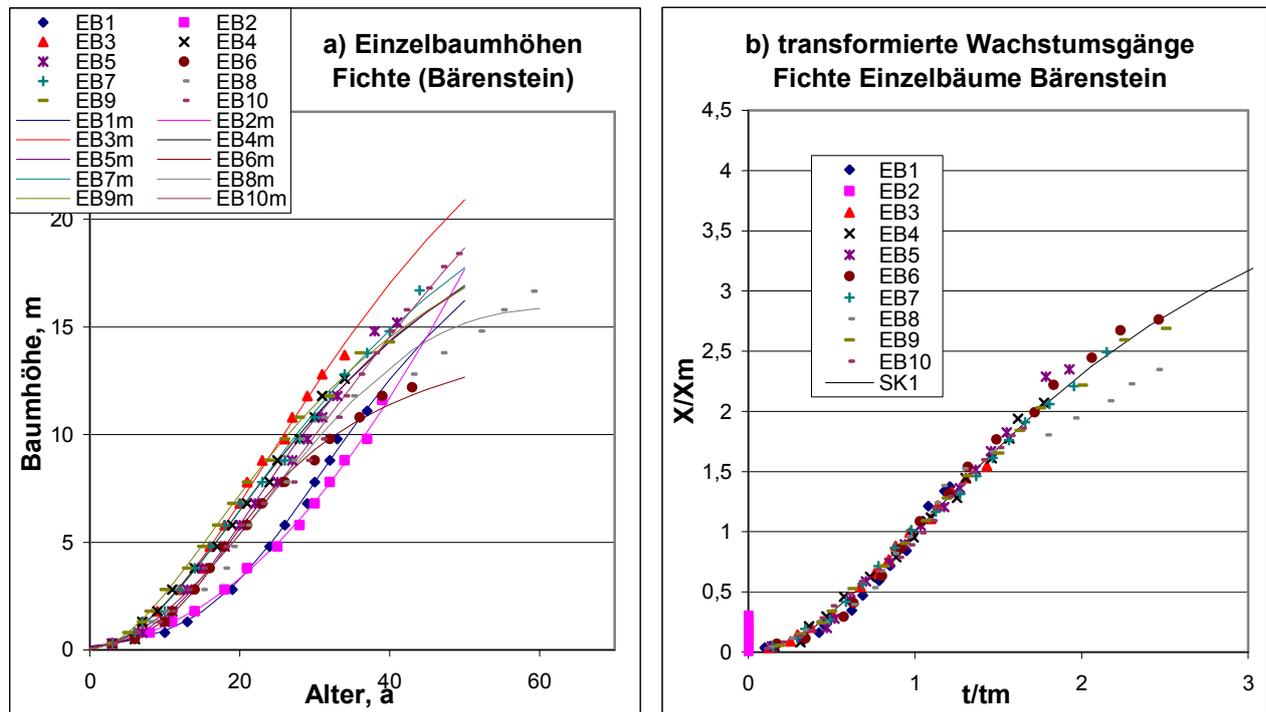
**Abb. 57: a) Wachstumsverlauf von zehn Einzelbaumhöhen (EB2-EB32) für Fichte des Standorts Weißwasser im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von zehn Einzelbaumhöhen (EB2-EB32) für Fichte des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells**

Tab. 75: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-10 des Standorts Bärenstein

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstands-funktion F	c	k	B [m]	l	X_s [m]	T_s [a]
E1	3-37	4,639106E-02	6,469115E-06	0,938636	32,9777	2,89284	3,65427	21
E2	3-39	9,458201E-03	2,213551E-03	0,569669	99,9982	0,91547	3,62022	21
E3	3-34	4,845425E-02	4,183214E-04	0,523352	38,8514	1,77275	7,36571	21
E4	3-41	2,333396E-01	2,312156E-04	0,532524	29,9811	2,09229	6,93198	21
E5	3-43	7,047758E-02	1,669745E-05	0,794853	29,4672	2,82567	5,8123	20
E6	3-43	3,872723E-02	6,176636E-07	1,052219	22,0061	4,19025	6,09344	21
E7	3-44	6,268399E-02	2,730701E-04	0,531135	31,92	1,9993	6,48209	20
E8	3-59	1,014353E-01	3,587819E-02	0,535501	15,9118	0,66547	5,78764	21
E9	3-40	1,819175E-02	9,297820E-04	0,447577	26,6304	1,79256	7,67415	21
E10	3-49	7,346368E-02	3,175330E-04	0,50203	44,1825	1,73852	5,39784	20

Tab. 76: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-10 des Standorts Bärenstein mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E1	30,5677	8,078883	4,0820	3,0820
E2	?	38,35723	2,6070	1,6070
E3	23,7474	8,855428	4,3873	3,3873
E4	19,1614	6,082581	4,9290	3,9290
E5	21,2685	6,469264	4,5550	3,5550
E6	17,4558	4,416869	4,9823	3,9823
E7	20,4591	6,699951	4,7642	3,7642
E8	24,0145	7,094916	2,2427	1,2427
E9	15,9443	5,320726	5,0050	4,0050
E10	29,8880	9,899782	4,4630	3,4630



**Abb. 58: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen des Standorts Bärenstein im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von zehn Einzelbäumen des Standorts Bärenstein nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells**

In Tab. 115 und Tab. 116 des Anhangs sind die Daten der untersuchten Einzelbäume vom Standort Bärenstein angeführt. Bei der Berechnung bzw. Anpassung der Baumhöhen für die Einzelbäume unter Verwendung des Evolonmodells (Formel (4.7)) wurden die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume 1-10 und die Transformationsparameter t_m und X_m erhalten. Diese sind in Tab. 75 und Tab. 76 angegeben. Bei den κ -Werten sind diesmal nur zwei größere Abweichungen bei den Einzelbäumen zu erkennen und bei den λ -Werten ebenfalls. Die Unterschiede bei den λ -Werten können auf das geringe Alter, auf das sich die Stammanalyse bezieht (Alterspanne der Messwerte), zurückgeführt werden.

In Abb. 58a ist anhand der Ausgangsdaten (als Punkte angegeben) der Wachstumsverlauf der Einzelbäume dargestellt. Wie bei den vorhergehenden Einzelbäumen ist auch der

Wachstumsverlauf, der mit Hilfe des Evolonmodells berechnet wurde, angeführt (als Linie angegeben). Auch hier (wie beim Standort Weißwasser) sind Abweichungen der Ausgangsdaten vom Modellverlauf ersichtlich. Den transformierten Wachstumsverlauf der Einzelbäume 1-10 zeigt Abb. 58b. zum Vergleich ist der transformierte Wachstumsverlauf der Standortsklasse 1 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) dargestellt. Durch den verkürzten Altersbereich sind große Schwankungen der Einzelbäume nicht zu erkennen. Zu Tab. 76 ist noch zu bemerken, dass für den Einzelbaum E2 kein Wert für t_m berechnet werden konnte, da der berechnete Wert für X_m außerhalb des angegebenen Altersbereiches liegt. Deshalb befinden sich in Abb. 58b Punkte des Einzelbaumes E2 auf der Achse X/X_m .

Für die Baumart Fichte wurden abschließend Einzelbäume vom Standort Willingen (nördliches hessisches Schiefergebirge) verwendet und der Arbeit bzw. den Untersuchungen von HERING (1994) entnommen. Die Zielsetzung der Untersuchungen von HERING (1994) war die Rekonstruktion von Wuchsentwicklungen der Baumarten Fichte und Rotbuche unter gegenseitiger unmittelbarer Konkurrenzeinwirkung innerhalb eines Mischbestandes. Die Daten wurden bereits von POLEY (2009) mit Hilfe der Polynommethode aus Kapitel 4.1 untersucht. Dabei zeigten sich konforme Ergebnisse wie bei den bereits vorgestellten Untersuchungen im Kapitel 4.1. Die Daten der drei Stammanalysen von HERING (1994) sind in Tab. 119 des Anhangs angegeben. In

Tab. 77 und Tab. 78 sind die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume 1-3 und die Transformationsparameter t_m und X_m aufgeführt. Der Wachstumsverlauf der Ausgangsdaten und der Wachstumsverlauf anhand der berechneten Werte mit Hilfe des Evolonmodells sind in Abb. 59a dargestellt. Die drei Einzelbäume zeigen einen ähnlichen Wachstumsverlauf zueinander, ohne größere Abweichungen vor dem Zuwachsmaximum. In Abb. 59b ist der transformierte Wachstumsverlauf der drei Einzelbäume dargestellt. Einzelbaum 2 weicht von Einzelbaum 1 und 3 erheblich ab. Dies ist auch am κ -Wert und λ -Wert der Tab. 77 zu erkennen. Als Vergleich ist in Abb. 59b der transformierte Wachstumsverlauf der Standortsklasse 1 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) mit dargestellt.

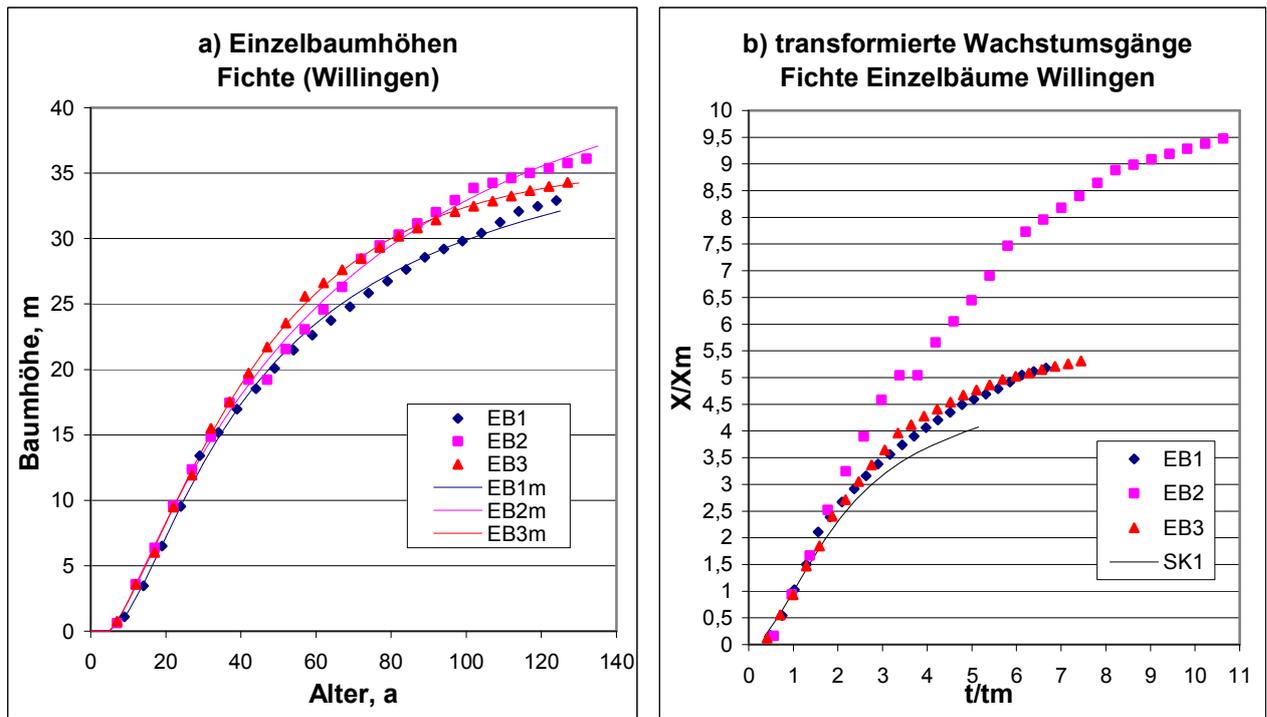


Abb. 59: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von drei Einzelbäumen des Standorts Willingen im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Fichte von drei Einzelbäumen des Standorts Willingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Tab. 77: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E1	9-124 (5)	1,694437E-02	4,011551E-05	0,409616	44,2045	2,43996	21,9881	54
E2	6-136 (5)	1,546570E-02	3,962447E-04	0,147448	51,5825	1,84849	20,6725	47
E3	7-127 (5)	9,817919E-03	1,125419E-02	0,232294	35,7645	1,0536	21,6853	47

Tab. 78: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E1	18,6256	6,354239	6,9567	5,9567
E2	12,4136	3,810613	13,5365	12,5365
E3	17,0477	6,460794	5,5356	4,5356

4.2.14 Einzelbäume Kiefer

Nach GLAß et. al. (1984) gehören die Bestände des Standorts Chorin zu den besten Standortsklassen der DDR-Kieferntragsstafel, welche von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) aufgestellt wurde und später als Ertragsstafel für Kiefer im nordostdeutschen Tiefland erneut aufgelegt wurde. Die Einzelbäume des Standorts Chorin 95 wurden mit in die Untersuchung aufgenommen, da auch die Baumart Kiefer in Deutschland zu den wichtigsten Wirtschaftsbaumarten zählt. Das

Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde stellte die Daten der Stammanalysen der Kieferneinzelbäume für den Standort Chorin zur Verfügung. Die Höhendaten und das zugehörige Alter sind in Tab. 120 des Anhangs aufgeführt. Anhand der Parameter des Evolonmodells in Tab. 79 sind starke Unterschiede zwischen den κ - und λ -Werten zu erkennen. Dies spiegelt sich auch in den Transformationsparametern t_m und X_m in Tab. 80 wider. Dabei zeigen vor allem die Einzelbäume 5 und 6 eine größere Abweichung zum allgemeinen Trend der Kieferneinzelbäume. In Abb. 60a sind die Wachstumsverläufe der Ausgangsdaten des Standorts Chorin im Vergleich zu den Wachstumsverläufen, welche mittels des Evolonmodells berechnet wurden, dargestellt.

Tab. 79: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-8 des Standorts Chorin

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E1	8-87	2,565198E-03	1,333878E-02	0,222654	32,6924	1,06712	16,66	34
E2	6-85	7,054494E-03	5,659447E-04	0,382706	38,0875	1,77411	16,6572	39
E3	7-112	1,821545E-02	6,503108E-08	0,972572	41,4838	3,99526	14,0995	34
E4	7-110	8,780539E-03	2,713038E-04	0,333283	41,9646	1,89219	13,56	38
E5	4-120	2,214519E-03	1,555293E-04	0,18329	43,3596	2,16212	16,958	39
E6	4-122	1,919081E-03	2,306080E-04	0,225242	39,874	2,0933	17,0319	39
E7	8-91	1,568015E-02	1,452681E-03	0,35496	29,087	1,68303	17,5289	47
E8	9-92	1,008476E-02	2,087988E-04	0,107264	38,3109	2,19004	17,351	51

Tab. 80: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-8 des Standorts Chorin mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E1	15,2799	5,6437	5,7927	4,7927
E2	17,8926	6,7582	5,6357	4,6357
E3	23,2185	8,1215	5,1079	4,1079
E4	20,0981	6,2845	6,6774	5,6774
E5	8,1971	3,3885	12,7962	11,7962
E6	9,1174	3,8737	10,2936	9,2936
E7	15,9517	5,0661	5,7415	4,7415
E8	10,2398	1,7888	21,4173	20,4173

Extreme Unterschiede in den Wachstumsverläufen der acht Einzelbäume sind nicht zu erkennen, obwohl der Höhenunterschied zwischen Einzelbaum 1 und Einzelbaum 8 bis zu fünf Meter beträgt. Die transformierten Wachstumsverläufe der Einzelbäume 1-8 sind in Abb. 60b abgebildet. Ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ist andeutungsweise zu erkennen obwohl dies kaum zu erwarten war. Die Streuung der transformierten Wachstumsverläufe ist jedoch sehr groß. Als Vergleich ist der transformierte Wachstumsverlauf der Bonität M34 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) mit dargestellt. Der transformierte Wachstumsverlauf von Einzelbaum 8 weicht erheblich von den anderen transformierten Wachstumsgängen der Einzelbäume 1-7 ab.

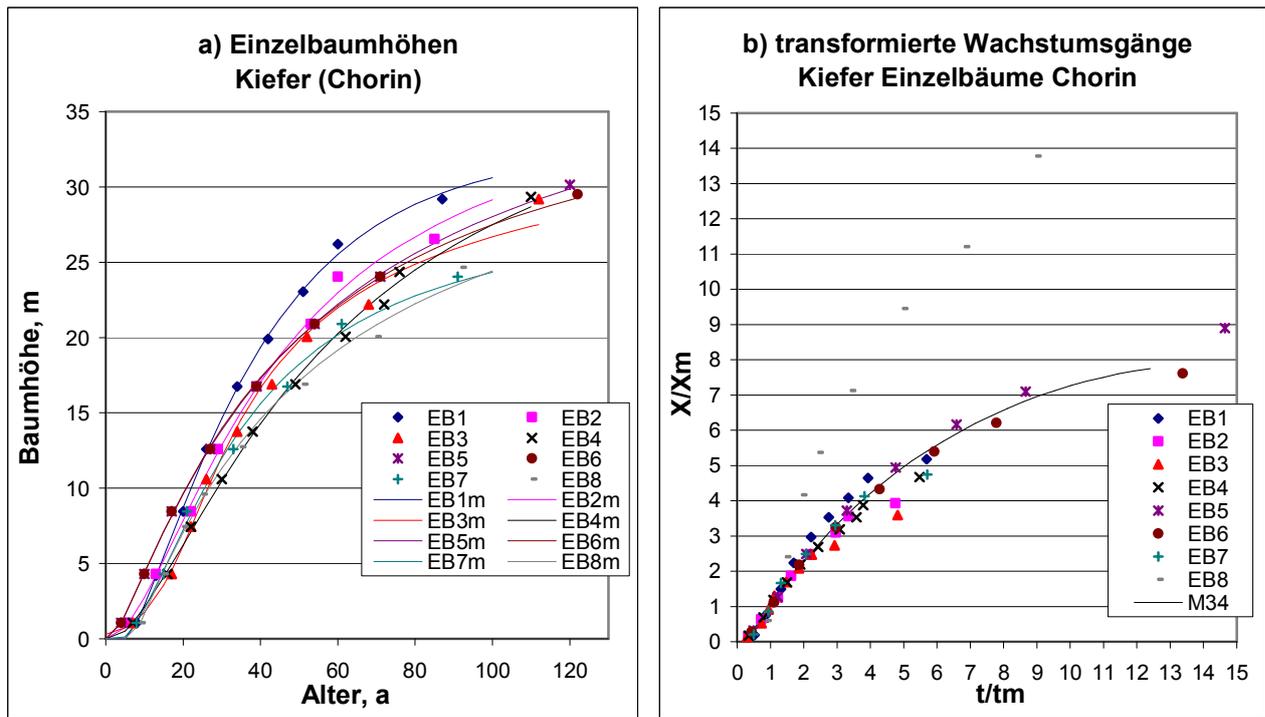


Abb. 60: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Kiefer von acht Einzelbäumen des Standorts Chorin im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Kiefer von acht Einzelbäumen des Standorts Chorin nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

4.2.15 Einzelbäume Buche

Einzelbäume der Baumart Buche waren zu Beginn der Untersuchungen nicht geplant bzw. in Betracht gezogen. Durch die Verwendung der Einzelbäume für die Baumart Fichte aus den Untersuchungen von HERING (1994) war es jedoch sinnvoll, die Stammanalysen der Bucheneinzelbäume mit zu verwenden und zu untersuchen, denn den jeweils drei Buchen und Fichten wurde eine enge Konkurrenz untereinander attestiert. Eventuell ergeben sich dabei interessante Ergebnisse. Bei der Bestandesbeschreibung zur Baumart Buche wurde nach HERING (1994) vermerkt, dass die Buchen stark gepflegt wurden, sodass sich die Bestandesanzahl der Buche zwischenzeitlich stark verringerte. Demnach war die Durchforstung der Bestände von einem Wechsel hin zur Buche und wieder zur Fichte geprägt. Die Daten der drei Stammanalysen von HERING (1994) sind Tab. 121 des Anhangs angegeben. In Tab. 81 und Tab. 82 sind die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume 1-3 und die Transformationsparameter t_m und X_m aufgeführt. Der Wachstumsverlauf der Ausgangsdaten und der Wachstumsverlauf anhand der berechneten Werte mit Hilfe des Evolonmodells sind in Abb. 61a dargestellt. Die drei Einzelbäume zeigen, wie die drei Einzelbäume der Baumart Fichte des Standorts Willingen, einen ähnlichen Wachstumsverlauf untereinander ohne größere Abweichungen vor dem Zuwachsmaximum. Im späteren Alter erscheinen jedoch Schwankungen im Wachstumsverlauf, was auf die schon erwähnte

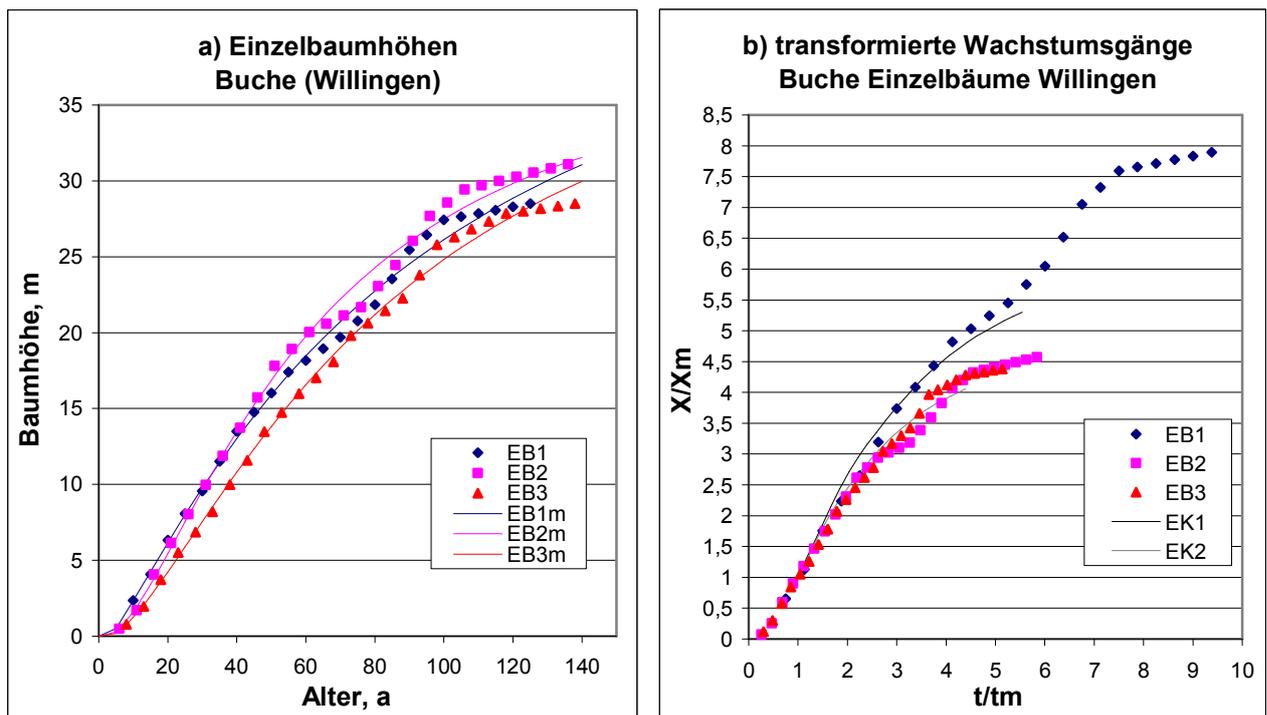
Durchforstung hindeuten kann. In Abb. 61b ist der transformierte Wachstumsverlauf der drei Einzelbäume dargestellt. Einzelbaum 1 weicht erheblich von Einzelbaum 2 und 3 ab. Auch hier ist die Abweichung anhand der κ -Werte in Tab. 81 zu erkennen. Zum Vergleich sind in Abb. 61b die Ertragsklassen 1 und 2 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967) mit dargestellt.

Tab. 81: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
E1	10-125 (5)	2,081753E-02	3,533068E-04	0,141671	49,1189	1,78527	15,9095	50
E2	7-132 (5)	4,277419E-02	6,389089E-04	0,337891	40,2984	1,66261	17,1796	51
E3	8-138 (5)	2,042968E-02	3,070813E-04	0,294871	45,3261	1,75958	14,6735	53

Tab. 82: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 1-3 des Standorts Willingen mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		(k+l)/k	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
E1	13,3283	3,6113	13,6015	12,6015
E2	23,2792	6,8065	5,9205	4,9205
E3	26,8644	6,5055	6,9673	5,9673



**Abb. 61: a) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Buche von 3 Einzelbäumen des Standorts Willingen im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
b) Wachstumsverlauf von Einzelbaumhöhen für Buche von 3 Einzelbäumen des Standorts Willingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells**

4.2.16 Einzelbäume Sumpflärche

Zur Erweiterung der Ergebnisse für die Einzelbäume von verschiedenen Baumarten wurde zusätzlich die Höhenentwicklung von drei Einzelbäumen der Sumpflärche herangezogen. Die Besonderheit dieser Einzelbäume begründet sich in der soziologischen Stellung, welche die Einzelbäume einnehmen. In KERKMANN (2001) sind für drei Einzelbäume der Sumpflärche drei unterschiedliche soziologische Stellungen im Bestandesgefüge angegeben. Einzelbaum 16 nimmt demnach eine „normale“ Stellung im Bestand ein, hat zwei Nachbarbäume im Abstand von drei Meter und einen mittleren Wuchsraum von 13,95 Quadratmeter. Einzelbaum 18 zählt zu den unterdrückten Bäumen, hat vier Nachbarbäume im Abstand von drei Meter und einen mittleren Wuchsraum von 10,34 Quadratmeter. Einzelbaum 51 ist dagegen solitärähnlich zu betrachten, hat einen Nachbarbaum im Abstand von drei Meter und einen mittleren Wuchsraum von 24,77 Quadratmeter. Die Sumpflärchen wurden 1954 in einem Saatbeet angezogen und 1957 auf die Versuchsfläche Schlitz gepflanzt (ca. 500 Stück). Die drei Einzelbäume wurden 1999 für wissenschaftliche Zwecke gefällt und eine Stammanalyse durchgeführt. Das Alter der Einzelbäume beträgt demnach 45 Jahre. Die Werte der Höhenentwicklung für die Baumart Sumpflärche sind in Tab. 122 des Anhangs zu finden.

Wie bereits erwähnt, ist es schwierig, die Höhenentwicklung für Einzelbäume unter Verwendung des Evolonmodells zu interpretieren. Jedoch ist für die Einzelbäume eine Aufzeichnung der Entwicklung vorhanden und eine Interpretation besser möglich. In Tab. 122 des Anhangs sind die Ausgangsdaten der Stammanalysen von KERKMANN (2001) angegeben. Die Evolonmodellparameterwerte der Einzelbäume EB 16, 18 und 51 sowie die Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume sind in Tab. 83 und Tab. 84 angegeben. In Abb. 62b ist der Wachstumsverlauf der drei Einzelbäume nach der Transformation dargestellt. Ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf ist nur ansatzweise für den Einzelbaum 16 im Vergleich zum Modellwert der Ertragsklasse 1 der europäischen Lärche (gekennzeichnet mit Lärche m) zu erkennen. Dies war jedoch nicht anders zu erwarten, denn wie man in Abb. 62a sieht, sind die Höhenentwicklungen der Einzelbäume unterschiedlich (Einzelbaum 16 und 51 verlaufen ähnlich, obwohl EB 51 als Solitär eingestuft wurde).

Tab. 83: Parameter des Evolonmodells der Einzelbäume 16, 18, 51 von Sumpflärche des Standorts Schlitz

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EB16	2-45 (1)	1,283743E-01	7,977310E-04	0,585013	27,4664	1,85755	13,9343	26
EB18	6-45 (1)	1,571921E-01	8,908970E-07	1,23283	29,0312	3,78995	15,3493	26
EB51	6-45 (1)	6,249343E-02	1,023380E-03	0,15415	37,7564	1,76282	17,6282	26

Tab. 84: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Einzelbäume 16, 18, 51 des Standorts Schlitz mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Evolonmodell		$(k+1)/k$	l/k
	t_m [a]	X_m [m]		
EB16	13,6301	6,5784	4,1752	3,1752
EB18	16,6026	7,1256	4,0742	3,0742
EB51	9,9562	3,0361	12,4357	11,4357

Interessant sind jedoch auch die Parameterwerte für κ , denn dieser Wert beschreibt vor allem das Wachstum vor dem Zuwachsmaximum der Höhe. Dabei wurde zunächst erwartet, dass die κ -Werte unter dem Wert 1 liegen. Dies trifft für den Einzelbaum 18 jedoch nicht zu. Wie schon bei den Einzelbäumen der Fichte von Weißwasser erwähnt zeigen die Bäume, welche ein unterdrücktes Wachstum in der Aufschwung- bzw. Beschleunigungsphase aufweisen, eine deutliche Abweichung des κ -Wertes von den anderen Einzelbäumen. Der κ -Wert dieser Einzelbäume liegt an der Grenze zum Wert 1 oder darüber.

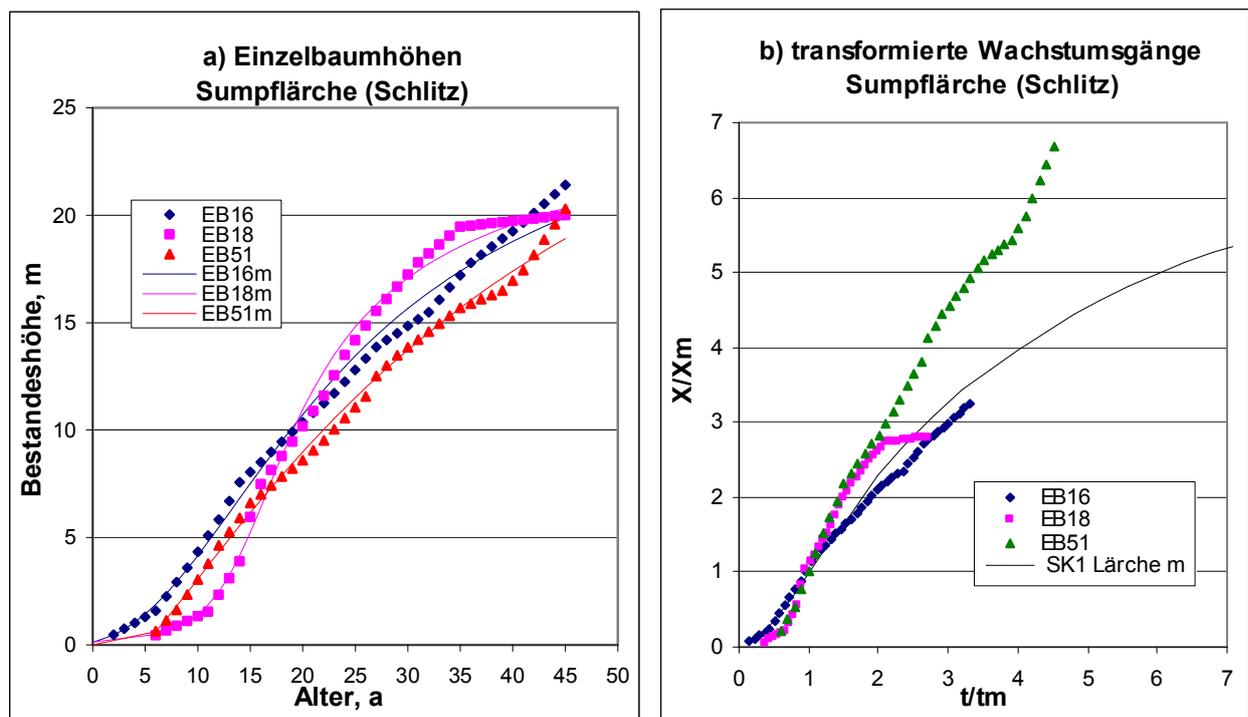


Abb. 62: a) Höhenentwicklung für Sumpflärche der Einzelbäume 16, 18, 51 aus der Untersuchung von KERKMANN (2001) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Höhenentwicklung für Sumpflärche der Einzelbäume 16, 18, 51 aus der Untersuchung von KERKMANN (2001) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

5 Diskussion

Für die Diskussion sollen im Weiteren die dargestellten Ergebnisse an bestimmten Beispielen noch etwas näher betrachtet werden.

Im ersten Teil der Untersuchungen wurden Ertragstafelwerte und Werte von Einzelbäumen des Wachstumsindikators Höhe mit Hilfe eines Polynoms 3. Grades untersucht. Die Bestimmung der Höhe X_m und des Alters t_m beim Zuwachsmaximum war dabei von besonderer Wichtigkeit, um in einem zweiten Schritt mit Hilfe der Transformationsparameter t_m und X_m einen transformierten Wachstumsverlauf für die einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten und für Einzelbäume zu erhalten.

Im zweiten Teil wurden dieselben Daten genutzt, um den Wachstumsverlauf von Beständen bzw. Ertragstafelwerten und Einzelbäumen mit Hilfe des Evolonmodells anzupassen und ebenfalls die Transformationsparameter t_m und X_m zu bestimmen.

Auf eines muss an dieser Stelle jedoch hingewiesen werden. Die Daten der Mittel- und Oberhöhen von den verwendeten Ertragstafeln geben lediglich eine Entwicklung der Höhe bzw. der Wachstumskenngröße in den einzelnen Ertragsklassen oder Bonitäten wieder. Demnach sind die Daten aus Ertragstafeln aus unechten Zeitreihen abgeleitet und zeigen nur eine grobe Näherung zur Realität. Dagegen sind die Daten bzw. Werte der Wachstumskenngröße von Einzelbäumen dynamische Daten. Bei diesen Daten ist von einem tatsächlichen Wachstumsgang auszugehen. Ein Einzelbaum wiederum kann jedoch nur einen einzelnen Wachstumsgang darstellen, der stark oder schwach von Störungen beeinflusst wurde. Demnach sollte ein Mittelwert von mindestens zehn Einzelbäumen der entsprechenden Kenngröße des Wachstums gebildet werden, um eventuelle Störungen auszugleichen. Da Einzelbäume eines Standorts nicht immer in genügender Anzahl vorhanden waren, wurde versucht, ein Ergebnis auch mit weniger Werten von Einzelbäumen zu erhalten.

5.1 Vergleich der verschiedenen Baumarten

Der Vergleich des transformierten Wachstumsverlaufs von Ertragsklassen bzw. Bonitäten verschiedener Baumarten unter Verwendung der modellunabhängigen Methode (Polynom) wurde bereits in MIßBACH, ALBRECHT, RÖHLE, GEROLD (2010) für ausgewählte Baumarten dargestellt. In Abb. 63 ist der transformierte Wachstumsverlauf für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität dargestellt. Die Bezeichnung S32, M36, L38 steht für das schnelle, mittlere und langsame System der DDR-Fichtenertragstafel. Die Parameter der Polynommethode und die Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen bzw. Bonität sind im Kapitel 4.1

zu finden. Die transformierten Wachstumsverläufe für verschiedene Baumarten mit Hilfe der Polynommethode (Polynom dritten Grades) liegen in Abb. 63 nah beieinander. Wie bereits bei den Einzelbäumen gesehen wurde, ist bei der besten Ertragsklasse bzw. Bonität der transformierte Wachstumsverlauf für verschiedene Baumarten und speziell für die Baumarten Fichte, Roteiche, Tanne, Douglasie und Rotbuche recht einheitlich. Dies kann möglicherweise an der Bestimmungsmethode der Transformationsparameter t_m und X_m liegen. Prinzipiell ist für die Polynommethode der einzelnen Baumarten im Kapitel 4.1 ersichtlich, dass die Ertragsklassen bzw. Bonitäten innerhalb der Baumart relativ gut zusammenfallen und einen einheitlichen Wachstumsverlauf nach der Transformation aufweisen. Die Bonität M34 der Baumart Kiefer weicht jedoch erheblich vom transformierten Wachstumsverlauf der anderen Baumarten ab. Dabei kann festgestellt werden, dass die Baumart Kiefer einen transformierten Wachstumsverlauf zeigt, der nicht vergleichbar mit den anderen transformierten Wachstumsverläufen der verschiedenen Baumarten in Abb. 63. ist. Diese Abweichungen ergeben sich vor allem aus dem frühen Zeitpunkt der Kulmination des Höhenwachstums und der dabei erreichten Bestandeshöhe, welche zum Zeitpunkt der Kulmination gering ist.

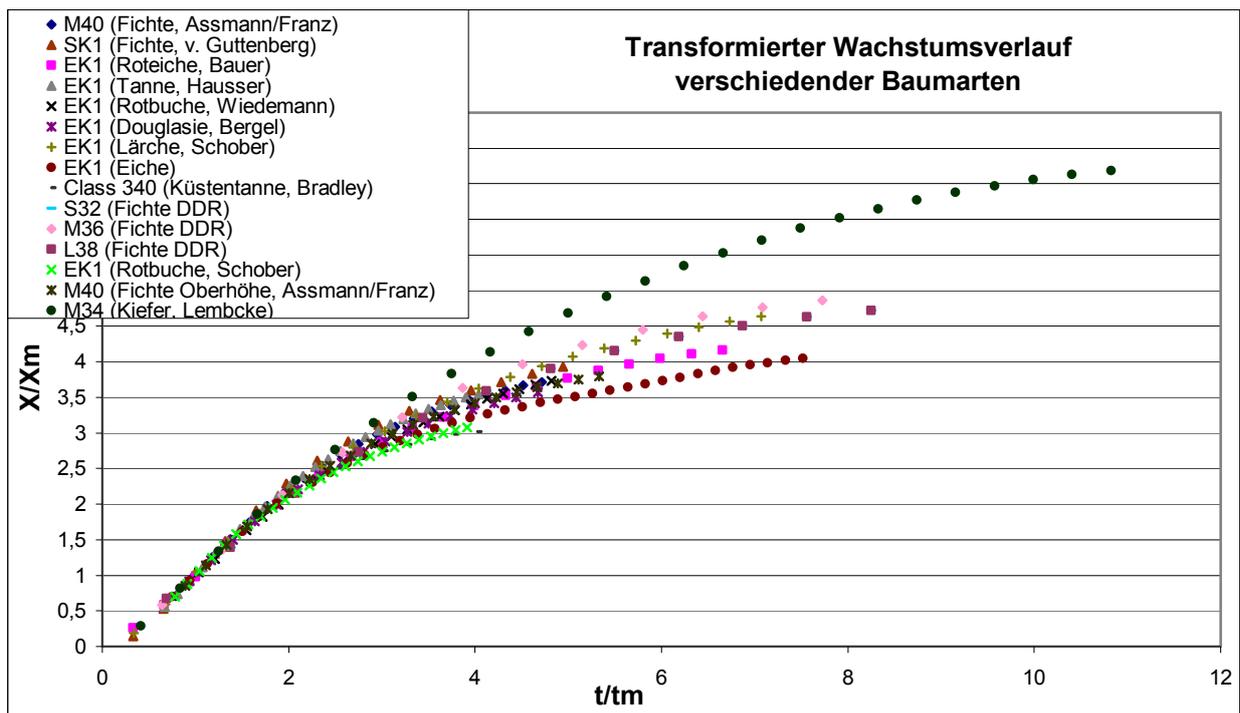


Abb. 63: Wachstumsverlauf von Bestandesmittel- und -oberhöhen für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität nach der Transformation unter Verwendung des Polynoms

Die Darstellung der transformierten Wachstumsverläufe für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität unter Verwendung des Evolonmodells zur Bestimmung der Transformationsparameter t_m und X_m sollte zur Bestätigung der Eingangshypothese auf ein ähnliches Ergebnis führen, wie in Abb. 63 dargestellt. In Abb. 64 ist der transformierte Wachstumsverlauf für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität unter

Verwendung des Evolonmodells abgebildet. Dabei ist zu erkennen, dass die transformierten Wachstumsverläufe der einzelnen Baumarten in Abb. 64 eine größere Streuung als in Abb. 63 zeigen. Diese Unterschiede sind auf die beiden Methoden zurückzuführen, womit die Transformationsparameter t_m und X_m erhalten wurden. Die Abweichungen innerhalb der einzelnen Baumarten zwischen Polynom- und Evolonmodell-Methode wurden bereits in Kapitel 4.2 für die verschiedenen Baumarten dargestellt. Die Abweichungen sind auch anhand der Unterschiede bei den Transformationsparametern t_m und X_m festzustellen. Mit welcher Methode die Werte für t_m und X_m genauer bestimmt wurden, lässt sich derzeit noch nicht beurteilen.

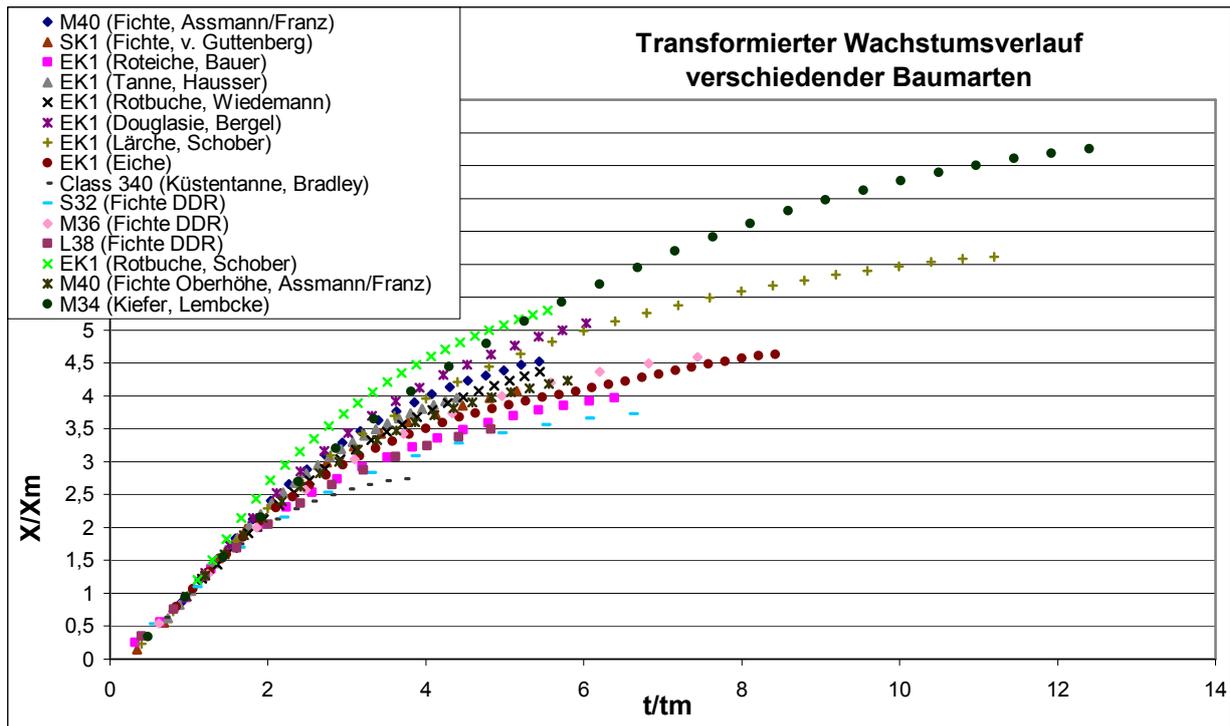


Abb. 64: Wachstumsverlauf von Bestandesmittel- und -oberhöhen für verschiedene Baumarten der besten Ertragsklasse bzw. Bonität nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Die Mittelwerte der Einzelbäume für verschiedene Standorte der Baumart Fichte sind in Tab. 117 und Tab. 118 des Anhangs angegeben. In Tab. 85 und Tab. 86 sind die Evolonmodellparameterwerte der Mittelwerte der untersuchten Fichteneinzelbäume und die Transformationsparameter t_m und X_m aufgeführt. Der Wachstumsverlauf der Ausgangsdaten und der Wachstumsverlauf anhand der berechneten Werte mit Hilfe des Evolonmodells sind in Abb. 65a dargestellt. In Abb. 65b ist der transformierte Wachstumsverlauf für Mittelwerte der Fichteneinzelbäume verschiedener Standorte dargestellt. Wie zu erwarten war, weichen die transformierten Wachstumsverläufe des Standorts Denklingen deutlich von den anderen Mittelwerten der Fichteneinzelbäume ab. Diese Abweichung ist vor allem auf Standortsveränderungen zurückzuführen (RÖHLE, 1995). Die Standortsveränderungen bei Denklingen sind konform mit den Abweichungen unter Verwendung der Polynommethode in

Kapitel 4.1.11. In Abb. 66a ist auch die Abweichung des transformierten Wachstumsverlaufs der Standorte 005 und 084 von Denklingen im Vergleich zur Mittelhöhe der Bonität M40 und Oberhöhe der Bonitäten M36 aus der Ertragstafel ASSMANN/Franz (1972) dargestellt.

Tab. 85: Parameter des Evolonmodells der Mittelwerte von Einzelbäumen verschiedener Standorte

Standort	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
EB1-10 SK1 (Guttenberg)	10-130 (10)	3,232564E-04	3,275050E-04	0,471382	46,6468	1,74653	23,9278	60
Denklingen005	7-152 (5/1)	1,289946E-02	9,991902E-06	0,307275	67,0378	2,51154	32,0828	87
Denklingen084	13-108 (5/1)	8,129200E-04	5,885416E-09	0,36637	85,5793	4,07785	27,1758	62
EB1-10 (Weißwasser)	5-135 (5)	4,153627E-02	2,243442E-04	0,643158	39,8517	1,79522	17,8395	55
L-System (Weißwasser)	5-135 (5)	6,306114E-02	3,445489E-05	1,298479	33,6285	2,11809	10,1163	55
M-System (Weißwasser)	5-135 (5)	1,516004E-02	6,890910E-07	0,794314	48,5994	3,23067	21,4207	55
S-System (Weißwasser)	5-135 (5)	8,082886E-02	1,019535E-06	0,692538	47,6445	3,18872	21,1405	55
M-System2 (Weißwasser)	5-135 (5)	5,229571E-02	6,893938E-06	0,67225	44,754	2,72737	20,7206	55
Bärenstein	5-40 (5)	1,536610E-03	8,553510E-04	0,588216	26,814	1,7114	5,52545	20

Tab. 86: Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Mittelwerte von Einzelbäumen verschiedener Standorte mit Hilfe des Evolonmodells sowie die berechneten Werte für t_m und X_m mit Hilfe der Polynommethode zum Vergleich

Bonität	Evolonmodell		(k+1)/k	l/k	Polynom	
	t_m [a]	X_m [m]			t_m [a]	X_m [m]
EB1-10 SK1	28,6428	9,9141	4,7051	3,7051	29,93096722	10,31621445
Denklingen005	19,7039	7,307681	9,1736	8,1736	21,13843612	7,68814780
Denklingen084	19,8928	7,054936	12,1304	11,1304	23,58596075	9,02787045
Weißwasser	37,2392	10,51148	3,7913	2,7913		
L-System	59,6137	12,78063	2,6312	1,6312		
M-System	29,8081	9,590893	5,0672	4,0672		
S-System	25,1817	8,501278	5,6044	4,6044		
M-System2	27,2209	8,849773	5,0571	4,0571		
Bärenstein	23,0042	6,8587	3,9095	2,9095		

Von großem Interesse sind die Mittelwerte der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser in Abb. 66b, die in einem „Urwald“ unter Naturverjüngung aufgewachsen sind. Die Ergebnisse der Einzelbäume wurden im Kapitel 4.2.13 bereits vorgestellt. Die Fichteneinzelbäume wurden anhand ihres Wachstumsverlaufs in Gruppen für schnelles (S-System), mittleres (M-System) und langsames (L-System) Wachstum entsprechend der Systemklassifizierung nach WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) zusammengefasst und daraus die Mittelwerte der einzelnen Gruppen gebildet. Dementsprechend ist, wie in Abb. 67a ersichtlich, eine Abweichung des transformierten Wachstumsverlaufes der einzelnen Gruppen zu erwarten. Anhand der Parameter des Evolonmodells in Tab. 85 sind die Abweichungen in den Parameterwerten für κ erkennbar. Das langsame Wachstum bzw. System zeigt dabei einen κ -Wert über 1. Dieses Ergebnis ist konform mit

den Ergebnissen der Einzelbäume für die Baumart Fichte des Standorts Weißwasser und der Baumart Sumpflärche des Standorts Schlitz. Dies bedeutet, wenn der Parameterwert κ nach der Anpassung des Wachstumsverlaufs mit Hilfe des Evolonmodells einen Wert über 1 erreicht, ist davon auszugehen, dass der Wachstumsverlauf in der Jugend verzögert bzw. gebremst wurde.

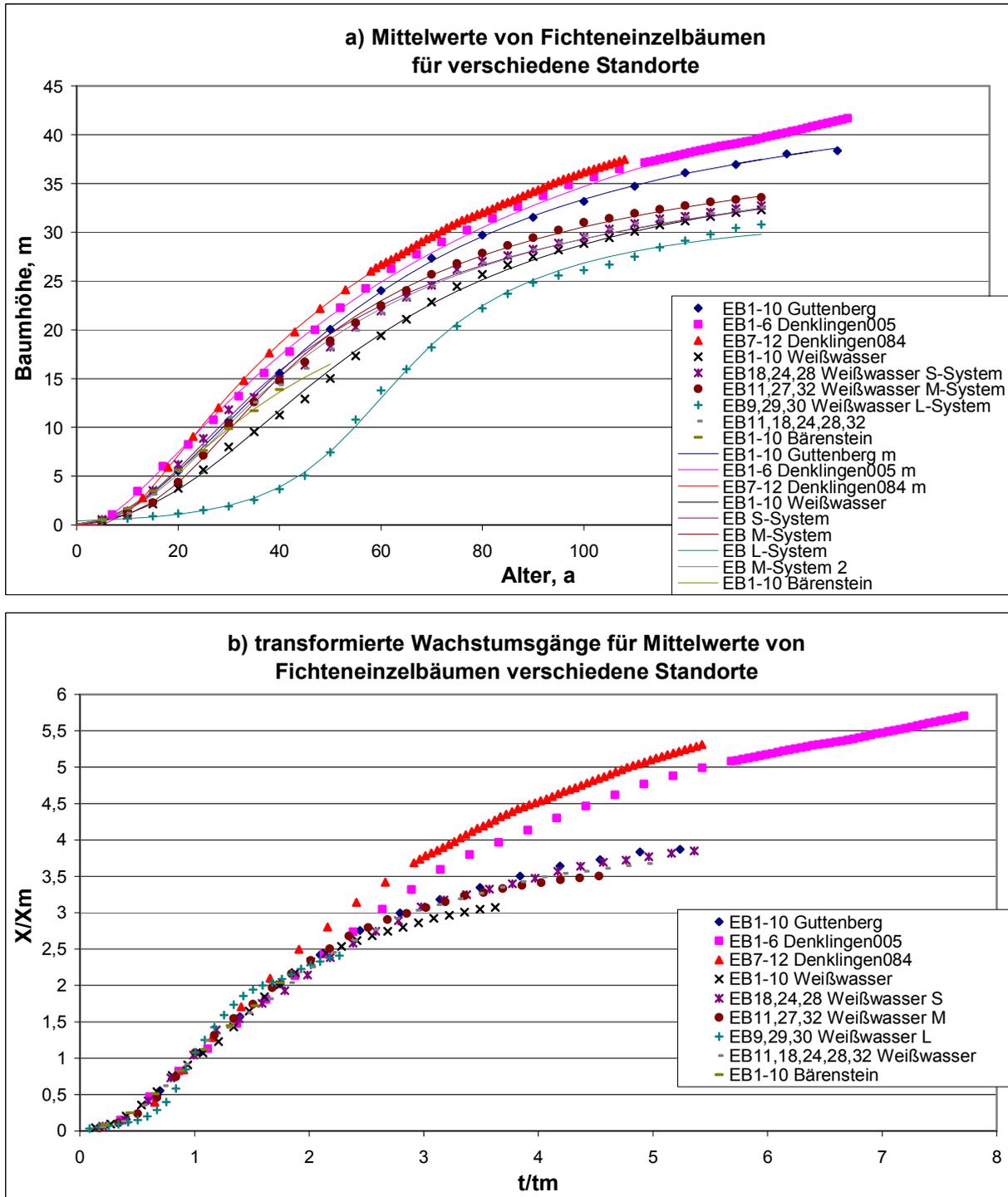


Abb. 65: a) Höhenentwicklung für Mittelwerte der Fichteneinzelbäume verschiedener Standorte im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)
 b) Höhenentwicklung für Mittelwerte der Fichteneinzelbäume verschiedener Standorte nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

Für die Auswahl der Einzelbäume für das langsame System wurden Einzelbäume bevorzugt, die in ihrem Wachstumsverlauf gestört bzw. verzögert wurden. Durch eine Störung können sich dadurch ungewöhnliche Parameterwerte ergeben. Die Voraussetzung für die Anwendung des Evolonmodells ist ungestörtes Wachstum. Nimmt man aus einem Gesamtensemble nur die Einzelbäume heraus, die zum langsamen System gehören, so sind dies mit großer Wahrscheinlichkeit Einzelbäume die an ihrem Wachstum gehindert wurden. Für solche Bäume ist das Evolonmodell nach MENDE und ALBRECHT (2001) nicht sinnvoll anwendbar.

Diese Erkenntnis widerspricht nicht der Klassifikationshypothese des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985). Es widerspricht jedoch der Aussage von MENDE und ALBRECHT (2001), welche das Baumwachstum in der Jugend- bzw. Beschleunigungsphase anhand der Interpretation der Klassifikationshypothese des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) als einen zielgerichteten, programmierbaren, planbaren, wiederholbaren Prozess beschreibt und damit der κ -Wert unter 1 sein muss. Der κ -Wert über 1 beschreibt anhand der Klassifikationshypothese des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) einen evolutionsartigen, unikalen, nicht zielgerichteten und nicht programmierbaren Anpassungsprozess. Wenn die Parameter anhand der Klassifikationshypothese richtig gedeutet werden, lassen die Ergebnisse der Untersuchungen keinen anderen Schluss zu.

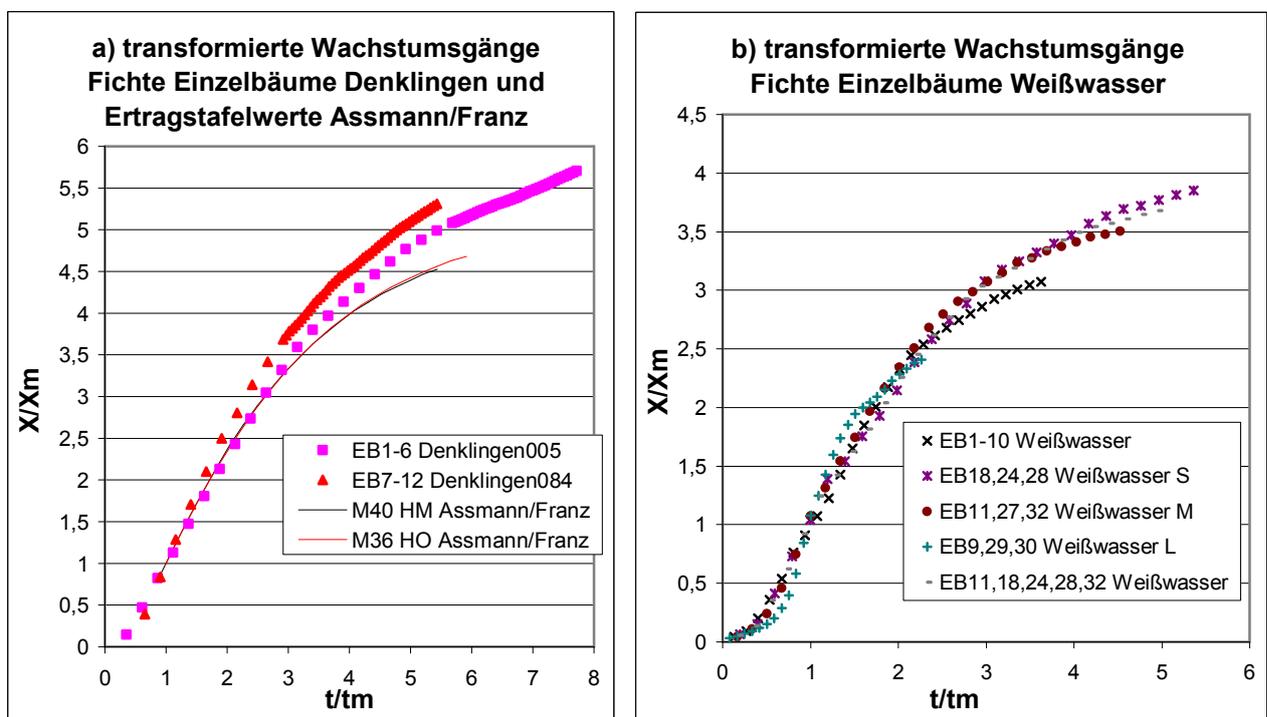


Abb. 66: a) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Denklingen nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells im Vergleich zu den Oberhöhenbonitäten M40 und M36 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972)
 b) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells

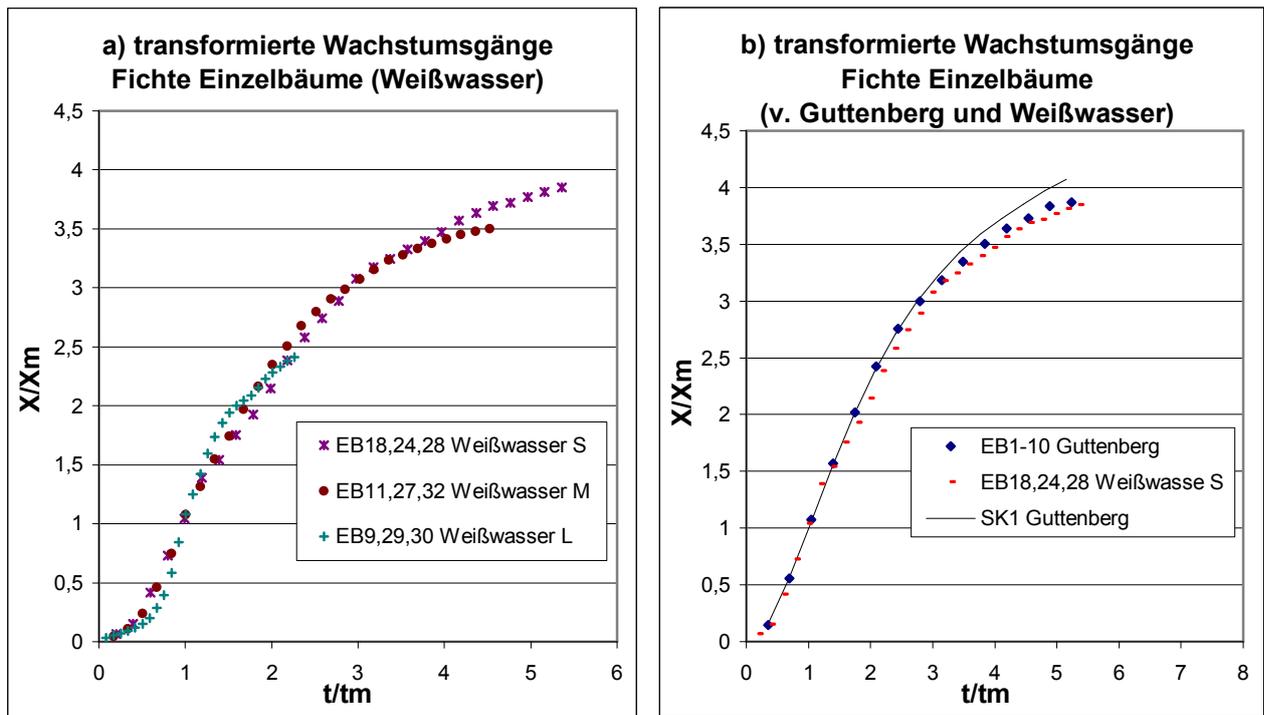


Abb. 67: a) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells
 b) Höhenentwicklung von Mittelwerten der Fichteneinzelbäume des Standorts Weißwasser nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells im Vergleich mit den Mittelwerten der Einzelbäume und der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915)

In Abb. 67b sind die transformierten Wachstumsverläufe der Mittelwerte von Einzelbäumen (aus Standortklasse 1) und den Ertragstafelwerten der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) im Vergleich mit den transformierten Wachstumsverläufen der Einzelbäume des Standorts Weißwasser für das schnelle Wachstum bzw. S-System dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass das S-System einen einheitlichen transformierten Wachstumsverlauf mit dem transformierten Wachstumsverlauf für den Mittelwert der Einzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) ergibt. Zu erkennen ist außerdem, dass der transformierte Wachstumsverlauf der Standortklasse 1 der Ertragstafelwerte von v. GUTTENBERG (1915) über den transformierten Wachstumsverlauf des Mittelwerts der Einzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) liegt. Anhand der Werte für den Parameter für κ in Tab. 85 und Tab. 34 ist das graphische Ergebnis auch an den Zahlenwerten nachzuvollziehen. Je höher (hin zu 1) die κ -Werte sind, umso flacher wird der transformierte Wachstumsgang und je kleiner (weg von 1) die κ -Werte werden, umso höher wird der transformierte Wachstumsgang in Bezug auf die X'-Achse (X/X_m) (siehe Abb. 67b).

Aus der Abb. 67b stellt sich die Frage, warum sich die Abweichungen des transformierten Wachstumsverlaufes der Ertragstafelwerte der Standortklasse 1 von dem Mittelwert der Einzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) ergeben. Hierbei ist es durchaus möglich, dass die κ -Werte des Wachstumsverlaufes der Ertragstafel nicht exakt bestimmt werden konnten, da die Höhen- und Altersangabe erst ab zehn Jahre beginnt. Somit liegen ca. zwei Werte vor dem

Zuwachsmaximum. Bei den Mittelwerten der Fichteneinzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) sind es jedoch auch nur zwei Werte. Zu erklären ist die Abweichung auch anhand der Erstellung des Bonitäts- bzw. Standortklassenfächers der Ertragstafel. Die Mittelwerte der Fichteneinzelbäume stellen einen dynamischen und tatsächlichen Wachstumsverlauf dar. Das Höhenwachstum ist innerhalb eines Jahres ein variabler Vorgang. Das Wachstum ist demnach nicht stetig und vollzieht sich in Schüben (MITSCHERLICH, 1970). Ähnlich vollzieht sich dies im Lebenslauf des Baumes, sodass der Baum auf verschiedene Einflüsse reagieren muss oder kann. Um Bestände in Ertragsklassen bzw. Bonitäten einordnen zu können, wurden für die Ertragstafeln Bonitäts- bzw. Standortklassenfächer der Mittel- oder Oberhöhe gebildet bzw. festgelegt. Bestände, deren Wachstumskenngroße innerhalb einer bestimmten Zeit ähnliche Entwicklungen zeigen, können einer Wuchsreihe und damit einer Ertragsklasse bzw. Bonität zugeordnet werden (ASSMANN, 1961). Je kürzer die Zeitspanne ist, umso schwieriger wird diese Einordnung.

Wird davon ausgegangen, dass die Wuchsreihe der Standortklasse 1 von v. GUTTENBERG (1915) bzw. der Standortklassenfächer zu hoch festgelegt wurde, dann ist die Abweichung des transformierten Wachstumsverlaufes der Ertragstafelwerte der Standortklasse 1 vom transformierten Wachstumsverlauf des Mittelwertes der Fichteneinzelbäume von v. GUTTENBERG (1915) zu erklären. Ertragstafeln der jungen Generation ist meist eine Wachstumsfunktion für das Höhenwachstum zugrunde gelegt. Der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) ist beispielsweise nach WENK, ANTANAITIS, ŠMELKO (1990) die BACKMAN-Funktion und der DDR-Kiefern-ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) nach LOCKOW (2014) eine logarithmische Funktion hinterlegt.

Tab. 87: Parameter des Evolonmodells der Mittelhöhenbonitäten M34-M12 von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR

Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	Xs [m]	Ts [a]
M34	5-100 (5)	1,801544E-04	3,36967E-04	0,168830	53,2898	1,85696	22,9714	50
M32	5-100 (5)	3,350747E-04	6,54359E-04	0,176802	48,0297	1,711	21,486	50
M30	5-100 (5)	5,255312E-05	1,51202E-03	0,136140	44,0555	1,5247	19,9453	50
M28	5-100 (5)	2,436956E-04	3,70463E-04	0,182640	45,2673	1,8469	18,4616	50
M26	5-100 (5)	7,400009E-04	3,08638E-04	0,210009	42,5304	1,8923	16,9645	50
M24	5-100 (5)	1,029219E-04	5,48828E-04	0,168906	39,9885	1,75649	15,4175	50
M22	5-100 (5)	5,525087E-04	6,98085E-04	0,202704	35,9536	1,69708	13,9282	50
M20	5-100 (5)	2,102183E-04	7,18761E-04	0,225290	33,0531	1,6878	12,4264	50
M18	5-100 (5)	1,631422E-03	6,42077E-04	0,274030	29,9994	1,715	10,9187	50
M16	10-100 (5)	4,332576E-04	4,32901E-04	0,274642	29,3718	1,80225	9,39488	50
M14	10-100 (5)	3,275210E-04	5,73796E-04	0,291628	26,1612	1,73154	7,88078	50
M12	10-100 (5)	1,290306E-03	4,40914E-04	0,469831	20,5135	1,86967	6,4126	50

Für die Untersuchungen zur Baumart Kiefer sei noch erwähnt, dass bei der Einschränkung des Wertebereiches aus der Ertragstafel von 5-130 Jahren bzw. 5-140 Jahren auf 5-100 Jahre, die λ -Werte in Tab. 87 eher gleichbleibend sind bzw. nicht zu weit voneinander abweichen, als die Werte

für λ in Tab. 61. Die Besonderheit besteht darin, dass für die verwendeten Kiefernwachstumsgänge die Zuwächse beginnend etwa vom Alter 100 Jahre deutlich schneller kleiner werden als dies bei allen anderen betrachteten Baumarten der Fall ist (siehe Abb. 95). Dieser Unterschied wird auch in der Abb. 68 systematisch ersichtlich. In Abb. 68a sind die λ -Werte über die κ -Werte für den Anpassungsbereich von 5-130/140 Jahre aufgetragen. In Abb. 68b ist der Anpassungsbereich auf 5-100 Jahre beschränkt. Im Vergleich der beiden Abbildungen ist zu erkennen, dass die Bonitäten M20-M12 nach 100 Jahren von den anderen Bonitäten abweichen. Es ist davon auszugehen, dass die Ertragstafelwerte der Bonitäten M20-M12 im Altersbereich von 110-130/140 Jahren Besonderheiten im Wachstumsverlauf aufweisen. Diese Besonderheit könnte auch auf die verwendete Wachstumsfunktion für die Ertragstafel zurückzuführen sein, denn NAKE (1983) bemängelt die Extrapolationsfähigkeit der verwendeten Wachstumsfunktion für das Höhenwachstum.

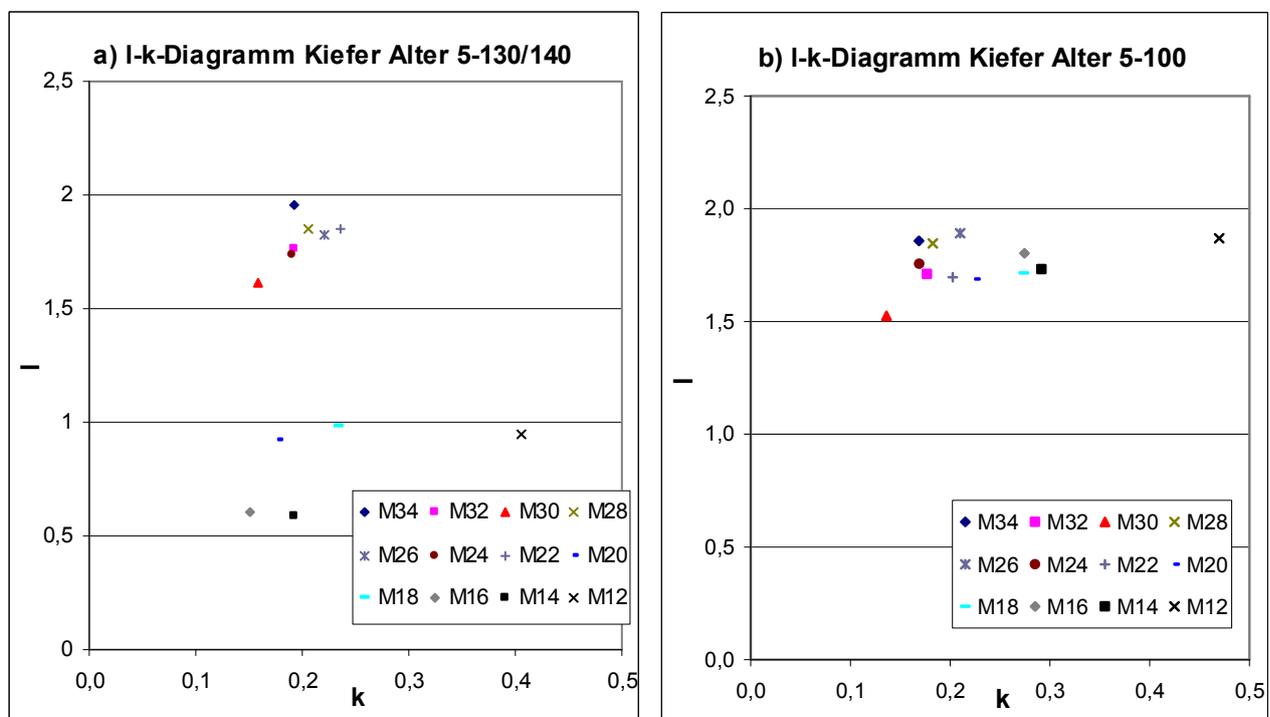


Abb. 68: a) Beziehung der Evolonparameter k zu l für die Baumart Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) für den Datenbereich von 5-130/140 Jahre
 b) Beziehung der Evolonparameter k zu l für die Baumart Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) für den Datenbereich von 5-100 Jahre

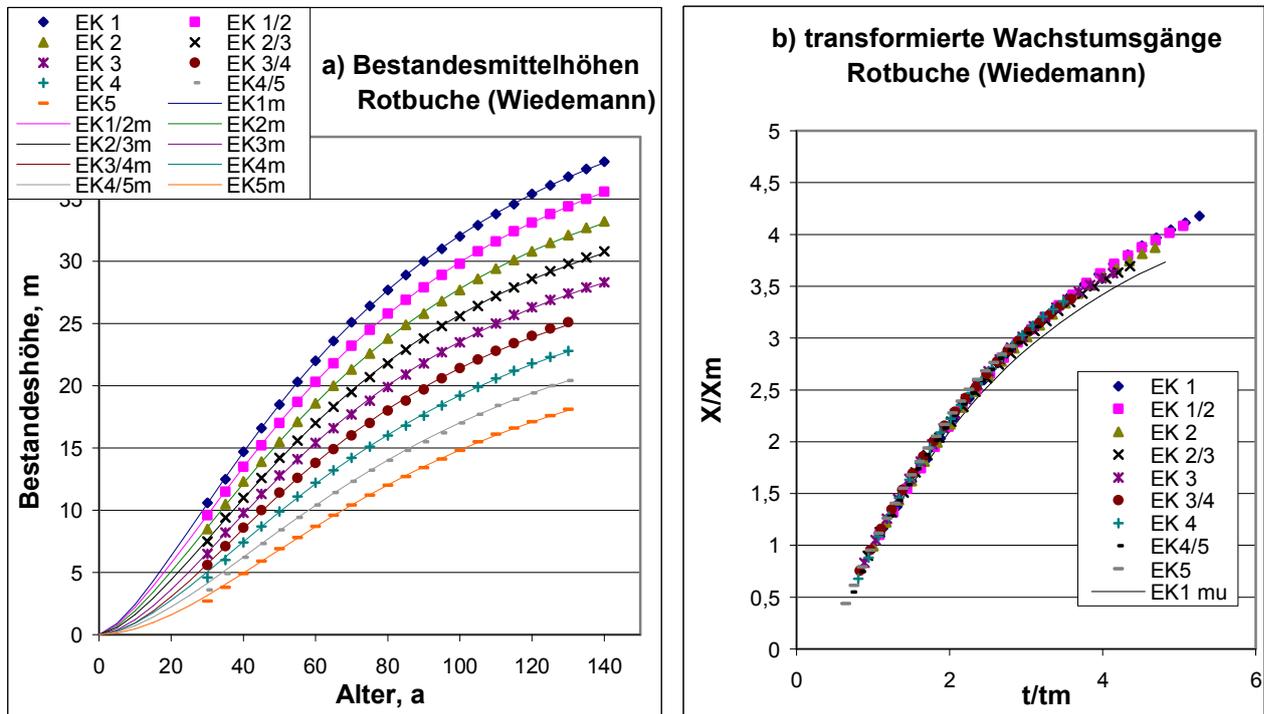
Für die Ertragklassen der Ertragstafel für Rotbuche von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) wurde in einem Test der Evolonparameterwert für κ auf einen bestimmten Wert festgesetzt und somit die Mittelhöhen der Ertragklassen unter Verwendung des Evolonmodells angepasst.

Der κ -Wert für die entsprechende Ertragsklasse wurde durch Testen ermittelt. Da bei der ersten Untersuchung der Rotbuche vermutet wurde, dass der Zeitpunkt t_m und die Mittelhöhe X_m beim Zuwachsmaximum unter Verwendung des Evolonmodells, wegen des späten Beginns der Alters- und Höhenangabe in der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962), nicht korrekt

bestimmt werden konnte, wurde nun in einem zweiten Schritt vorausgesetzt, dass der Wachstumsverlauf der einzelnen Ertragsklassen dem Kurvenursprung am Punkt 0/0 entspringen müssen. Demnach wurde der κ -Wert soweit geändert, bis für den errechneten Mittelhöhenwert bei theoretisch 0 Meter höchstens ein Wert von 0,0002 Meter errechnet bzw. optimiert wurde. Der dabei erreichte κ -Wert (siehe Tab. 88) wurde fixiert und die optimierten Werte für das Alter und die Mittelhöhe in den Abb. 69 und Abb. 70 verwendet. In Tab. 88 sind die Parameterwerte für κ , B und λ sowie die Transformationsparameter t_m und X_m nach der Fixierung der κ - und λ -Werte.

Tab. 88: Parameter des Evolonmodells und Werte der Transformationsparameter t_m und X_m der Ertragsklassen EK1-EK5 von WIEDEMANN mit Hilfe des Evolonmodells

Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	k	B [m]	l	t_m [a]	X_m [m]	(k+l)/k
EK1	30-140 (5)	0,322	49,1885	1,41948	26,5849	9,0949	5,4083
EK1/2	30-140 (5)	0,326	46,1605	1,39938	27,6931	8,7216	5,2926
EK2	30-140 (5)	0,33	41,2783	1,25842	29,8907	8,5758	4,8134
EK2/3	30-140 (5)	0,353	38,0728	1,25842	32,1433	8,3404	4,5649
EK3	30-140 (5)	0,413	38,7939	1,64072	33,8768	7,8015	4,9727
EK3/4	30-130 (5)	0,434	34,703	1,59275	36,2144	7,431	4,6699
EK4	30-130 (5)	0,404	34,8573	1,66668	37,2694	6,8008	5,1254
EK4/5	30-130 (5)	0,41	30,6323	1,50358	41,5551	6,5632	4,6673
EK5	30-130 (5)	0,455	28,8819	1,66812	46,6127	6,1897	4,6662



**Abb. 69: a) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTEL, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) bei Festsetzung des Evolonparameters κ
 b) Wachstumsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTEL, 1962) nach der Transformation unter Verwendung des Evolonmodells bei Festsetzung des Evolonparameters κ**

Anhand des Ergebnisses für den transformierten Wachstumsverlauf der Ertragsklassen von WIEDEMANN in Abb. 46 im Vergleich zum transformierten Wachstumsverlauf in Abb. 69 ist ersichtlich, dass sich nach der Fixierung der κ -Werte ein einheitlich transformierter Wachstumsgang für alle Ertragsklassen der Ertragstafel für Rotbuche von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) ergibt. In Abb. 70 sind die Zuwachsverläufe für die einzelnen Ertragsklassen unter Verwendung des Evolonmodells ohne und mit Fixierung des κ -Wertes dargestellt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Zuwachsverläufe mit Fixierung des κ -Wertes wesentlich einheitlicher bzw. ruhiger verlaufen.

Der Test hat gezeigt, dass davon auszugehen ist, dass auch bei den anderen untersuchten Ertragstafeln, bei welchen ebenfalls ein später Beginn der Alters- und Höhenangabe der einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten festzustellen ist, die Bestimmung der Transformationsparameter t_m und X_m nicht hinreichend genau ist, damit sich nach der Transformation ein einheitlich transformierter Wachstumsverlauf für die einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten für eine Baumart ergibt. Dahingehend wären weitere Untersuchungen aufschlussreich.

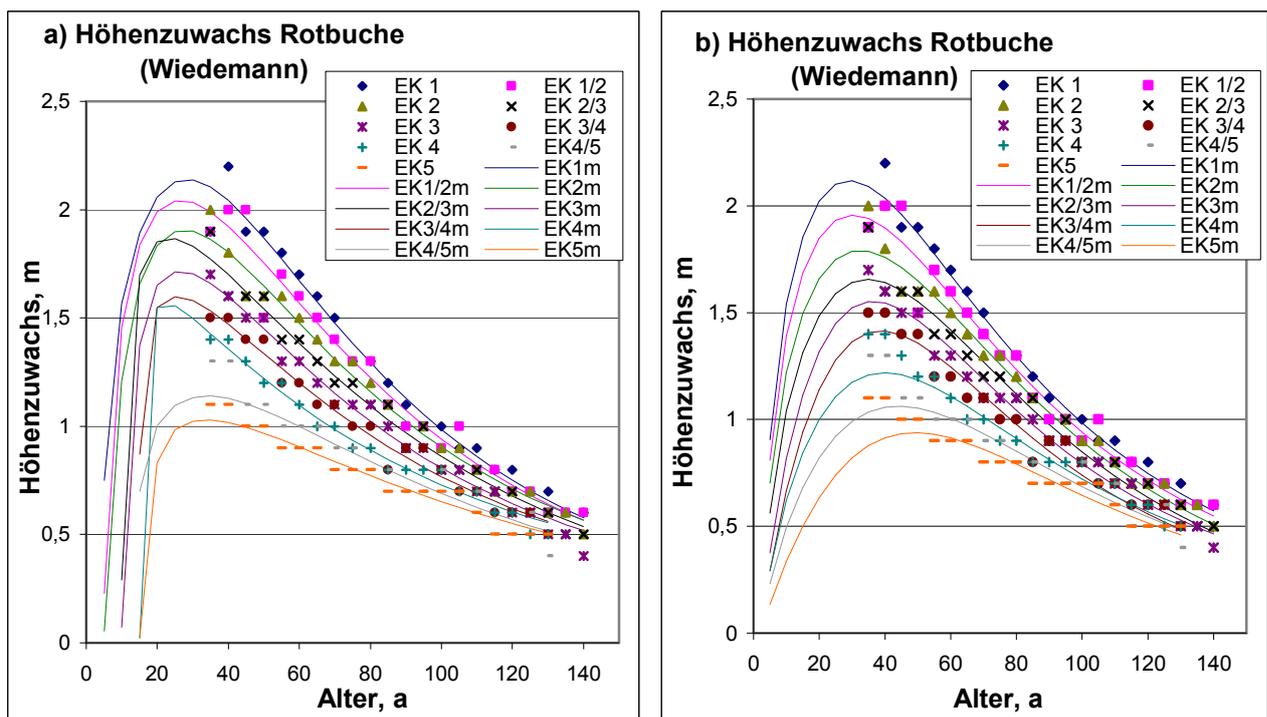


Abb. 70: a) Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) ohne Festsetzung des Evolonparameters κ
 b) Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m) bei Festsetzung des Evolonparameters κ

Die erste Ausgangshypothese, dass sich ein einheitliches Wachstumsprinzip beim Höhenwachstum von ungestört wachsenden Bäumen und Beständen nach einer Transformation (bei gleichartiger forstlicher Behandlung und konstanten Standortbedingungen) unabhängig vom Standort bei

Verwendung relativer Koordinaten der Art $t' = t/t_m$ anstelle des Baumalters t und $X' = X/X_m$ anstelle der Höhe X (Vereinlichungshypothese) zeigt, kann mit den durchgeführten Untersuchungen zumindest jeweils einer Baumart bestätigt werden. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass auch die Wachstumsgänge für verschiedene Baumarten nach der Transformation mittels der Polynommethode nur bemerkenswert kleine Unterschiede aufweisen (außer Kiefer). Die Unterschiede unter Verwendung des Evolonmodells sind jedoch größer. Die Unterschiede zwischen der Verwendung eines Polynoms 3. Grades und des Evolonmodells können an dieser Stelle jedoch nicht vollständig geklärt werden.

5.2 Beziehungen zwischen t_m und X_m für verschiedene Baumarten

Im Verlauf der Untersuchungen stellte sich die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen dem Alter beim Zuwachsmaximum t_m und der Höhe beim Zuwachsmaximum X_m besteht. Wenn hierbei ein Zusammenhang besteht, dann wäre ein Parameter zur Standortsbeschreibung ausreichend. In Abb. 71 ist der graphische Zusammenhang für die Baumart Fichte aller Standortklassen bzw. Bonitäten aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915), ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) unter Verwendung der Polynommethode in Abb. 71a und unter Verwendung des Evolonmodells in Abb. 71b dargestellt. Zu erkennen ist, dass die Werte für v. GUTTENBERG (1915) und ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) in Abb. 71a sehr nah beieinander liegen und ein linearer Zusammenhang bestehen könnte.

Ähnlich stellt sich dies für das S-System der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) dar. Das M- und L-System lassen keinen Zusammenhang erkennen. In Abb. 71b sind die Reihen der jeweiligen Ertragstafel eher gestreut und liegen nicht nah beieinander. Dennoch besteht auch in Abb. 71b die Möglichkeit eines linearen Zusammenhangs der Werte für v. GUTTENBERG (1915) und ASSMANN/FRANZ (1963, 1972). In Abb. 72 ist der graphische Zusammenhang der untersuchten Baumarten dargestellt. Abb. 72a zeigt dabei die Ergebnisse der modellunabhängigen Methode und Abb. 72b die Ergebnisse unter Verwendung des Evolonmodells. Dabei zeigt sich auch wie in Abb. 71 ein Unterschied zwischen der Verwendung der modellunabhängigen Methode und mittels des Evolonmodells. Die Unterschiede beruhen natürlich auf der Abweichung der Werte für t_m und X_m zwischen den verwendeten Methoden. Es ist jedoch nicht eindeutig festzustellen, dass eine der beiden Methoden eventuelle Fehler verursacht.

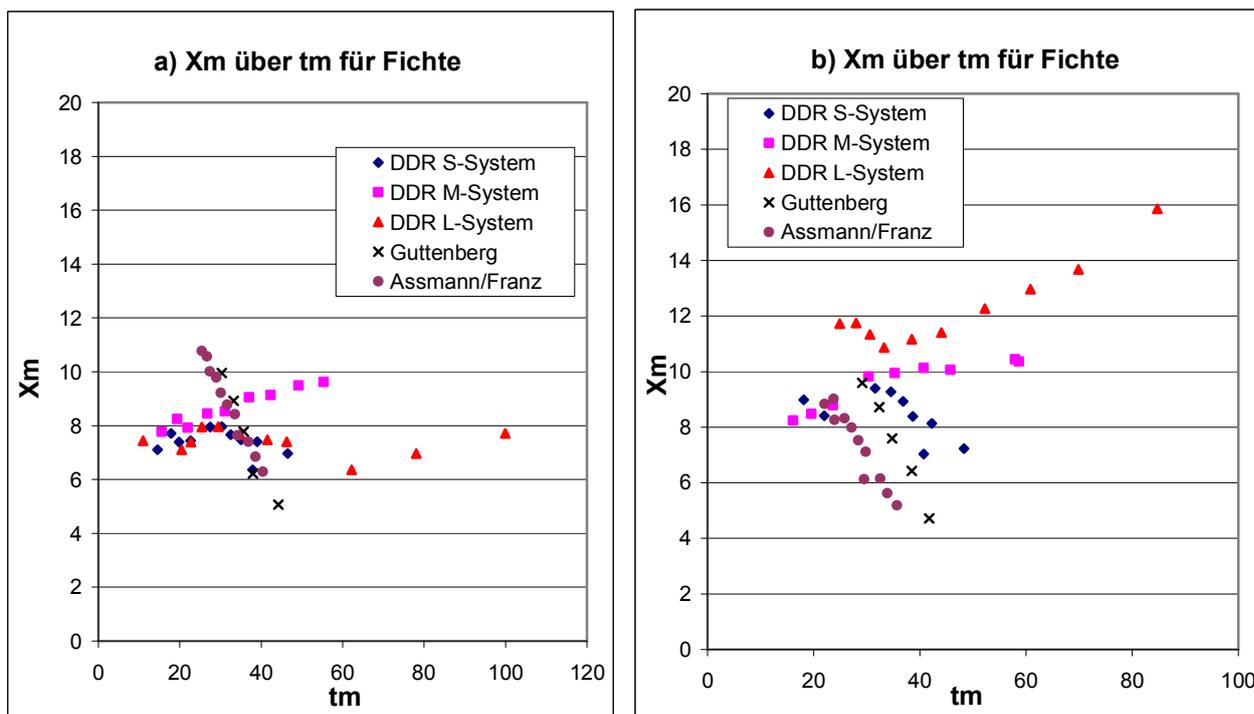


Abb. 71: a) Beziehung t_m zu X_m für Fichte aller Standortsklassen bzw. Bonitäten aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915), ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) unter Verwendung der Polynommethode
 b) Beziehung t_m zu X_m für Fichte aller Standortsklassen bzw. Bonitäten aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915), ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) unter Verwendung des Evolonmodells

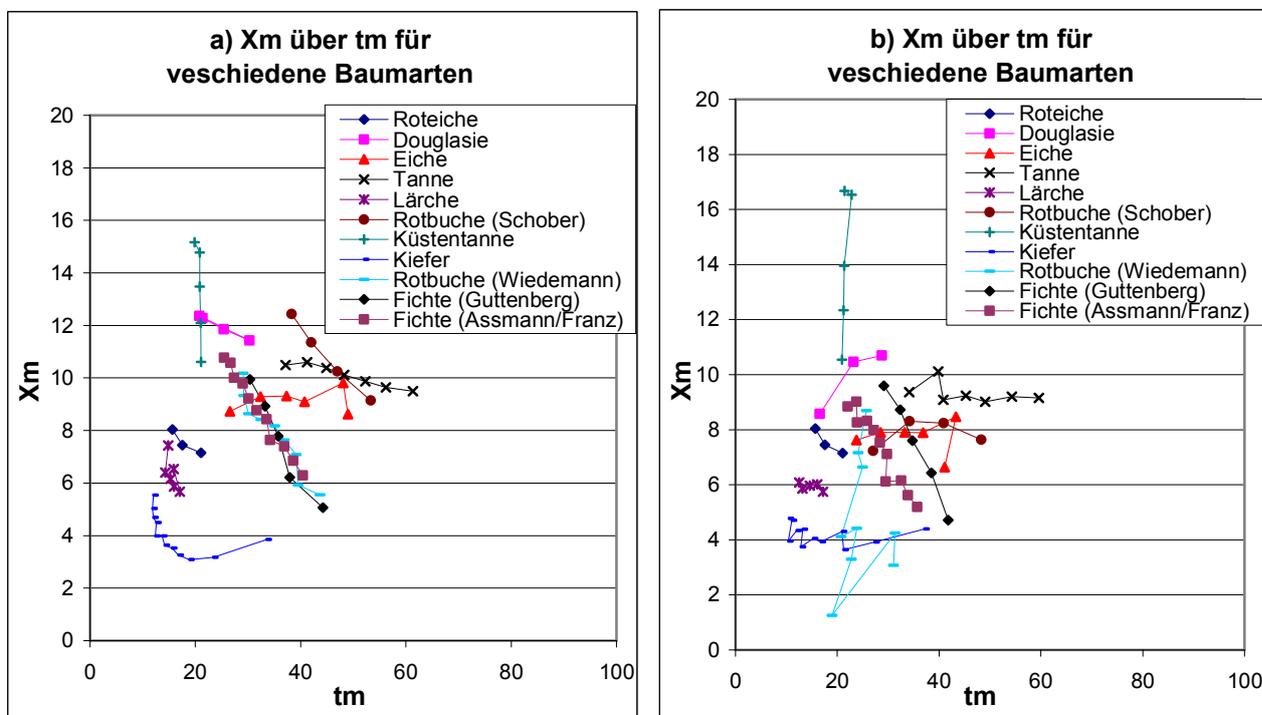


Abb. 72: a) Beziehung t_m zu X_m für verschiedene Baumarten aller Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus den Ertragstafeln der jeweiligen Baumarten unter Verwendung der Polynommethode
 b) Beziehung t_m zu X_m für verschiedene Baumarten aller Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus den Ertragstafeln der jeweiligen Baumarten unter Verwendung des Evolonmodells

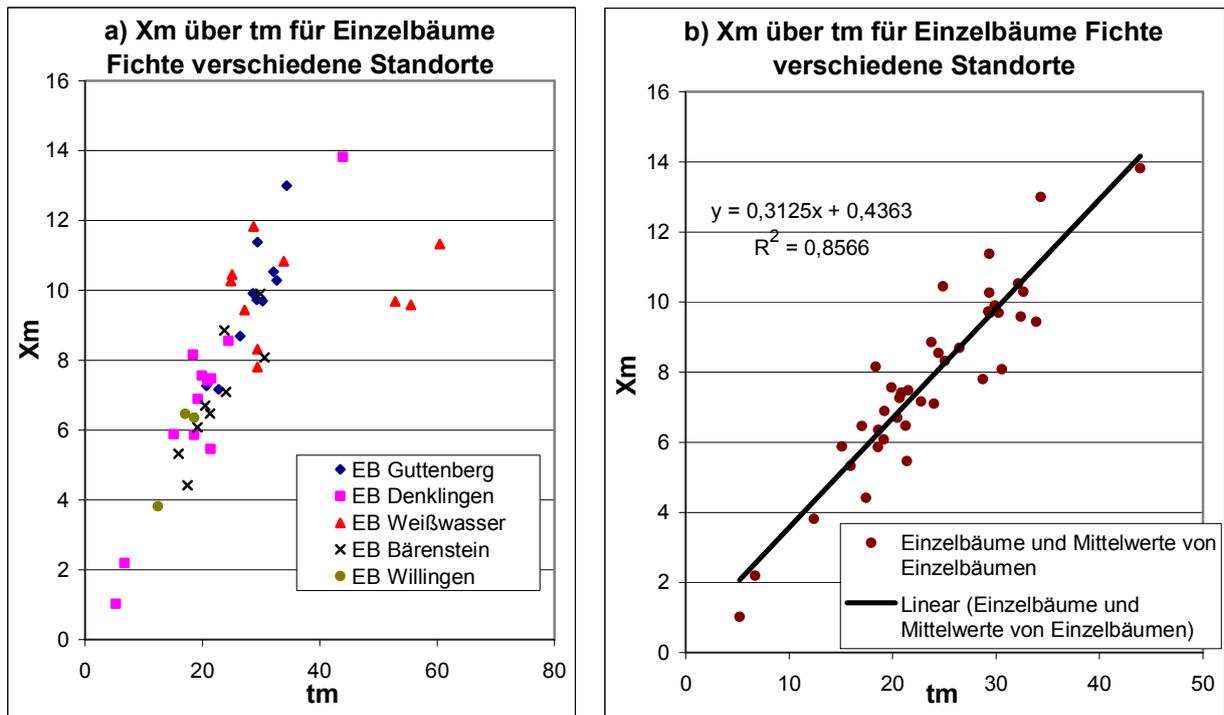


Abb. 73: a) Beziehung t_m zu X_m für Einzelbäume der Baumart Fichte verschiedener Standorte unter Verwendung des Evolonmodells
 b) Beziehung t_m zu X_m für Einzelbäume der Baumart Fichte verschiedener Standorte unter Verwendung des Evolonmodells mit linearer Trendlinie

In Abb. 73a ist der graphische Zusammenhang zwischen t_m und X_m für Fichteneinzelbäume dargestellt. Für die Einzelbäume ist eine Konzentration von Punkten zu erkennen. Bei genauerer Betrachtung scheint ein linearer Zusammenhang möglich zu sein.

In Abb. 73b ist das Ergebnis für eine lineare Trendlinie dargestellt. Dabei wurden die stark abweichenden Werte des Standorts Weißwasser (langsames System, Baum 9, 29, 30) nicht mit berücksichtigt. Die Funktion der linearen Trendlinie und das Bestimmtheitsmaß sind in Abb. 73b mit angegeben. Das Bestimmtheitsmaß zeigt zwar einen recht guten Wert müsste jedoch mit weiteren Untersuchungen bestätigt werden.

5.3 Beziehung zwischen der Höhe beim Zuwachsmaximum und der asymptotischen Endhöhe auf der Basis des Evolonmodells

Mit Hilfe des Evolonmodells ist es möglich, die Wachstumsverläufe von Beständen und sogar von Einzelbäumen anzupassen und zu interpretieren. Anhand der Eingangshypothese, dass die theoretische Endhöhe eines Baumes oder eines Bestandes unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) unabhängig von der Baumart etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums ist, wurden die untersuchten Ertragstafelwerte der verschiedenen Baumarten und Einzelbäume geprüft. Ausgegangen wird dabei von der Formel (4.15) aus Kapitel

4.2.3. Durch Differentiation und für die Annahme des Zuwachsmaximums bei X_m ergibt sich der

Zusammenhang: $B/X_m = (k+l)/k$ (5.1)

$$5 = (k+l)/k$$

$$4 = l/k$$

Tab. 89: Parameter des Evolonmodells für verschiedene Baumarten

Baumart/Ertragstafel	Bonität	k	B [m]	l	(k+l)/k	l/k
Fichte (v. GUTTENBERG) Mittelhöhe	SK1	0,402635	48,1839	1,61909	5,0212	4,0212
	SK2	0,399498	44,1772	1,62346	5,0637	4,0637
	SK3	0,413109	38,5706	1,68352	5,0752	4,0752
Fichte (ASSMANN/FRANZ) Mittelhöhe	M38	0,36457	47,9294	1,57381	5,3169	4,3169
	M36	0,328545	44,0617	1,42456	5,3360	4,3360
	M34	0,385283	44,1453	1,65857	5,3048	4,3048
	M20	0,288175	25,7934	1,14511	4,9737	3,9737
Fichte (ASSMANN/FRANZ) Oberhöhe	M40	0,371058	52,5902	1,57029	5,2319	4,2319
	M38	0,3603	48,8541	1,4799	5,1074	4,1074
	M34	0,342879	43,0905	1,34299	4,9168	3,9168
	M32	0,28998	40,3211	1,22791	5,2345	4,2345
	M30	0,285196	38,5055	1,22402	5,2919	4,2919
	M28	0,360271	39,7078	1,55274	5,3099	4,3099
	M26	0,378002	38,6875	1,63799	5,3333	4,3333
	M24	0,373057	36,2077	1,60183	5,2938	4,2938
DDR-Fichtenertragstafel Mittelhöhe schnelles System	S30	0,441069	40,2718	1,67073	4,7879	3,7879
	S22	0,67838	40,0554	2,5631	4,7783	3,7783
	S18	0,429499	33,2139	1,59703	4,7184	3,7184
DDR-Fichtenertragstafel Mittelhöhe mittleres System	M34	0,333903	43,0469	1,36221	5,0797	4,0797
	M32	0,391775	45,8046	1,65115	5,2145	4,2145
	M28	0,600473	49,8202	2,40692	5,0084	4,0084
DDR-Fichtenertragstafel Mittelhöhe langsames System	L38	0,58414	61,9464	2,5029	5,2848	4,2848
Roteiche (BAUER) Mittelhöhe	EK1	0,509165	40,3658	2,04623	5,0188	4,0188
	EK2	0,554021	39,1422	2,35777	5,2557	4,2557
Douglasie (BERGEL) Mittelhöhe	EK2	0,4436	50,861	1,7135	4,8627	3,8627
Eiche (ERTELD) Mittelhöhe	EK2	0,672413	42,3808	2,93342	5,3625	4,3625
Tanne (HAUSER) Mittelhöhe	EK1	0,30722	45,0944	1,17215	4,8153	3,8153
Kiefer (LEMBCKE) Mittelhöhe	M18	0,234171	22,3672	0,98298	5,1977	4,1977
Fichte Einzelbäume (Guttenberg)	E2	0,526905	49,0513	2,1299	5,0423	4,0423
	E7	0,599987	50,1386	2,32335	4,8723	3,8723
Fichte Einzelbäume (Weißwasser)	M-System	0,794314	48,5994	3,23067	5,0672	4,0672
	M-System2	0,67225	44,754	2,72737	5,0571	4,0571
	E2	1,216535	45,9843	4,7088	4,8707	3,8707
	E18	0,619439	39,7742	2,34334	4,7830	3,7830
	E27	1,007541	50,7774	3,97515	4,9454	3,9454
Fichte Einzelbäume (Bärenstein)	E4	0,532524	29,9811	2,09229	4,9290	3,9290
	E6	1,052219	22,0061	4,19025	4,9823	3,9823
	E9	0,447577	26,6304	1,79256	5,0050	4,0050
Kiefer Einzelbäume (Chorin)	E3	0,972572	41,4838	3,99526	5,1079	4,1079

In Tab. 89 sind die Ergebnisse anhand des Zusammenhangs angegeben. Es ist festzustellen, dass die Eingangshypothese für die Standortsklassen 1-3 der Ertragstafel v. GUTTENBERG (1915) zutrifft. Für die Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) trifft die Annahme, dass die theoretische Endhöhe fünf mal größer als X_m ist, zwar auf die Mittelhöhen zu, jedoch zeigt sich diese Hypothese deutlicher bei den Oberhöhenbonitäten. Für alle weiteren untersuchten Baumarten für die einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten ist die Annahme nur begrenzt konform. Einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten der Baumarten Roteiche, Douglasie, Eiche, Tanne und Kiefer bestätigt die Eingangshypothese. Hierbei sei jedoch erwähnt, dass ein ungenau bestimmter κ -Wert durch den späten Beginn der Alters- und Höhenangabe in den entsprechenden Ertragstafeln weitere Bestätigungen der Eingangshypothese ausschließt.

Ertragsklassen bzw. Bonitäten die eine große Abweichung vom Wert 5 ($(k+1)/k$) ergeben haben, sind in Tab. 89 nicht angegeben und können aus den Tabellen der entsprechenden Kapitel bzw. Baumarten entnommen werden. Interessant ist, dass eine große Anzahl von Einzelbäumen der Baumart Fichte der Eingangshypothese entspricht und damit die Ergebnisse der Ertragstafeluntersuchungen stützt.

Für die zweite Ausgangshypothese, dass die theoretische Endhöhe eines Baumes oder eines Bestandes unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) unabhängig von der Baumart etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums ist, muss diese Annahme auf die Baumart Fichte beschränkt bleiben. Eine baumartenübergreifende Hypothese für das Verhältnis $5 \cdot X_m$ ist gleich der maximalen theoretischen Endhöhe kann nicht bestätigt werden.

5.4 Vergleich Evolonmodell mit Richardsmodell

Das Richardsmodell wurde bisher in der Forstwissenschaft häufig verwendet. Die Gleichung des Richardsmodells wurde bereits in Kapitel 2.3 angegeben. Nach MENDE und ALBRECHT (2001) ist das Richardsmodell (RICHARDS, 1959) ein Spezialfall des Evolonmodells. Für das Richardsmodell gibt es dem Evolonmodell eine analoge Darstellung als Differentialgleichung und kann der Veröffentlichung von MENDE und ALBRECHT (2001) entnommen werden.

Für beide Modelle ergibt sich ein parabolisches Anfangswachstum. Das Wachstum in der Brems- bzw. Sättigungsphase ist hingegen bei beiden Modellen etwas unterschiedlich. Für die Bremsphase ergibt sich eine exponentielle Sättigung für das Richardsmodell, welches im Evolonmodell $\lambda = 1$ entspricht. Für das Evolonmodell hingegen ergibt sich für das Wachstum von Baumhöhen ein hyperbolischer Sättigungsprozess mit $\lambda \geq 1$. Dementsprechend enthält das Richardsmodell einen Parameter weniger als das Evolonmodell und ist nicht flexibel in der Sättigungsphase.

Für die Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG wurde dieser Sachverhalt mit dem Programm von RÖMISCH geprüft und für $\lambda = 1$ eingesetzt und fixiert, sodass bei der Anpassung nur vier Parameter ungebunden bzw. frei sind. Tab. 90 enthält die Ergebnisse des Evolonmodells im Vergleich zum Richardsmodell mit den einzelnen Parametern.

Tab. 90: Parameter des Evolonmodells der Standortsklassen 1-5 von v. GUTTENBERG (1915) nach MENDE und ALBRECHT (2001), mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009) und für den Spezialfall des Evolonmodells (Richardsmodell) mit $\lambda = 1$

	Evolonmodell Werte nach Mende und Albrecht				Evolonmodell mit Programm Römisch			
	k	l	(k+l)/k	Abstandsfunktion	k	l	(k+l)/k	Abstandsfunktion
SK1	0,40	1,66	5,150	5,6E-05	0,402635	1,61909	5,0212	3,551929E-05
SK2	0,41	1,66	5,049	1,20E-04	0,399498	1,62346	5,0637	4,927638E-05
SK3	0,42	1,69	5,024	4,17E-04	0,413109	1,68352	5,0752	4,059796E-04
SK4	0,36	1,65	5,583	5,75E-04	0,354964	1,6563	5,6661	5,668957E-04
SK5	0,33	1,69	6,121	6,7E-05	0,32437	1,6914	6,2144	6,652329E-05

Evolonmodell mit Programm Römisch für Spezialfall Richardsmodell				
	k	l	(k+l)/k	Abstandsfunktion
SK1	0,3147	1	4,178	6,867460E-04
SK2	0,3287	1	4,042	5,485856E-04
SK3	0,3379	1	3,959	1,641822E-03
SK4	0,3052	1	4,277	1,372204E-03
SK5	0,2625	1	4,810	1,392206E-04

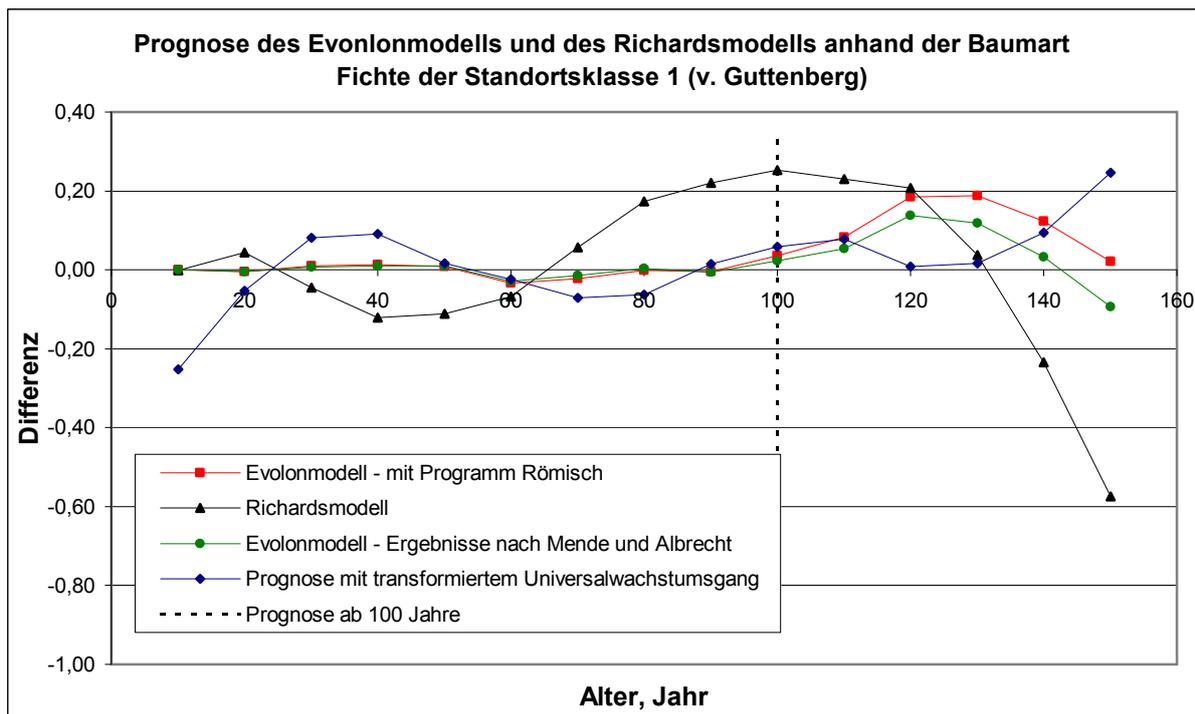


Abb. 74: Prognose des Wachstumsverlaufs ab 100 Jahre für die Baumart Fichte der Standortsklasse 1 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach MENDE und ALBRECHT (2001), mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009), für das Richardsmodell mit $\lambda = 1$ und unter Verwendung des transformierten Universalwachstumsgangs aus Kapitel 5.5

In Abb. 74 ist der extrapolierte Höhenwachstumsverlauf ab 100 Jahre für die Standortsklasse 1 der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) dargestellt. Dabei wurden die Parameter des Evolonmodells nach MENDE und ALBRECHT (2001) mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009)

und für den Spezialfall des Evolonmodells (Richardsmodell) mit $\lambda = 1$ verwendet. Zu erkennen ist, dass das Richardsmodell die schlechtere Extrapolation ergibt. Zu begründen ist diese Tatsache auch anhand der Parameter für λ und den Wert für $(k+1)/k$, welcher dabei den Wert 4 ergibt. In Abb. 74 ist gleichzeitig die Prognose ab 100 Jahre unter Verwendung des transformierten Universalwachstumsgangs mit angegeben. Die Bildung des transformierten Universalwachstumsgangs wird in Kapitel 5.5 näher erläutert. Die Prognose zeigt, dass für den transformierten Universalwachstumsgang keine besonders große Abweichung vom Wachstumsverlauf aus der Ertragstafel der Standortsklasse 1 festzustellen ist. In Tab. 91 sind die Parameter des Evolonmodells und die Parameter für den Spezialfall des Richardsmodells für die Prognose des Höhenwachstums ab 100 Jahre angegeben. Die Parameter bilden die Grundlage für Abb. 74.

Tab. 91: Parameter des Evolonmodells für die Prognose ab 100 Jahre der Standortsklassen 1 von v. GUTTENBERG (1915) mit Hilfe des Programms von RÖMISCH (2009), nach MENDE und ALBRECHT (2001) und für den Spezialfall des Evolonmodells (Richardsmodell) mit $\lambda = 1$ (für alle Berechnungen ist TS [a] = 70 Jahre)

	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	XS [m]
Prognose mit Programm Römisch	10-100 (10)	7,2127E-06	5,5894E-04	3,9754E-01	4,8291E+01	1,6024E+00	2,5978E+01
Prognose nach Mende und Albrecht	10-100 (10)	4,3768E-06	7,3625E-04	3,9350E-01	4,7324E+01	1,5400E+00	2,5986E+01
Prognose nach Richardsmodell	10-100 (10)	6,8675E-04	7,3132E-03	3,1469E-01	4,1082E+01	1,0000E+00	2,6057E+01

5.5 Beispiel einer Anwendung des Ergebnisses zum einheitlichen Wachstumsgang nach der Transformation

Anhand der Ergebnisse für die untersuchten Baumarten und Einzelbäume ist es möglich, einen Mittelwert für die Werte X' (X/X_m) und t' (t/t_m) des transformierten Wachstumsverlaufs für eine Baumart zu bilden. Dabei können natürlich nur die Ertragsklassen bzw. Bonitäten einer Baumart betrachtet werden, welche einen gemeinsamen transformierten Wachstumsverlauf zeigen. Daraus würde sich ein transformierter Universalwachstumsgang ergeben, der als Referenzgrundlage für alle Wachstumsgänge dieser Baumart gilt. In Abb. 75 ist der Versuch eines transformierten Universalwachstumsgangs dargestellt, welcher sich auch mit Hilfe eines Polynoms 6. Grades beschreiben lässt. Abweichungen davon lassen dann auf Veränderungen oder Störungen im Wachstumsverlauf von Einzelbäumen oder Beständen schließen. Wie bereits angemerkt gibt es Wachstumsverläufe, welche durch äußere Einflüsse oder auch Einflüsse durch Konkurrenz der Bäume untereinander vom „normalen“ Wachstumsgang abweichen. Die Klassifizierung, welche

durch WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) in der DDR-Fichtenertragstafel festgelegt wurde, zeigt sich durchaus plausibel, denn die Einzelbäume vom Standort Weißwasser bestätigen die unterschiedlichen Wachstumssysteme.

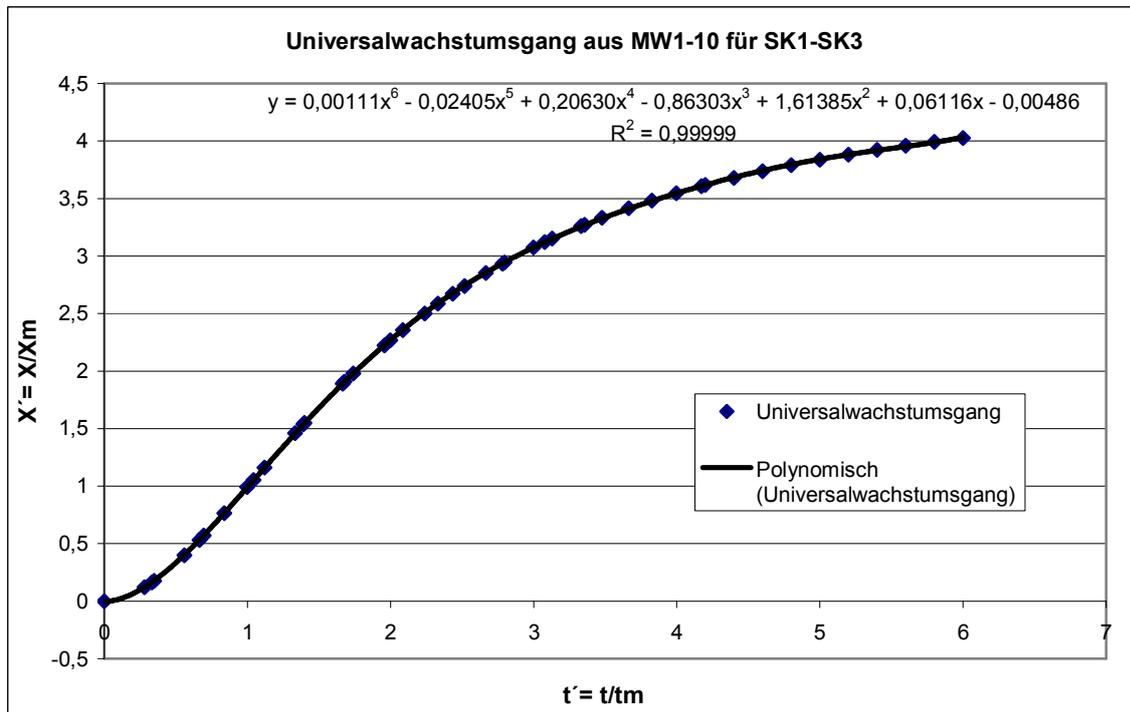


Abb. 75: Transformierter Universalwachstumsgang aus den Mittelwerten von Einzelbäumen für die Standortsklasse 1-3 der Baumart Fichte von V. GUTTENBERG (1915)

Welchen Einfluss verzögerte oder langsame Wachstumsgänge bei der Erstellung von Ertragstafeln haben, ist mit den durchgeführten Untersuchungen nicht eindeutig zu beantworten. Sollten jedoch verzögerte oder langsame Wachstumsgänge in den Ertragsklassen- bzw. Bonitierungssystemen mit eingeflossen sein, dann ist die Abweichung der Wachstumsentwicklung von Beständen verständlich. Mit Hilfe eines transformierten Universalwachstumsgangs wären Prognosen genau so möglich wie mittels des Evolonmodells.

Mit der dritten Ausgangshypothese zur Bildung eines universell transformierten Wachstumsgangs, wurde versucht, einen transformierten Universalwachstumsgang zu bilden. Ein universell transformierter Wachstumsgang ergibt sich aus der Zusammenfassung einzelner Standortsklassen bzw. Bonitäten einer Baumart. Störungen des Wachstumsgangs durch Veränderung des Standorts einer Baumart können mit Hilfe eines universell transformierten Wachstumsgangs zeitlich eingeordnet werden. Ob dabei die Beziehung von t_m zu X_m ausschlaggebend ist, muss in weiteren Untersuchungen bestätigt oder korrigiert werden. Ein Universalwachstumsgang würde prinzipiell jedoch nur für eine Baumart gelten.

5.6 Vertrauensbereichsbestimmung

Für eine Fehlerbetrachtung der Untersuchungen müssen systematische Fehler und zufällige Fehler betrachtet werden. Eine vollständige oder umfassende Fehleranalyse war im Rahmen der Dissertation nicht möglich. Deshalb wird an dieser Stelle nur eine kurze Fehlerbetrachtung aufgezeigt und an einem Beispiel verdeutlicht.

Systematische Fehler sind beispielsweise Fehler, die durch falsche oder ungenaue Messapparaturen entstehen. Zufällige Fehler können durch Schwankungen der Messgröße, Einflüsse der Natur oder durch nicht vorhersehbare Fehler des Objektes auftreten. Für die Untersuchungen von Mittel- und Oberhöhen aus Ertragstafeln und für Einzelbaumhöhen wurden bereits zufällige Fehler benannt. Diese sind vor allem in einem veränderten Wachstumsverlauf durch äußere Einflüsse oder auf intraspezifische Konkurrenz zurückzuführen. Als zufälliger Fehler wurden auch die Abweichungen der Mittelhöhe von der Oberhöhe eines Bestandes erkannt. Nach ASSMANN (1961) wird die Mittelhöhe infolge besonders starker Eingriffe rechnerisch erhöht. Dies betrifft Bestände, die vor allem durch eine Niederdurchforstung im Wachstumsverlauf gekennzeichnet sind. Oberhöhen zeigen demzufolge eine Unempfindlichkeit gegenüber Niederdurchforstungseingriffen.

Auch eine ungenaue Stammanalyse der Einzelbäume ist zufälligen Fehlern zuzuordnen und schwer nachzuweisen, denn dabei spielt die Erfahrung und die Genauigkeit des Betrachters bzw. Forschers eine große Rolle.

Fehler entstehen beispielsweise auch bei Verwendung einer Wachstumsfunktion oder eines Wachstumsmodells. Ist der gewählte Ansatz nicht korrekt oder für die entsprechende Untersuchung nicht geeignet, entstehen Fehler, die die Ergebnisse der Untersuchung beeinflussen und zu „fälschen“ Ergebnissen führen können. Bei Nutzung des Evolonmodells konnten einige Wachstumsverläufe der einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten nicht präzise in der Jugendphase vor dem Zuwachsmaximum bestimmt werden, da zu wenig Daten vor dem Zuwachsmaximum vorhanden waren. Dadurch kann davon ausgegangen werden, dass dabei Fehler bei der Bestimmung der Transformationsparameter X_m und t_m entstanden sind. Für die Untersuchungen der Wachstumsgänge von Ertragsklassen bzw. Bonitäten verschiedener Baumarten und Einzelbäume bietet sich die Möglichkeit, einen Vertrauensbereich für die einzelnen Parameter zu bestimmen. In Abb. 76 ist dies für die Standortklasse 2 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) dargestellt. Der Vertrauensbereich ergibt sich aus den zwei Schnittpunkten der Anpassungsergebnisse mit der Vertrauensbereichsgrenze.

Die Vertrauensbereichsbestimmung ist sehr aufwändig, da zur Bestimmung der Kurve des Vertrauensbereichs einige Optimierungsrechnungen notwendig sind. Ob sich der Aufwand lohnt, hängt stark davon ab, welche Schlussfolgerungen man aus den ermittelten Werten für den oder die optimalen Parameter ziehen möchte. Dieser Umfang der Vertrauensbereichsbestimmung konnte für

jeden einzelnen Parameter der Ertragsklassen bzw. Bonitäten verschiedener Baumarten und Einzelbäume im Rahmen der Untersuchungen nicht geleistet werden. Vielmehr wurden einzelne Ergebnisse der Vertrauensbereichbestimmung genutzt, um die Abstandsfunktion so gering wie möglich zu halten. Die Verbesserung der Abstandsfunktion konnte in einigen Berechnungen erreicht werden. Eine grundsätzliche Änderung des Parameterwertes bzw. der Parameterwerte haben sich dabei nicht ergeben. Die Vorgehensweise bei der Vertrauensbereichbestimmung kann der Literatur von JAMES und ROOS (1977) entnommen werden.

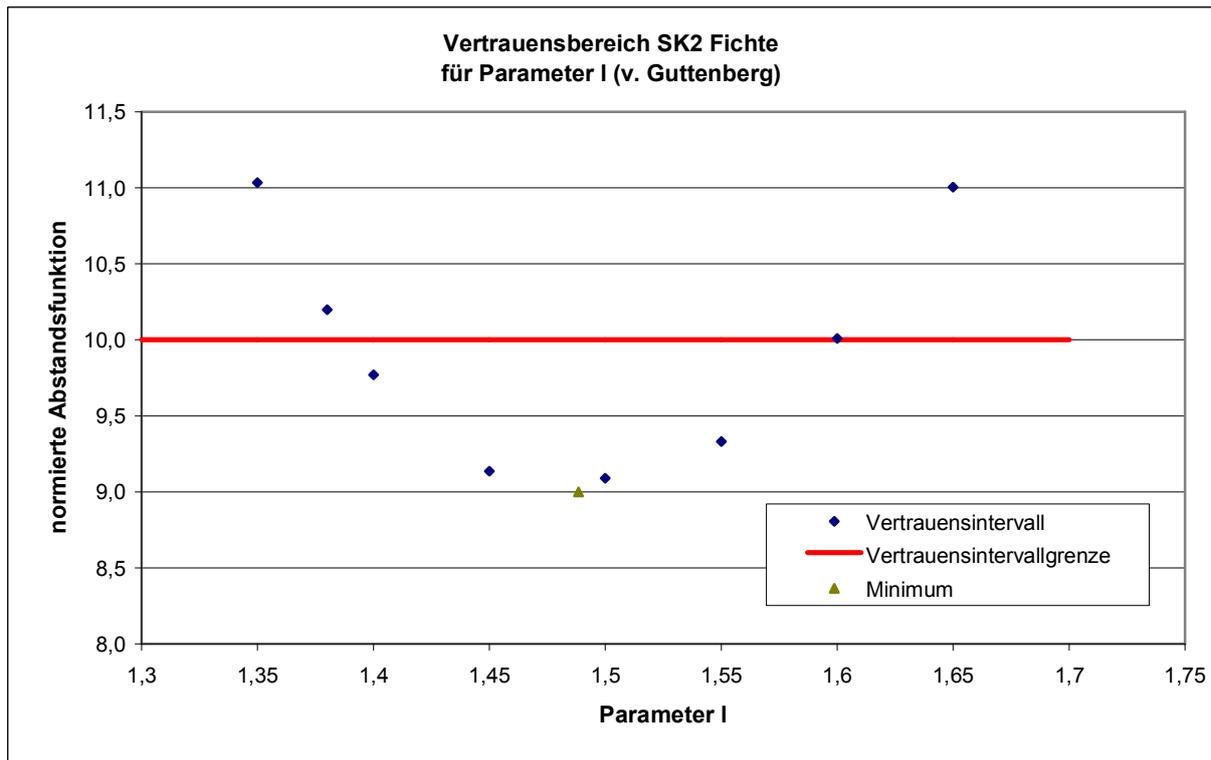


Abb. 76: Vertrauensbereichsbestimmung anhand der Standortklasse 2 der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) für den Parameter λ des Evolonmodells

Als Abstandsfunktion wurde normalerweise die Summe der Quadrate der relativen Differenzen zwischen Datenwerten $X^d(t_i) = X_i^d$ und den entsprechenden Modellwerten $X(t_i) = X_i$ zu den Zeitpunkten t_i (t_i = Baumalter in Jahren) gewählt (Formel (4.17)). Um jedoch die Gewichtung auf die hinteren Datenwerte bzw. die Datenwerte im späteren Alter zu legen, kann eine zweite Abstandsfunktion als Option genutzt werden. Dabei wird die Summe der Quadrate der absoluten Differenzen zwischen Datenwerten $X^d(t_i) = X_i^d$ und den entsprechenden Modellwerten $X(t_i) = X_i$ zu den Zeitpunkten t_i (t_i = Baumalter in Jahren) verwendet.

$$F(X_1^d, \dots, X_n^d; X_i(p_1, \dots, p_m)) = \sum_{i=1}^n (X_i^d - X_i)^2 \quad (5.2)$$

n = Anzahl der Datenwerte

Diese Gewichtung wurde für die Untersuchungen jedoch nicht angewendet, da für die Ausgangshypothese die Gewichtung der vorderen Datenwerte bzw. die Datenwerte im frühen Alter, also vor dem Zuwachsmaximum, von größerer Wichtigkeit waren.

Zur Charakterisierung der Abweichungen innerhalb einer Baumart und im Vergleich mit den Baumarten untereinander ist die Bestimmung des relativen oder absoluten Streumaßes hilfreich. Beide Streumaße sind auf die Freiheitsgrade bezogen. Das absolute Streumaß wird aus Formel (5.2) berechnet.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n (X_i^d - X_i)^2} \quad (5.3)$$

n = Anzahl der Datenwerte

p = Anzahl der Modellparameter

Das relative Streumaß wird aus Formel (4.17) berechnet.

$$R = \sqrt{\frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i^d - X_i}{X_i} \right)^2} \quad (5.4)$$

n = Anzahl der Datenwerte

p = Anzahl der Modellparameter

Das relative Streumaß wurde für die einzelnen Ertragsklassen bzw. Bonitäten sowie für die Einzelbäume und Mittelwerte der Einzelbäume in der Untersuchung nicht berechnet, kann aber ohne Probleme mittels der relativen Abstandsfunktion berechnet werden.

5.7 Anwendung der Ergebnisse

Für verschiedene Baumarten konnte demonstriert werden, dass auf der Basis entsprechender Ertragstafeln die transformierten Wachstumsgänge der Bestandesmittelhöhen für unterschiedliche Ertragsklassen entsprechend der ersten Ausgangshypothese gut übereinstimmen.

Für die vierte Ausgangshypothese soll die Transformierbarkeit des Höhenwachstums für unterschiedliche Standorte auf einen universellen Wachstumsgang auch auf andere Wachstumsgrößen (z.B. Holzmasse) von Bäumen und Beständen übertragen werden, sodass sich dabei ebenfalls ein einheitliches Wachstumsprinzip zeigt.

In der Forstwirtschaft und Forstökonomie ist der Zuwachs der Holzmasse (Schaftholzvorrat) von besonderem Interesse. Erste Untersuchungen zum Wachstum der bei v. GUTTENBERG (1915) ausgewiesenen Holzmasse zeigen, dass sich für diese Wachstumsgröße ($X = \text{Holzmasse/ha}$)

unabhängig von der Standortklasse ebenfalls einheitliche transformierte Wachstumsverläufe ergeben, wie sie für die Mittelhöhe von Beständen beschrieben wurden. Für die Analyse des Wachstums der Holzmasse erweist es sich als günstig, dass für die t_m -Bestimmung ausreichend viele Datenwerte vor und nach dem Zuwachsmaximum genutzt werden können.

Tab. 92: Parameter für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) der Standortklassen 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für t_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Zuwachskurven			Polynom	
	a	b	c	t_{m1}	t_{m2}
SK1	0,0000281	-0,0085614	0,6515306	152,40613040	50,71130732
SK2	0,0000101	-0,0046881	0,4364084	252,37633734	57,06920721
SK3	0,00000673	-0,00299338	0,29440836	234,27966958	62,24138044
SK4	0,0000039	-0,00174245	0,18715309	227,56172654	70,29297431
SK5	0,00000103	-0,00067474	0,09086194	353,55493405	83,16998504

Tab. 93: Parameter für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) der Standortklassen 1-5 von v. GUTTENBERG sowie die berechneten Werte für X_m mit Hilfe der Polynommethode

	Parameter der Höhenwachstumskurven				Polynom
	a'	b'	c'	d'	X_m
SK1	-0,0016	0,26184	-0,18605	-6,31469	448,95012859
SK2	-0,00114	0,2022	-0,93523	-2,04396	391,23729989
SK3	-0,000675	0,131758	-0,560481	-1,763736	311,02259930
SK4	-0,000345	0,077533	-0,243241	-2,95817	243,21512986
SK5	-0,000168	0,042859	-0,352663	-1,51771	168,96595438

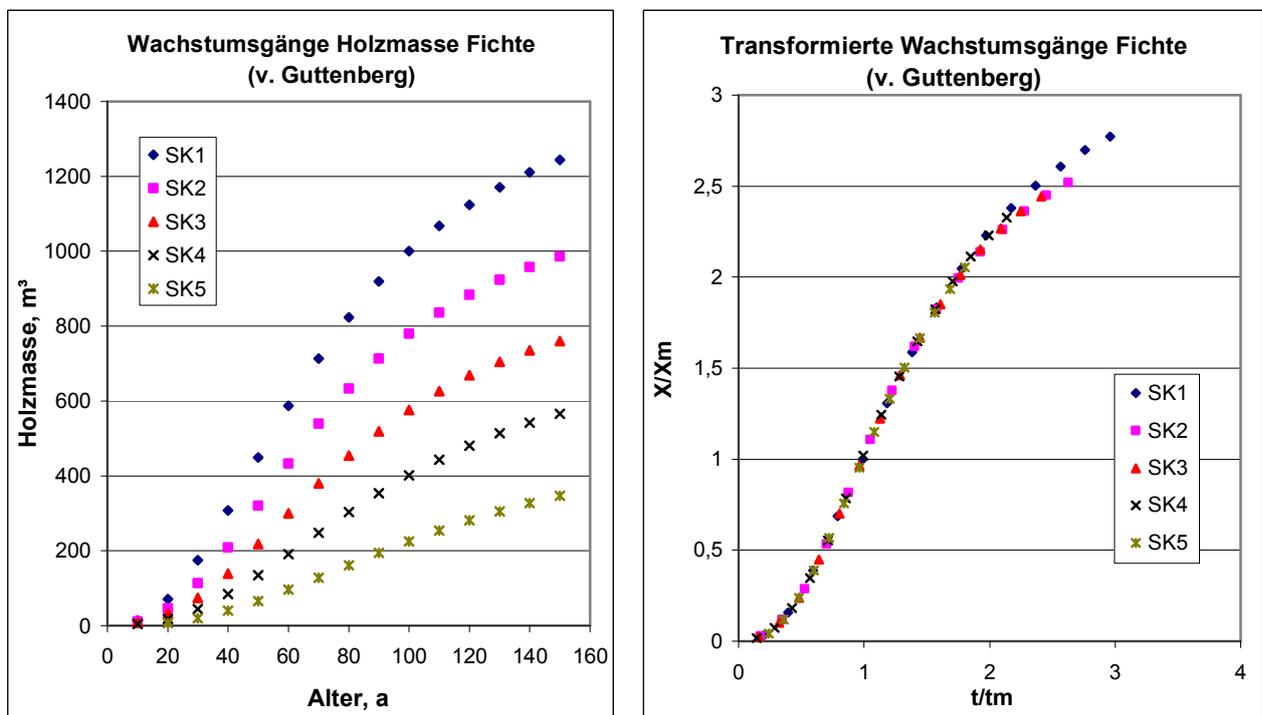


Abb. 77: a) Wachstumsverlauf für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) für Fichte der Standortklassen 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915)
 b) Wachstumsverlauf für die Holzmasse (Schaftholzvorrat pro Hektar) für Fichte der Standortklassen 1-5 aus der Ertragstafel von v. GUTTENBERG (1915) nach der Transformation unter Verwendung der Polynommethode (der Wert für X und X_m steht hier für die Holzmasse zum bestimmten Zeitpunkt)

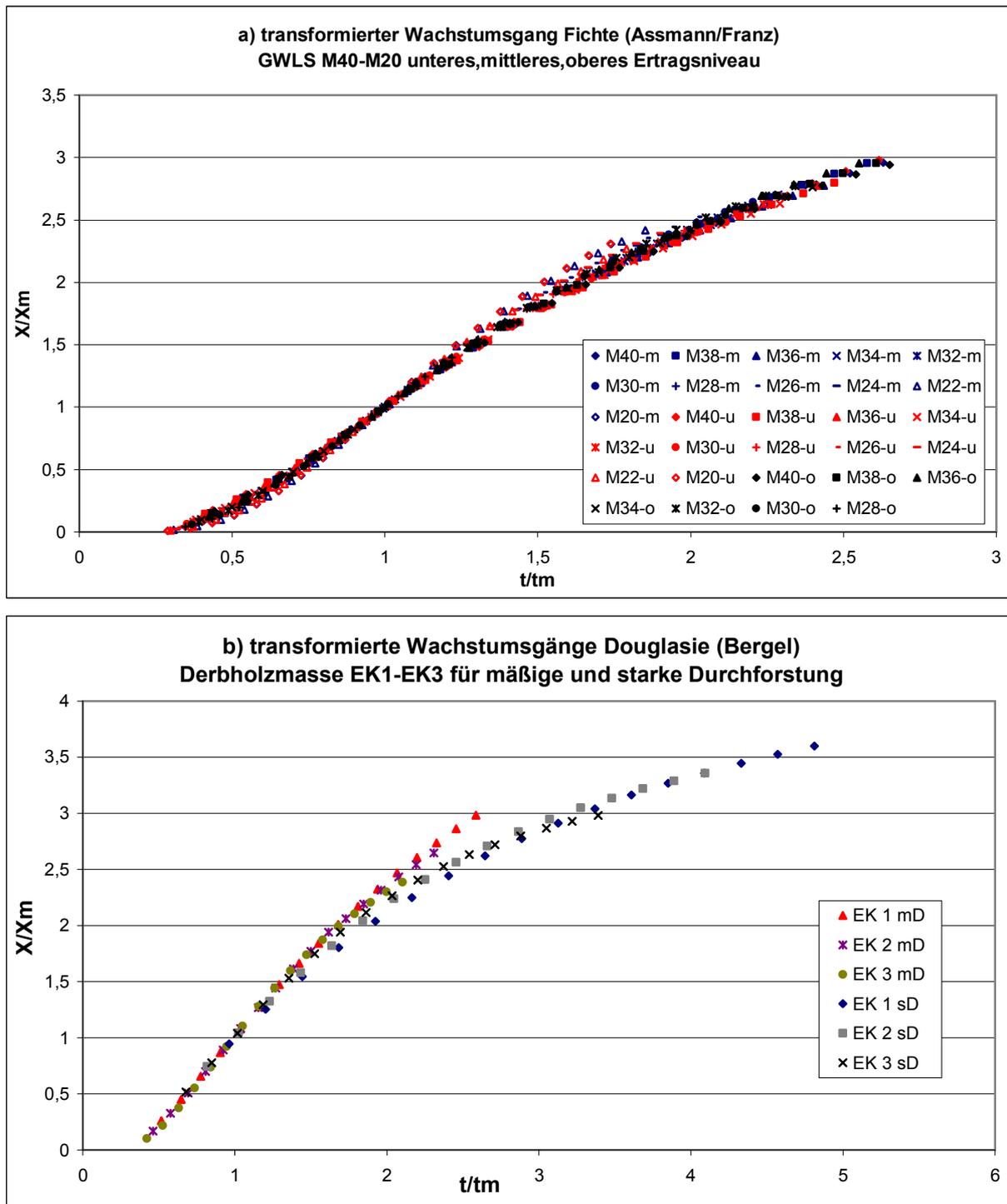


Abb. 78: a) Wachstumsverlauf für die Gesamtwuchsleistung Schaftholz (GWLS pro Hektar) für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) für oberes (o), mittleres (m) und unteres (u) Ertragsniveau
 b) Wachstumsverlauf für die Derbholzmasse (Derbholzmasse pro Hektar) für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) für mäßige Durchforstung (gekennzeichnet mit mD) und starke Durchforstung (gekennzeichnet mit sD)

Die für die Transformation wichtigen Werte für t_m und X_m sind in Tab. 92 und Tab. 93 angegeben. In Abb. 77 ist erkennbar, dass die Wachstumsgänge nach der Transformation für die Standortklassen 1-5 nahezu zusammenfallen und einen einheitlichen Wachstumsgang ergeben. Es kann also angenommen werden, dass weitere Wachstumsverläufe der Kenngröße Holzmasse oder

Gesamtwuchsleistung (GWL) nach der Transformation einen annähernd einheitlichen transformierten Wachstumsverlauf zeigen. Diese Annahme wird mit der Abb. 78a und Abb. 78b bestätigt.

In Abbildung Abb. 78a ist der transformierte Wachstumsgang der Gesamtwuchsleistung Schaffholz der einzelnen Bonitäten für das obere, mittlere und untere Ertragsniveau aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) und in Abb. 78b ist der transformierte Wachstumsgang der Gesamtleistung Derbholzmasse für mäßige und starke Durchforstung aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) dargestellt. Die Transformationsparameter für den transformierten Wachstumsverlauf wurden mit der Polynommethode bestimmt.

6 Schlussfolgerung/Ausblick

Auf der Grundlage von Daten zu Höhenwachstumsgängen aus forstlichen Ertragstafeln für verschiedene Baumarten deutet sich die Wirkung eines einheitlichen standortunabhängigen Wachstumsprinzips an. Dieses Wachstumsprinzip äußert sich beim Höhenwachstum von Bäumen und Beständen darin, dass (bei gleichartiger forstlicher Behandlung und bei konstanten Standortbedingungen) alle Wachstumsgänge unabhängig vom Standort (zum Teil auch in grober Näherung unabhängig von der Baumart) identisch werden, wenn für das Alter t und die Höhe X Einheiten (t_m und X_m) verwendet werden, die vom Zuwachsmaximum abhängen. Beide Größen t' und X' lassen sich im Allgemeinen in hinreichender Näherung aus den Daten des Wachstumsgangs ermitteln.

Der Umstand, dass sich die vielseitigen Standortunterschiede bezüglich des Höhenwachstums offensichtlich nur in einer Veränderung des t_m - und X_m -Wertes auswirken, weist darauf hin, dass sich Standorte hinsichtlich des Höhenwachstums nur mit Hilfe der beiden Werte t_m und X_m aggregiert charakterisieren lassen. Dieser Befund kann als Resultat eines einheitlichen vom Standort unabhängigen Wachstumsprinzips interpretiert werden. Aus dem einheitlichen transformierten Wachstumsgang kann, wenn die t_m - und X_m -Werte für einen Standort bekannt sind, der nichttransformierte normale Wachstumsgang durch Rücktransformation erhalten werden.

Die einheitlichen transformierten Wachstumsgänge für eine Gruppe verschiedener Baumarten unterscheidet sich von dem entsprechenden transformierten Wachstumsgang für Fichten nur wenig. Zu dieser Gruppe zählten Roteiche, Tanne, Rotbuche und Douglasie (siehe Abb. 63). Für Lärche, Eiche und Küstentanne ergaben sich größere Unterschiede, welche auf einen anderen Wachstumsverlauf der Baumarten zurückzuführen sind. Innerhalb der Baumarten zeigen sich jedoch auch Abweichungen, so dass ein in grober Näherung für mehrere Baumarten geltendes baumartenunabhängiges Wachstumsprinzip nur bei der angesprochenen Gruppe von Baumarten vermutet werden kann.

Für die Bestimmung der Transformationsparameter t_m und X_m sind hinreichend viele Messdaten vor dem Zuwachsmaximum besonders wichtig. Für weitere Untersuchungen sowie für Anwendungen der beschriebenen Transformationseigenschaft erscheint daher die Erhebung von hinreichend vielen Messwerten vor dem Zuwachsmaximum besonders wünschenswert.

Anhand der Untersuchungen von Versuchsflächen bei Denklingen (Südbayern), welche die Mittelwerte von Oberhöhen betrachten, wurde eine deutliche etwa im Jahre 1916 beginnende Abweichung des transformierten Wachstumsgangs vom gemeinsamen transformierten Wachstumsgang für Fichten gefunden. Da die Gültigkeit der Ausgangshypothese an Voraussetzungen (im Wesentlichen gleiche forstliche Maßnahmen und Konstanz der

Standortseigenschaften) gebunden ist, wird diese Abweichung als Folge einer Veränderung von Standortseigenschaften (Erhöhung der Stickstoffverfügbarkeit) interpretiert. Mit Hilfe der Transformation von Wachstumsgängen ergibt sich somit die Möglichkeit, die Änderung von Standortseigenschaften in der Vergangenheit nachzuweisen und zeitlich in ihrer Wirkung einzuordnen.

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass sich die Wachstumsverläufe sowohl der gemittelten Höhen von Einzelbäumen als auch von den Mittelhöhen von Fichtenbeständen durch eine einfache Achsentransformation auf einen einheitlichen, vom Standort unabhängigen, universellen Wachstumsverlauf überführen lassen. Diese Vorgehensweise ist auch auf andere Wachstumskennwerte übertragbar. Am Beispiel der Holzmasse bzw. der Gesamtwuchsleistung von Fichte ist ein einheitlicher Wachstumsverlauf verschiedener Standortsklassen bzw. Bonitäten einer Baumart festgestellt worden.

Für die Untersuchungen mit Hilfe des Evolonmodells wurden Ertragstafelwerte der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche, Tanne, Douglasie, Roteiche, Eiche, Lärche, Küstentanne und Eukalyptus sowie Stammanalysen von Einzelbäumen der Baumart Fichte, Buche, Kiefer und Sumpflärche und Mittelwerte der Einzelbäume verwendet. Dabei konnte die Hypothese, dass die theoretische Endhöhe eines Baumes oder eines Bestandes unter Verwendung des Evolonmodells von MENDE (1982, 1985) unabhängig von der Baumart etwa fünfmal größer als die Höhe X_m beim Auftreten des Zuwachsmaximums ($B/X_m=(k+1)/k=5$) ist, nicht eindeutig bestätigt werden. Für die Baumart Fichte scheint die Annahme der Ausgangshypothese übereinzustimmen. Bei anderen Baumarten bzw. Ertragsklassen oder Bonitäten weicht das Verhältnis von fünf ab.

Für die Forstwissenschaft können sich aus den Ergebnissen verschiedene Anwendungen ergeben.

- Es lassen sich die Resultate vieler verschiedener Versuchsflächen auf unterschiedlichen Standorten einer Baumart anhand der transformierten Wachstumsgänge vergleichen und zusammenführen.
- Die Untersuchung der Möglichkeit einer iterativen Früheinordnung von Standorten scheint lohnend, indem versucht wird, geeignete t_m und X_m zu finden, die den transformierten Wachstumsgang bereits in seiner frühen Phase mit dem einheitlichen transformierten Wachstumsgang in Einklang bringen.
- Die Anwendung des Evolonmodells in der Forstwissenschaft ist unbedingt zu empfehlen, da das Modell den Wachstumsprozess der verschiedenen Baumarten sehr gut beschreibt und auch Prognosen zu den einzelnen Baumarten präziser als andere Modelle ergibt, vorausgesetzt, es treten keine unvorhergesehenen Störungen im Wachstumsprozess auf. Durch Abweichungen des transformierten Wachstumsgangs vom einheitlich transformierten Wachstumsgang lassen sich systematische Veränderungen des Standorts oder des Einflusses

auf den Standort aufzeigen, zeitlich einordnen und ihre Wirkung abschätzen. Bereits RÖMISCH (1979) wies darauf hin, dass einige Wachstumsfunktionen bzw. Wachstumsmodelle nicht den gesamten Wachstumsverlauf hinreichend gut beschreiben und keine realitätsnahe Extrapolation möglich ist.

- Das Evolonmodell beschreibt nicht nur das Höhenwachstum von Bäumen und Beständen gut, sondern auch die Wachstumsprozesse anderer Kenngrößen, z.B. der Holzmasse.

7 Zusammenfassung

Mit den Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums für verschiedene Baumarten unter Verwendung einer Wachstumsfunktion in Form eines Polynoms und des Evolonmodells als Wachstumsmodell soll ein einheitliches Wachstumsprinzip von Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln und Einzelbäumen verschiedener Baumarten bei gleichartiger forstlicher Behandlung und konstanten Standortbedingungen gezeigt werden. Dabei wird der Annahme nachgegangen, wonach die theoretische Endhöhe eines Bestandes fünfmal größer als die Höhe beim Auftreten des Zuwachsmaximums ist. Ein einheitliches Wachstumsprinzip kann unter diesen Bedingungen auf weitere Wachstumskenngrößen übertragen werden und die Bildung eines transformierten Universalwachstumsgangs ist für jede Baumart mit der entsprechenden Wachstumskenngröße möglich.

Die Datengrundlage bildeten dabei Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln der Baumarten Fichte, Kiefer, Buche, Tanne, Douglasie, Roteiche, Eiche, Lärche, Küstentanne und Eukalyptus sowie Stammanalysen von Einzelbäumen der Baumart Fichte, Buche, Kiefer und Sumpflärche.

Um eine Transformation von Wachstumsgängen durchführen zu können, mussten zunächst die Werte der Transformationsparameter t_m und X_m bestimmt werden. t_m repräsentiert dabei das Alter beim Auftreten des Zuwachsmaximums und X_m repräsentiert die zugehörige Höhe $X_m = X(t_m)$. Bei der Transformation ($t' = t/t_m$ und $X' = X/X_m$) der Wachstumsgänge wird praktisch von den Einheiten Jahre und Meter zu dimensionslosen Einheiten der Werte t' und X' übergegangen. Die Bestimmung der Transformationsparameter t_m und X_m wurde unter Verwendung von zwei Methoden geprüft.

Im ersten Teil der Untersuchungen des Höhenwachstums für verschiedene Baumarten wurde ein Polynom dritten Grades genutzt, um die Transformationsparameter t_m und X_m zu bestimmen. Im zweiten Teil der Untersuchungen kam das Evolonmodell zur Anwendung, mit welchem die Wachstumsgänge anhand der Parameter des Evolonmodells interpretiert werden konnten.

Ausgehend von den aufgestellten Hypothesen wird festgestellt, dass der Wachstumsverlauf für Ertragsklassen bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln für eine Baumart unter Verwendung der Polynommethode nach der Transformation nahezu identisch zusammenfallen. Zusätzlich zeigte sich, dass die transformierten Wachstumsgänge für eine Gruppe verschiedener Baumarten relativ wenig voneinander abweichen. Beim Vergleich der Polynommethode und der Methode mit Hilfe des Evolonmodells wurden jedoch Unterschiede festgestellt, welche nicht abschließend geklärt werden konnten.

Anhand der Wachstumsdaten von Stammanalysen für Einzelbäume wurde dargestellt, dass der transformierte Wachstumsverlauf ohne Bildung eines Mittelwertes sehr dynamisch verläuft. Nach

der Mittelwertbildung zeigte sich für die Baumart Fichte, dass die gemittelten Höhen von Einzelbäumen nach Anwendung der Transformation im Wesentlichen identisch werden. Dies weist auf ein einheitliches, vom Standort unabhängiges, Wachstumsprinzip hin. Weiterhin folgt daraus, dass sich der Einfluss der unterschiedlichen Standortseigenschaften auf das Höhenwachstum im Wesentlichen nur in einer Veränderung des Baumalters und der Baumhöhe beim Eintritt des Zuwachsmaximums auswirkt. Mit Hilfe der Transformation von Wachstumsgängen ergibt sich die Möglichkeit, die Änderung von Standortseigenschaften in der Vergangenheit nachzuweisen und ihre Wirkung zeitlich einzuordnen. Dieses Ergebnis konnte an einigen Beispielen belegt werden, so dass Besonderheiten des Höhenwachstums von Einzelbäumen nachvollziehbar interpretiert wurden. Unter Verwendung des Evolonmodells war es zusätzlich möglich, die Parameter des Evolonmodells zur Beschreibung des Wachstumsverlaufs zu nutzen und ein unterdrücktes Höhenwachstum in der Jugendphase zu identifizieren. Da die Gültigkeit der Ausgangshypothese an Voraussetzungen (im Wesentlichen gleiche forstliche Maßnahmen und Konstanz der Standortseigenschaften) gebunden ist, konnte eine Abweichung als Folge einer Veränderung von Standortseigenschaften beschrieben und eingeordnet werden. Mit Hilfe des Evolonmodells ist es somit möglich, die Wachstumsverläufe von Einzelbäumen sehr gut zu interpretieren.

8 Summary

The aim of the investigations on site independent characteristics of growth for diverse tree species with the help of a polynomial growth function and the Evolon growth model was to show a standardized growth principle for yield power or stand heights from yield tables and single trees of diverse tree species with similar forest management and constant site quality. The assumption was that the theoretic final height of a tree population is five times higher than the height when the maximum of increment appears. At these prerequisites a standardized growth model can be transferred to other growth parameters and the generation of a transformed universal growth curve for each tree species with the respective growth parameters is possible.

The data were bases on yield power or stand heights from yield tables for the tree species spruce, pine, beech, fir, Douglas fir, red oak, oak, larch, grand fir and eucalyptus as well as trunk analysis of single trees of spruce, beech, pine and black larch.

Prior to conducting a transformation of growth series the values of the transformation parameters t_m and X_m had to be determined where t_m represent the age when the maximum of increment appears and X_m represents the corresponding height $X_m = X(t_m)$. During transformation ($t' = t/t_m$ and $X' = X/X_m$) of the growth curves a transition from the units year and meter to the non-

dimensional units t' and X' takes place. The determination of the transformation parameters t_m and X_m was verified with two different methods.

In the first part of the investigation regarding the growth height of different tree species a 3rd degree polynomial was used to determine the transformation parameters t_m and X_m . In the second part of the investigation the Evolon growth model was used, which allows an interpretation of the growth curves with the help of the parameters of the Evolon model.

Based on the assumed hypotheses it was observed that the growth series of stand heights from yield tables for a tree species using the polynomial method are nearly identical after transformation. Additionally it was shown that the transformed growth series for a group of different tree species are only slightly deviating from each other. Comparing the polynomial and the Evolon model method differences between both approaches were observed, which could not be finally clarified within this investigation.

The growth data of trunk analysis of single trees showed a highly dynamic progression of the transformed growth series without determination of the mean value. The determination of the mean value for the tree species spruce revealed that the average heights of the single trees were basically identical after applying the transformation. This result hints to a unique site independent growth principle for spruce. Furthermore it was observed that the influence of the different site quality on the height increment primarily has effects on the age of the trees and their height at the entrance of the maximum of increment. Using the transformation of growth series it is possible to verify changes of the site quality in the past and to estimate the time scale of these changes. This result was strengthened by examples to interpret the height increment of single trees comprehensibly. By using the Evolon growth model it was also possible to apply the Evolon model parameters for characterizing the growth series and to identify a suppressed height increment during early stages of tree development. Because the validity of the initially assumed hypotheses depends on different conditions (primarily similar forest management and constant site quality) a deviation from the hypotheses is a consequence from a change in the site quality. It can be concluded that the Evolon growth model is a very good tool for interpretation of growth series for single trees.

9 Literatur

- ALBRECHT, K.-F. (2006): Einheitliche Prinzipien beim Bestandeswachstum von Fichten auf unterschiedlichen Standorten, Forstwissenschaftliche Tagung, Dresden 20.09. – 22.09.2006
- ALBRECHT, K.-F. (2007): mündliche Mitteilung
- ALBRECHT, K.-F. (2007): Script zur Vorlesung Umweltsystemanalyse, Technische Universität Dresden: Fakultät Forstwissenschaften, Tharandt
- ALBRECHT, K.-F., MENDE, W. (1989): „Growth analysis of energy consumption by means of the Evolon Model“, Syst. Anal. Simul., 6, pp. 125-146.
- ALBRECHT, K.-F.; MIBBACH, S. (2008): Eintrittsalter des Zuwachsmaximums und die dabei erreichte Höhe als standortcharakterisierende Parameter zur einheitlichen standortunabhängigen Beschreibung des Wachstums von Baum- und Mittelhöhen von Beständen, 20. Tagung der Internationalen Biometrischen Gesellschaft – Deutsche Region, Freiberg 22.-24. Sept. 2008, Freiburg, Hrsg. K. Römisch, A. Nothdurft und U. Wunn; S. 164-173
- ALBRECHT, K.-F.; MIBBACH, S. (2009): Standortunabhängige Eigenschaften des Höhenwachstums von Fichten und weiteren Baumarten, Allg. Forst und Jagdzeitung, Jg.180, Heft 9, S. 184-194
- ALBRECHT, K.-F.; MIBBACH, S. (2009): Universal, site-independent growth principle for height growth of spruce and other tree species, Известия Самарского научного центра Российской академии наук, Tom 11, No 1(7)
- ASSMANN, E. (1961): Waldertragskunde, Bayrischer Landwirtschaftsverlag, München
- ASSMANN, E.; FRANZ, F. (1963): Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern 1963, Auszugsweiser Nachdruck der DDR in: Tafeln für optimale Bestockungsdichte und Zuwachs-Reduktionstafeln für Fichte, Druckerei „Neuer Tag“, Frankfurt (Oder)
- ASSMANN, E.; FRANZ, F. (1965): Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern, Forstwissenschaftliches Zentralblatt 84 (1/2), Sonderdruck Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 1-68
- ASSMANN, E.; FRANZ, F. (1972): Vorläufige Fichtenertragstafel für Bayern 1963, 2. Auflage, Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München, München
- BACKMAN, G. (1942): Das Wachstum der Bäume, Wilhelm Roux' Arch. Entwicklungsmech. Organismen, Berlin, S. 455-499
- BACKMAN, G. (1943): Wachstum und organische Zeit, J. A. Barth Verlag, Leipzig
- BAUER, F. (1953): Die Roteiche, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- BAUER, E. S. (1935,1982): Theoretische Biologie (1935 russisch; 1982 russisch und ungarisch, mit englischer Zusammenfassung). Akademiai Kiadó, Budapest
- BERGEL, D. (1985): Douglasien-Ertragstafel für Nordwestdeutschland, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Fachhochschule Hildesheim/Holzminde

- BERMANN, H.; HÄNEL, R. (1973): Ertragskundliche Untersuchungen an Probestämmen aus Kiefern- und Fichtenjungbeständen, Diplomarbeit, TU Dresden
- v. BERTALANFFY, L. (1951): Theoretische Biologie, Zürich, Band 2
- BOLTZMANN, L. (1905): Populäre Schriften, Nachdruck von 1905, SERVUS Verlag 2011, Hamburg
- BRADLEY R. T., CHRISTIE J. M., JOHNSTON D. R. (1966): Forest Management Tables, Forestry Commission, Her Majesty's Stationery Office, London
- BRAUN, U. (1999): Modellbeschreibung von Zeitreihen zum autonomen Baumwachstum – Prüfung der Hypothese über die Artenabhängigkeit der Kooperativitätsparameter des Evolonmodells beim Höhenwachstum von Bäumen, Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät Forstwissenschaften
- DIEN, T. D.; VIET, L. S. (1972): Erarbeitung einer Methode zur Ermittlung des Volumenzuwachses und ertragskundliche Untersuchungen in Fichtenjungbeständen, Diplomarbeit, TU Dresden
- ERTELD, W. (1962): Ertragstafelauszüge für den Gebrauch in der Praxis, 2. Auflage, Neumann Verlag, Radebeul
- ERTELD, W.; HENGST, E. (1966): Waldertragslehre, Neumann Verlag, Radebeul
- ERZEUGERGEMEINSCHAFT FÜR AUTOCHTHONE BAUMSCHULERZEUGNISSE IN BAYERN (2004): Autochthone Pflanzen für Bayern - Ursprung, Aufzucht, Kontrolle und Verwendung, Dießen am Ammersee
- FEDERBUSCH, U. (2000): Schätz- und Prognoseeigenschaften eines hyperlogistischen Wachstumsmodells für mikrobielle Abbauprozesse, Dissertation, TU Dresden, Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften
- v. GADOW et al. (1987): South African Forestry Handbook, Southern African Institute of Forestry, V&R Printers, Paul Kruger Street, Pretoria
- v. GADOW, K. (2003): Waldstruktur und Wachstum, Universitätsverlag Göttingen, Göttingen
- GLAß, J. et. al.(1984): Fachwissen des Forstingenieurs, Naturwissenschaftliche Grundlagen, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- v. GUTTENBERG, A. R. (1915): Wachstum und Ertrag der Fichte im Hochgebirge, Franz Deuticke Verlag, Wien und Leipzig
- GOMPERTZ, B. (1925): On the nature of the function expressive of law of human mortality and on a new mode of determining the value of life Contingencies, Philosophical Transactions of Royal Society of London, S. 513-585
- GÖTTLEIN, A. (2010): private Mitteilung, TU-München/Freising
- HARTMANN, K.-U. (2004): Untersuchung und Erprobung einer Prognosemethode zum Höhenwachstum von Fichtenbeständen, Diplomarbeit TU Dresden
- HERING, S. (1994): Vergleichende Stammanalysen in einem Fichten-Buchen-Altbestand im Forstamt Willing (Upland); Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen

- JAMES, F.; ROOS, M. (1977): "MINUIT - A system for function minimization and analysis of the parameter errors and correlations", Geneva, Computer Physics Communication 10, (Site 343-367), North Holland Publishing
- KERKMANN, M. (2001): Waldwachstumskundliche Untersuchungen an Sumpflärche (*Larix laricina*)
Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen
- KORF, V. (1939): Beitrag zur mathematischen Definition des Massenwachstumsgesetzes der Waldbestände, Lesnická práce, Praha, S. 339-379
- KRABEL, D.; LIESBACH, M.; SCHNECK, V.; WOLF, H. (2010): Transfer von Saat- und Pflanzgut innerhalb Europas – Was wir wissen?, Forst und Holz, Heft 11
- KRAMER, H.; AKÇA, A. (1982): Leitfaden für Dendrometrie und Bestandesinventur,
J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- KRAMER, H.; AKÇA, A. (1995): Leitfaden zur Waldmeßlehre, 3. Auflage, J. D. Sauerländer's
Verlag, Frankfurt a. M.
- KRAMER, H. (1959): Die Oberhöhe als Bestandesmerkmal, Allg. Forst und Jagdzeitung, Jg.130,
Heft 10, S. 241-255
- KRAMER, H. (1979): Zum Wachstum der Uraltfichten „Dicke Tanne“, Forstarchiv 50, S. 214-219
- KRAMER, H. (1988): Waldwachstumslehre, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR O. (1976): DDR-Kieferntragsstabelle, Eberswalde-Finow,
Institut für Forstwissenschaft
- LEMBCKE, G.; KNAPP, E.; DITTMAR O. (2000): Ertragsstabelle für die Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im
nordostdeutschen Tiefland, Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und
Raumordnung des Landes Brandenburg, Landesforstanstalt Eberswalde,
Vieth + Vieth Verlag, GmbH
- LIEBOLD, E. (1963): Die Erkennbarkeit der Wuchspotenz des Einzelbaumes im gleichaltrigen
Fichtenreinbestand, Sozialistische Forstwirtschaft, Berlin S 142-145
- LIEBOLD, E. (1966): Kritische Betrachtungen zur Waldgefügetypenlehre von J. Weck,
Habilitationsschrift TU Dresden
- LOCKOW, K-W. (2014): mündliche Aussage
- MARSCHNER, W. (1972): Untersuchungen über das Wachstum der Lausitzer Tieflandsfichte auf
ihren ursprünglichen Standorten im Lausitzer Kiefern-Traubeneichengebiet, Dissertation,
TU Dresden
- MENDE, W. (1976): Wachstum und Evolution ökologischer und ökonomischer Systeme,
Forschungsbericht IGG der AdW der DDR
- MENDE, W. (1982): Untersuchungen zur Phänomenologie und zur Systemtheorie von Wachstums-
und Evolutionsprozessen, Forschungsbericht AdW der DDR, IGG

- MENDE, W. (1985): The evolon growth modell and its applications to natural processes.
In: Lotka-Volterra-Approach to cooperation and competition in dynamic systems. Ebeling, W. & Peschel M./Hrsg.), Akademie-Verlag, Berlin, S. 261-271
- MENDE, W.; ALBRECHT, K.-F. (2001): Beschreibung und Interpretation des Fichtenwachstums mit Hilfe des Evolon-Modells, Forstw. Cbl. 120, 53-67, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin
- MIBBACH, S. (2008): Methodische Untersuchungen zu standortunabhängigen Eigenschaften des Wachstums von Bestandeshöhen und Baumhöhen, Diplomarbeit, TU Dresden
- MIBBACH, S.; ALBRECHT, K.-F.; RÖHLE, H.; GEROLD D. (2010): Transformation von Wachstumsgängen in eine gemeinsame standortunabhängige Form mit Hilfe von Alter (tm) und Höhe (Xm) beim Zuwachsmaximum, 22. Tagung der Internationalen Biometrischen Gesellschaft – Deutsche Region, Freiberg 22.-24 Sept. 2008, Freiburg, Hrsg. K. Römisch, A. Nothdurft und U. Wunn; S. 22-41
- MITSCHERLICH, E. A. (1919): Das Gesetz des Pflanzenwachstums, Landwirtschaftliches Jahrbuch Dresden, S. 167
- MITSCHERLICH, G. (1970): Form und Wachstum von Baum und Bestand, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- NAKE, R. (1983): Die Eignung von Wachstumsfunktionen für die Konstruktion von Ertragstafeln, Dissertation, TU Dresden
- PESCHEL, M.; MENDE, W. (1983): Leben wir in einer Volterra-Welt? Ein ökologischer Zugang zur angewandten Systemanalyse, Akademie-Verlag, Berlin, S. 36-48
- PESCHEL, M.; MENDE, W. (1983): The Predator-Prey Model: Do We Live in a Volterra World?, Springer-Verlag, Wien und New York, S. 19-30
- PESCHEL, W. (1938): Die mathematischen Methoden zur Herleitung der Wachstumsgesetze von Baum und Bestand und Ergebnissen ihrer Anwendung, Verlag Paul Parey, Berlin SW11
- POLEY, C. (2009): Theoretische und empirische Analyse des Höhenwachstums von Einzelbaum und Bestand, Diplomarbeit Fachhochschule Hildesheim/Holzminden/Göttingen
- PRETZSCH, H. (2001): Modellierung des Waldwachstums, Parey Buchverlag, Berlin und Wien
- PRETZSCH, H. (2002): Grundlagen der Waldwachstumsforschung, Parey Buchverlag, Berlin und Wien
- PRETZSCH, H. (2010): Forest Dynamics, Growth an Yield, Springer Verlag Heidelberg Dordrecht London New York
- PRODAN, M. (1951): Messung der Waldbestände, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- PRODAN, M. (1961): Forstliche Biometrie, BLV Verlagsgesellschaft, München Bonn Wien
- PRODAN, M. (1965): Holzmesslehre, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- RICHARDS, F. J. (1942): A flexible growth function for empirical use, J. Experimental Botanic 29

- ROBERTSON, T. B. (1942): Further remarks on the normal rate of growth of an individual and its biochemical significance, Wilhelm Roux' Arch. Entwicklungsmech. Organismen, Leipzig, S. 108-118
- RÖHLE, H. (1995): Zum Wachstum der Fichte auf Hochleistungsstandorten in Südbayern, Mitteilung aus der Staatsforstverwaltung Bayerns, Heft 48, München
- RÖHLE, H. (1997): Änderung von Bonität und Ertragsniveau in südbayrischen Fichtenbeständen, Allg. Forst. und Jagdzeitung, Jg.168, Heft 6/7, S.110-114
- ROHMEDER, E. (1972), Das Saatgut in der Forstwirtschaft, Parey, Hamburg und Berlin
- RÖMISCH, K. (1979): Die Eignung verschiedener Wachstumsfunktionen zur Beschreibung des Baumhöhenwachstums, Gegenbauers morph. Jahrbuch, Leipzig 125, 5, S. 635-643
- RÖMISCH, K. (1982): Ein mathematisches Modell zur Simulation von Wachstum und Durchforstung gleichaltriger Reinbestände, Dissertation, TU Dresden
- RÖMISCH, K. (2009): Programm MINUIT - Beschreibung der Ein- und Ausgabedaten, Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, TU Dresden
- SCHLENZKA, M. (2000): Modellhafte Beschreibung und Prognose des Weltbevölkerungswachstums unter Anwendung des Evolon-Modells von Werner Mende, Diplomarbeit, TU Dresden
- SCHNEIDER, W. (1955): Holzmesslehre und Zuwachsermittlung, Deutscher Bauernverlag, Berlin
- SCHOBER, R. (1948): Die Lärche, Verlag M. u. H. Schaper, Hannover
- SCHOBER, R. (1995): Ertragstabellen wichtiger Baumarten, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- SLOBODA, B. (1971): Zur Darstellung von Wachstumsprozessen mit Hilfe von Differentialgleichungen erster Ordnung, Mitteilungen der Baden-Württembergischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Heft 32
- THOMASIIUS, H. (1962): Methodische Untersuchungen über die Möglichkeit einer quantitativen Standortbeurteilung mit Hilfe von Wachstumsfunktionen, Dissertation, TU Dresden
- THOMASIIUS, H. (1964): Über die Abhängigkeit des Wachstums der Waldbäume von Zeit und Umwelt, Tagungsbericht Dt. Akad. Landwirtschaftswiss., Berlin, S. 125-149
- VANSELOW, K. (1941): Einführung in die Forstliche Zuwachs- und Ertragslehre, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- VERHULST, P. F. (1944): Recherches mathématique sur la loi d'accroissement de la population, Mém. Acad. Roy. Bruxelles
- WECK, J. (1948): Forstliche Zuwachs- und Ertragskunde, Neumann Verlag, Radebeul und Berlin
- WENK, G.; ANTANAITIS, V.; ŠMELKO, Š. (1990): Waldertragslehre, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

- WENK, G.; RÖMISCH, K.; GEROLD, G. (1984): DDR-Fichtenertragstafel, Agrarwissenschaftliche Gesellschaft der DDR
- WIEDEMANN, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft, J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt/M.
- WOLF H. (2010): private Mitteilung, Graupa
- ZEIDE, B. (1993): Analysis of Growth Equations, Forest Science Vol. 39, Nr. 3, pp. 594-616
- ZEIDE, B. (2004): Intrinsic units in growth modeling, Ecological Modelling Vol. 175, Issue 3, pp. 249-259,
http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VBS-4BHVGYD-H&_user=10&_coverDate=07%2F15%2F2004&_alid=761868272&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_cdi=5934&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=1&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=af6f3d8cb6ce8f123dbec754a4bf2bee

10 Anhang

- a) Ausgangsdaten für die Untersuchung Seite 154-174
 b) Abbildungen und Übersichtstabelle zu den einzelnen Evolonparameter Seite 175-184
 c) Zuwachsverläufe der Ausgangsdaten und Seite 185-193

Tab. 94: Ertragstafelwerte für die Baumart Fichte von v. GUTTENBERG (1915)

Bestandesalter, a	v. Guttenberg: Bestandeshöhe, m				
	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5
10	1,4	1,1	0,9	0,7	
20	5,3	4,1	3,2	2,4	1,3
30	10,0	7,8	6,1	4,5	2,8
40	14,7	11,6	9,2	6,8	4,4
50	19,0	15,3	12,3	9,1	6,1
60	22,8	18,6	15,0	11,2	7,7
70	26,0	21,5	17,4	13,2	9,2
80	28,7	24,0	19,5	14,9	10,6
90	31,0	26,1	21,3	16,5	11,9
100	32,9	27,9	22,9	18,0	13,1
110	34,5	29,4	24,3	19,4	14,2
120	35,8	30,7	25,6	20,7	15,2
130	37,0	31,9	26,8	21,9	16,1
140	38,1	33,0	27,9	23,0	16,9
150	39,1	34,0	28,9	24,0	17,7

Tab. 95: Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Fichte von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)

Best.- alter, a	Assmann/Franz: Bestandesmittelhöhe (HM), m										
	M40	M38	M36	M34	M32	M30	M28	M26	M24	M22	M20
20	7,6	6,9	6,2	5,5	4,8	4,1	3,5	2,9	2,4	1,9	1,5
25	10,6	9,7	8,8	7,9	7,0	6,1	5,3	4,6	3,8	3,2	2,6
30	13,5	12,5	11,5	10,4	9,3	8,2	7,2	6,3	5,4	4,5	3,8
35	16,2	15,2	14,0	12,6	11,5	10,3	9,1	8,0	6,9	5,9	5,0
40	18,8	17,6	16,3	15,1	13,6	12,2	10,9	9,7	8,5	7,3	6,2
45	21,3	20,0	18,5	17,1	15,6	14,1	12,7	11,3	9,9	8,7	7,5
50	23,5	22,1	20,6	19,0	17,4	15,8	14,3	12,8	11,4	10,0	8,6
55	25,5	24,0	22,4	20,8	19,1	17,4	15,8	14,2	12,7	11,2	9,8
60	27,4	25,8	24,2	22,4	20,7	19,0	17,3	15,6	14,0	12,4	10,8
65	29,1	27,5	25,7	23,9	22,1	20,3	18,6	16,8	15,1	13,5	11,9
70	30,6	28,9	27,1	25,3	23,5	21,6	19,8	18,0	16,2	14,5	12,8
75	32,1	30,3	28,4	26,6	24,7	22,8	20,9	19,1	17,3	15,5	13,7
80	33,3	31,5	29,6	27,7	25,8	23,9	22,0	20,1	18,2	16,4	14,6
85	34,5	32,6	30,7	28,7	26,8	24,9	22,9	21,0	19,1	17,2	15,4
90	35,6	33,6	31,7	29,7	27,7	25,8	23,8	21,9	19,9	18,0	16,1
95	36,5	34,5	32,5	30,5	28,5	26,6	24,6	22,6	20,7	18,7	16,8
100	37,4	35,3	33,3	31,3	29,3	27,3	25,3	23,4	21,4	19,4	17,5
105	38,1	36,1	34,0	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0	18,1
110	38,8	36,7	34,6	32,6	30,6	28,6	26,6	24,6	22,6	20,6	18,6
115	39,5	37,3	35,2	33,2	31,2	29,2	27,2	25,2	23,2	21,2	19,1
120	40,0	37,8	35,7	33,7	31,6	29,7	27,7	25,7	23,7	21,7	19,6

Tab. 96: Ertragstafelwerte der Oberhöhen für die Baumart Fichte von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972)

Best.- alter, a	Assmann/Franz: Bestandesoberhöhe (HO), m										
	M40	M38	M36	M34	M32	M30	M28	M26	M24	M22	M20
20	9,6	8,8	8,0	7,3	6,5	5,8	5,1	4,5	3,9	3,4	2,9
25	12,8	11,9	11,0	10,0	9,0	8,1	7,2	6,4	5,6	4,9	4,2
30	16,0	14,9	13,8	12,6	11,5	10,4	9,3	8,3	7,3	6,4	5,6
35	18,9	17,7	16,5	15,1	13,8	12,6	11,3	10,1	9,0	8,0	7,0
40	21,6	20,3	18,9	17,5	16,1	14,6	13,3	11,9	10,7	9,5	8,3
45	24,1	22,7	21,2	19,7	18,1	16,6	15,1	13,6	12,3	10,9	9,7
50	26,3	24,9	23,3	21,7	20,0	18,4	16,8	15,3	13,7	12,3	10,9
55	28,4	26,9	25,2	23,5	21,8	20,1	18,4	16,8	15,2	13,6	12,1
60	30,1	28,7	27,0	25,2	23,4	21,6	19,9	18,1	16,5	14,8	13,2
65	32,0	30,3	28,6	26,7	24,9	23,1	21,2	19,4	17,7	16,0	14,3
70	33,5	31,8	30,0	28,1	26,2	24,4	22,5	20,6	18,8	17,0	15,3
75	34,9	33,1	31,3	29,4	27,5	25,5	23,6	21,7	19,9	18,0	16,2
80	36,2	34,3	32,4	30,5	28,6	26,6	24,7	22,8	20,9	19,0	17,1
85	37,3	35,4	33,5	31,5	29,6	27,6	25,6	23,7	21,8	19,8	17,9
90	38,3	36,4	34,4	32,5	30,5	28,5	26,5	24,5	22,6	20,6	18,7
95	39,2	37,3	35,3	33,3	31,3	29,3	27,3	25,3	23,3	21,4	19,2
100	40,0	38,0	36,0	34,0	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0
105	40,8	38,7	36,7	34,7	32,7	30,7	28,7	26,7	24,7	22,7	20,7
110	41,4	39,4	37,3	35,3	33,3	31,3	29,3	27,3	25,3	23,3	21,2
115	42,0	39,9	37,9	35,8	33,8	31,8	29,8	27,8	25,8	23,8	21,7
120	42,5	40,4	38,3	36,3	34,3	32,3	30,3	28,3	26,3	24,3	22,2

Tab. 97: Ertragstafelwerte für die Baumart Roteiche von BAUER (1953; aus SCHÖBER, 1995)

Best.- alter, a	Bauer: Bestandesmittelhöhe, m		
	EK1	EK2	EK3
0	0	0	0
5	2,0	1,6	1,2
10	4,5	3,6	2,7
15	7,5	6,0	4,5
20	11,0	8,8	6,6
25	14,0	11,5	9,0
30	16,5	13,8	11,1
35	18,6	15,7	12,9
40	20,4	17,4	14,5
45	22,0	18,9	15,9
50	23,5	20,3	17,2
55	24,7	21,5	18,4
60	25,9	22,7	19,5
65	27,0	23,7	20,5
70	28,0	24,7	21,4
75	28,9	25,5	22,2
80	29,7	26,3	22,9
85	30,4	26,9	23,5
90	31,0	27,5	24,0
95	31,5	27,9	24,4
100	31,9	28,3	24,7

Tab. 98: Ertragstafelwerte für die Baumart Fichte aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984); schnelles, mittleres und langsames System

Best.- alter, a	DDR-Fichtenertragstafel schnelles System: Bestandesmittelhöhe, m									
	S32	S30	S28	S26	S24	S22	S20	S18	S16	
10	4,8	3,2	2,0	1,7	1,5	1,3	1,1	1,1	0,8	
20	9,9	7,4	4,8	4,0	3,4	3,0	2,7	2,7	2,0	
30	15,3	12,2	9,2	8,1	7,0	6,0	4,9	4,9	3,4	
40	19,4	16,2	12,8	11,4	10,3	9,1	7,8	6,6	5,5	
50	22,8	19,6	16,1	14,6	13,1	11,7	10,4	9,1	7,9	
60	25,5	22,4	19,1	17,4	15,8	14,2	12,6	11,2	9,8	
70	27,7	24,9	21,8	19,9	18,2	16,5	14,7	13,1	11,5	
80	29,5	26,9	24,1	22,2	20,4	18,5	16,6	14,9	13,1	
90	30,9	28,6	26,2	24,2	22,3	20,4	18,4	16,5	14,6	
100	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0	18,0	16,0	
110	32,9	31,1	29,5	27,5	25,5	23,5	21,3	19,3	17,2	
120	33,5	32,0	30,8	28,8	26,8	24,7	22,6	20,4	18,3	
130			31,9	29,9	27,9	25,8	23,6	21,5	19,3	
140							24,6	22,3	20,1	
Best.- alter, a	DDR-Fichtenertragstafel mittleres System: Bestandesmittelhöhe, m									
	M36	M34	M32	M30	M28	M26	M24	M22	M20	
10	4,5	3,6	2,8	2,2	1,7	1,3	1,0	0,7	0,4	
20	10,6	8,6	7,0	5,4	4,1	3,2	2,6	2,2	1,8	
30	16,5	14,0	11,9	10,0	8,4	6,7	5,3	4,1	3,3	
40	21,2	18,5	16,2	14,0	12,0	10,2	8,6	7,1	5,7	
50	25,0	22,3	19,8	17,5	15,4	13,4	11,6	9,9	8,5	
60	28,2	25,5	23,0	20,6	18,4	16,3	14,3	12,5	10,9	
70	30,8	28,3	25,8	23,4	21,2	19,0	17,0	15,0	13,2	
80	32,9	30,6	28,2	26,0	23,7	21,6	19,5	17,5	15,6	
90	34,6	32,4	30,3	28,1	26,0	23,9	21,9	19,8	17,8	
100	36,0	34,0	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0	
110	37,0	35,2	33,4	31,6	29,8	27,9	26,0	24,0	22,0	
120	37,8	36,2	34,6	32,9	31,3	29,6	27,8	25,9	24,0	
130					32,6	31,0	29,4	27,6	25,8	
140										
Best.- alter, a	DDR-Fichtenertragstafel langsames System: Bestandesmittelhöhe, m									
	L38	L36	L34	L32	L30	L28	L26	L24	L22	L20
10	4,1	3,5	2,8	2,1	1,7	1,4	1,2	1,0	0,7	0,5
20	8,9	7,6	6,3	5,1	3,9	3,1	2,6	2,1	1,6	1,3
30	14,8	13,0	11,4	9,8	8,2	6,6	5,2	3,8	3,0	2,4
40	19,8	17,8	15,8	14,0	12,1	10,3	8,6	6,8	5,3	3,9
50	24,0	21,9	19,8	17,8	15,7	13,7	11,7	9,9	8,1	6,4
60	27,8	25,6	23,4	21,2	19,0	16,9	14,8	12,8	10,9	9,1
70	31,0	28,8	26,6	24,4	22,2	20,0	17,8	15,7	13,6	11,7
80	33,7	31,5	29,4	27,2	25,0	22,8	20,6	18,5	16,4	14,4
90	36,1	33,9	31,8	29,8	27,6	25,5	23,4	21,3	19,2	17,2
100	38,0	36,0	34,0	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0
110	39,6	37,7	35,8	34,0	32,1	30,2	28,4	26,6	24,7	22,9
120	40,9	39,1	37,3	35,7	34,0	32,3	30,6	29,0	27,4	25,7
130					35,6	34,1	32,7	31,3	29,9	28,4
140							34,6	33,5	32,3	31,2

Tab. 99: Ertragstafelwerte für die Baumart Weißtanne von HAUSSER (1956, aus SCHÖBER, 1995)

Best.- alter, a	Hausser: Bestandesmittelhöhe, m						
	EK1	EK1/2	EK2	EK2/3	EK3	EK3/4	EK4
25	5,8						
30	7,7	6,6	5,5				
35	9,7	8,4	7,1	4,6	3,7		
40	11,7	10,2	8,8	6,0	5,0	5,5	4,6
45	13,6	12,0	10,5	7,6	6,4	6,8	5,7
50	15,5	13,8	12,2	9,2	7,8	8,0	6,8
55	17,3	15,6	13,8	10,8	9,3	9,4	8,0
60	19,0	17,2	15,4	12,3	10,8	10,8	9,3
65	20,6	18,8	16,9	13,8	12,2	12,0	10,5
70	22,2	20,2	18,3	15,2	13,6	13,3	11,7
75	23,7	21,7	19,7	16,6	14,9	14,5	12,8
80	25,1	23,0	21,0	18,0	16,2	15,6	13,9
85	26,4	24,4	22,3	19,2	17,4	16,8	15,0
90	27,6	25,6	23,5	20,4	18,6	17,8	16,0
95	28,8	26,7	24,6	21,6	19,7	18,9	17,0
100	29,9	27,8	25,7	22,7	20,8	19,8	17,9
105	30,9	28,8	26,7	23,8	21,8	20,8	18,8
110	31,8	29,7	27,6	24,7	22,7	21,6	19,6
115	32,7	30,6	28,5	25,6	23,6	22,4	20,4
120	33,5	31,4	29,3	26,4	24,4	23,2	21,1
125	34,3	32,2	30,0	27,2	25,2	23,8	21,8
130	35,0	32,8	30,7	28,0	25,9	24,5	22,4
135	35,6	33,4	31,3	28,6	26,6	25,1	23,0
140	36,2	34,0	31,9	29,2	27,2	25,6	23,5
145	36,7	34,6	32,4	29,8	27,8	26,2	24,0
150	37,2	35,0	32,9	30,4	28,3	26,6	24,4

Tab. 100: Ertragstafelwerte für die Baumart Douglasie von BERGEL (1985; aus SCHÖBER, 1995)

Best.- alter, a	Bergel: Bestandesmittelhöhe, m		
	EK1	EK2	EK3
20	11,2	8,4	5,8
25	14,9	11,6	8,5
30	18,4	14,9	11,4
35	21,6	17,9	14,3
40	24,5	20,7	17,0
45	27,1	23,2	19,4
50	29,5	25,5	21,7
55	31,7	27,6	23,6
60	33,6	29,4	25,4
65	35,4	31,1	27,0
70	37,0	32,6	28,3
75	38,4	33,9	29,5
80	39,7	35,1	30,6
85	40,9	36,1	31,5
90	42,0	37,1	32,3
95	42,9	37,9	33,0
100	43,8	38,7	33,6

Tab. 101: Ertragstafelwerte für die Baumart Rotbuche von WIEDEMANN (1931, aus ERTELD, 1962)

Best.- alter, a	Wiedemann: Bestandesmittelhöhe, m								
	EK1	EK1/2	EK2	EK2/3	EK3	EK3/4	EK4	EK4/5	EK5
30	10,6	9,6	8,5	7,5	6,5	5,6	4,6	3,6	2,7
35	12,5	11,5	10,5	9,4	8,2	7,1	6,0	4,9	3,8
40	14,7	13,5	12,3	11,0	9,8	8,6	7,4	6,2	4,9
45	16,6	15,2	13,9	12,6	11,3	10,0	8,7	7,3	5,9
50	18,5	17,0	15,5	14,2	12,8	11,4	9,9	8,4	6,9
55	20,3	18,7	17,1	15,6	14,1	12,6	11,1	9,4	7,8
60	22,0	20,3	18,6	17,0	15,4	13,8	12,2	10,4	8,7
65	23,6	21,8	20,0	18,3	16,6	14,9	13,2	11,4	9,6
70	25,1	23,2	21,3	19,5	17,7	16,0	14,2	12,3	10,4
75	26,4	24,5	22,6	20,7	18,8	17,0	15,1	13,2	11,2
80	27,7	25,8	23,8	21,8	19,9	18,0	16,0	14,0	12,0
85	28,9	26,9	24,9	22,9	20,9	18,8	16,8	14,8	12,7
90	30,0	27,9	25,8	23,8	21,8	19,7	17,6	15,5	13,4
95	31,0	28,9	26,8	24,8	22,7	20,6	18,4	16,2	14,1
100	32,0	29,8	27,7	25,6	23,5	21,4	19,2	17,0	14,8
105	32,9	30,8	28,6	26,4	24,3	22,1	19,9	17,7	15,5
110	33,8	31,6	29,4	27,2	25,0	22,8	20,6	18,4	16,1
115	34,6	32,4	30,1	27,9	25,7	23,4	21,2	18,9	16,6
120	35,4	33,1	30,8	28,6	26,3	24,0	21,8	19,4	17,1
125	36,1	33,8	31,5	29,2	26,9	24,6	22,3	20,0	17,6
130	36,8	34,4	32,1	29,8	27,4	25,1	22,8	20,4	18,1
135	37,4	35,0	32,7	30,3	27,9				
140	38,0	35,6	33,2	30,8	28,3				

Tab. 102: Ertragstafelwerte für die Baumart Rotbuche von SCHÖBER (1967, aus SCHÖBER, 1995)

Best.- alter, a	Schober: Bestandesmittelhöhe, m			
	EK1	EK2	EK3	EK4
30	8,7	6,7	4,7	2,7
35	10,9	8,5	6,1	3,7
40	13,2	10,5	7,8	5,1
45	15,5	12,6	9,7	6,8
50	17,6	14,5	11,4	8,3
55	19,6	16,3	13,0	9,7
60	21,3	17,9	14,5	11,1
65	22,8	19,4	15,9	12,5
70	24,2	20,7	17,2	13,7
75	25,6	22,0	18,4	14,8
80	26,9	23,2	19,5	15,8
85	28,1	24,3	20,5	16,7
90	29,3	25,4	21,5	17,6
95	30,4	26,4	22,4	18,4
100	31,4	27,4	23,3	19,2
105	32,3	28,2	24,1	20,0
110	33,2	29,0	24,9	20,7
115	34,0	29,8	25,6	21,4
120	34,8	30,5	26,2	21,9
125	35,5	31,1	26,8	22,4
130	36,1	31,7	27,3	22,9
135	36,7	32,2	27,8	23,3
140	37,3	32,7	28,2	23,7
145	37,8	33,2	28,6	24,1
150	38,3	33,7	29,0	24,4

Tab. 103: Ertragstafelwerte für die Baumart Eiche von ERTELD (1961, aus ERTELD, 1962)

Best.- alter, a	Hausser: Bestandesmittelhöhe, m					
	EK1	EK1/2	EK2	EK2/3	EK3	EK3/4
20	6,1					
25	8,1	6,6	5,1			
30	10,1	8,4	6,6	5,7	4,8	
35	12,1	10,2	8,4	7,2	6,0	
40	14,1	12,2	10,3	8,9	7,5	6,4
45	16,0	14,0	12,1	10,5	8,9	7,6
50	17,5	15,6	13,7	12,0	10,2	8,8
55	18,8	17,0	15,2	13,6	11,9	10,2
60	20,1	18,2	16,4	14,8	13,2	11,3
65	21,3	19,4	17,6	16,1	14,6	12,5
70	22,5	20,6	18,7	17,2	15,7	13,6
75	23,5	21,6	19,7	18,2	16,7	14,4
80	24,4	22,5	20,6	19,1	17,6	15,3
85	25,2	23,3	21,4	19,8	18,2	16,0
90	26,0	24,0	22,1	20,4	18,8	16,6
95	26,7	24,8	22,8	21,1	19,4	17,2
100	27,4	25,4	23,4	21,7	20,0	17,8
105	28,0	26,0	24,0	22,2	20,5	18,4
110	28,5	26,5	24,5	22,8	21,0	19,0
115	29,0	27,0	25,0	23,2	21,5	19,4
120	29,4	27,5	25,6	23,8	21,9	19,9
125	29,9	28,0	26,1	24,2	22,3	20,4
130	30,3	28,4	26,6	24,6	22,7	20,8
135	30,6	28,8	27,0	25,0	23,1	21,2
140	31,0	29,2	27,4	25,5	23,6	21,6
145	31,4	29,6	27,7	25,8	23,9	21,8
150	31,8	29,9	28,0	26,1	24,2	22,1
155	32,2	30,2	28,3	26,4	24,5	22,3
160	32,6	30,6	28,6	26,8	24,9	22,6
165	33,0	31,0	28,9	27,0	25,2	
170	33,4	31,3	29,2	27,3	25,4	
175	33,8	31,6	29,5	27,6	25,7	
180	34,2	32,0	29,8	27,8	25,9	
185	34,5	32,3	30,1	28,2	26,2	
190	34,8	32,6	30,3	28,4	26,4	
195	35,1	32,8	30,5	28,5	26,5	
200	35,3	33,0	30,7	28,6	26,6	

Tab. 104: Ertragstafelwerte für die Baumart Robustapappel von RÄTZLE (1969 aus SCHOBER, 1995)

Best.- alter, a	RÄTZLE: Bestandesmittelhöhe, m		
	EK1	EK2	EK3
5	6,7	5,7	4,5
10	16,6	14,7	12,9
15	24,7	22,3	19,8
20	30,0	27,3	24,4
25	33,7	30,9	27,5
30	36,2	33,5	29,9
35	37,9	35,0	31,4
40	39,1	36,2	32,5
45	39,9	36,9	33,3
50	40,5	37,5	33,7

Tab. 105: Ertragstafelwerte für die Baumart Lärche von SCHOBER (1946 aus SCHOBER, 1995)

Best.- alter, a	SCHOBER: Bestandesmittelhöhe, m				
	EK1	EK1/2	EK2	EK2/3	EK3
5	1,4	1,2	1,1	1,0	0,8
10	4,4	3,9	3,4	3,0	2,5
15	7,8	7,0	6,2	5,4	4,7
20	10,9	10,0	9,0	8,1	7,2
25	13,9	12,8	11,6	10,6	9,5
30	16,5	15,2	13,9	12,6	11,4
35	18,8	17,4	15,9	14,6	13,2
40	20,8	19,2	17,7	16,2	14,7
45	22,5	20,9	19,3	17,7	16,1
50	24,1	22,4	20,7	19,0	17,3
55	25,6	23,8	22,0	20,2	18,4
60	27,0	25,1	23,2	21,4	19,5
65	28,2	26,2	24,3	22,4	20,4
70	29,3	27,2	25,2	23,2	21,2
75	30,3	28,2	26,1	24,0	22,0
80	31,2	29,1	27,0	24,9	22,8
85	32,0	29,8	27,7	25,6	23,4
90	32,7	30,6	28,4	26,2	24,0
95	33,4	31,2	29,0	26,8	24,5
100	34,0	31,8	29,5	27,2	25,0
105	34,5	32,2	30,0	27,8	25,5
110	35,0	32,8	30,5	28,2	25,9
115	35,5	33,2	30,9	28,6	26,3
120	35,9	33,6	31,3	29,0	26,6
125	36,3	34,0	31,6	29,2	26,9
130	36,7	34,3	31,9	29,5	27,1
135	37,0	34,6	32,2	29,8	27,3
140	37,2	34,8	32,4	30,0	27,5

Tab. 106: Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Küstentanne von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966)

Best.- alter, a	BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON: Bestandesmittelhöhe, m				
	Class 340	Class 300	Class 260	Class 220	Class 180
15	10,5	9,7	8,7	7,6	6,6
20	15,2	13,9	12,8	11,4	9,9
25	20,3	18,6	17,1	15,2	13,3
30	25,0	23,0	21	18,9	16,6
35	29,1	27,0	24,7	22,3	19,5
40	32,5	30,2	27,8	25,0	22,1
45	35,5	32,9	30,2	27,4	24,2
50	38,0	35,2	32,5	29,4	26,2
55	40,0	37,2	34,3	31,1	27,8
60	41,6	38,9	35,8	32,6	29,1
65	43,0	40,3	37	33,9	30,2
70	44,2	41,3	38,1	34,8	31,1
75	45,1	42,1	38,9	35,5	31,9
80	45,7	42,7	39,5	36,0	32,3

Tab. 107: Ertragstafelwerte für die Baumart Eukalyptus von GADOW et al. (1987)

Best.- alter, a	GADOW ET AL.: Bestandesmittelhöhe, m		
	SQ1	SQ2	SQ3
1	1,7	1,3	0,8
2	5,1	3,8	2,4
3	8,5	6,3	3,9
4	11,6	8,6	5,4
5	14,5	10,7	6,7
6	16,9	12,5	7,8
7	18,7	13,9	8,7
8	20,8	15,4	9,6
9	22,8	16,9	10,5
10	24,7	18,3	11,4
11	26,4	19,6	12,2
12	28,1	20,8	13,0
13	29,5	21,9	13,6
14	30,8	22,9	14,2
15	32,0	23,8	14,8
16	33,1	24,6	15,3
17	34,1	25,3	15,7
18	35,1	26,0	16,2
19	36,0	26,7	16,6
20	36,8	27,3	17,0
21	37,5	27,8	17,3
22	38,2	28,3	17,6
23	38,9	28,9	18,0
24	39,6	29,4	18,3
25	40,2	29,8	18,6
26	40,7	30,2	18,8
27	41,4	30,7	19,1
28	42,0	31,1	19,4
29	42,5	31,5	19,6
30	42,9	31,8	19,8
31	43,3	32,1	20,0
32	43,8	32,5	20,2
33	44,2	32,8	20,4
34	44,6	33,1	20,6
35	45,0	33,4	20,8
36	45,3	33,6	20,9
37	45,7	33,9	21,1
38	45,9	34,1	21,2
39	46,3	34,3	21,4
40	46,5	34,5	21,5

Tab. 108: Ertragstafelwerte der Mittelhöhen für die Baumart Kiefer von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975)

Best.- alter, a	LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR: Bestandesmittelhöhe, m											
	M34	M32	M30	M28	M26	M24	M22	M20	M18	M16	M14	M12
5	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	0,9	0,8	0,7	0,6			
10	4,5	4,1	3,8	3,4	3,0	2,7	2,3	2,0	1,6	1,3	0,9	0,6
15	7,4	6,9	6,3	5,7	5,2	4,6	4,0	3,4	2,9	2,3	1,7	1,1
20	10,3	9,5	8,7	8,0	7,2	6,4	5,7	4,9	4,1	3,4	2,6	1,8
25	12,9	11,9	11,0	10,1	9,1	8,2	7,2	6,3	5,4	4,4	3,5	2,5
30	15,3	14,2	13,1	12,0	10,9	9,8	8,7	7,7	6,5	5,5	4,4	3,3
35	17,4	16,2	15,0	13,8	12,6	11,4	10,1	8,9	7,7	6,5	5,3	4,1
40	19,4	18,1	16,8	15,4	14,1	12,8	11,5	10,2	8,8	7,5	6,2	4,9
45	21,2	19,8	18,4	17,0	15,6	14,1	12,7	11,3	9,9	8,5	7,0	5,6
50	22,9	21,4	19,9	18,4	16,9	15,4	13,9	12,4	10,9	9,4	7,9	6,4
55	24,5	22,9	21,3	19,7	18,1	16,6	15,0	13,4	11,8	10,2	8,7	7,1
60	25,9	24,2	22,6	21,0	19,3	17,7	16,0	14,4	12,7	11,1	9,4	7,8
65	27,2	25,5	23,8	22,1	20,4	18,7	17,0	15,3	13,6	11,9	10,1	8,4
70	28,4	26,7	24,9	23,2	21,4	19,6	17,9	16,1	14,3	12,6	10,8	9,1
75	29,6	27,8	25,9	24,1	22,3	20,5	18,7	16,9	15,1	13,3	11,5	9,7
80	30,6	28,8	26,9	25,0	23,2	21,3	19,5	17,6	15,8	13,9	12,1	10,2
85	31,6	29,7	27,8	25,9	24,0	22,1	20,2	18,3	16,4	14,5	12,6	10,7
90	32,5	30,5	28,6	26,7	24,7	22,8	20,9	18,9	17,0	15,1	13,1	11,2
95	33,3	31,3	29,3	27,4	25,4	23,4	21,5	19,5	17,5	15,5	13,6	11,6
100	34,0	32,0	30,0	28,0	26,0	24,0	22,0	20,0	18,0	16,0	14,0	12,0
105	34,7	32,6	30,6	28,6	26,6	24,5	22,5	20,5	18,4	16,4	14,4	12,3
110	35,3	33,2	31,2	29,1	27,0	25,0	22,9	20,9	18,8	16,8	14,7	12,6
115	35,8	33,7	31,6	29,6	27,5	25,4	23,3	21,2	19,1	17,1	15,0	12,9
120	36,3	34,2	32,1	30,0	27,9	25,8	23,6	21,5	19,4	17,3	15,2	13,1
125	36,7	34,6	32,4	30,3	28,2	26,1	23,9	21,8	19,7	17,5	15,4	13,3
130	37,0	34,9	32,7	30,6	28,5	26,3	24,2	22,0	19,9	17,7	15,6	13,4
135								22,2	20,0	17,8	15,7	13,5
140								22,3	20,1	17,9	15,7	13,5

Tab. 109: Einzelbaumwerte der Standortsklasse 1 für die Baumart Fichte von v. GUTTENBERG (1915)

Baum- alter in a	Baumhöhe der Einzelbäume v. GUTTENBERG, m									
	Hinterberg					Annaberg		Hintersee		
	I	II	III	IV	VII	I	II	X	XI	XII
	EB1	EB2	EB3	EB4	EB5	EB6	EB7	EB8	EB9	EB10
10	1,2	1,0	1,6	1,2	1,9	1,0	0,9	1,3	2,3	2,0
20	4,2	4,8	5,9	6,9	6,9	4,8	4,0	5,8	6,4	5,4
30	9,3	10,3	10,2	12,7	12,2	9,5	9,1	10,7	11,9	10,7
40	14,9	15,3	14,0	18,2	16,6	14,2	14,2	15,2	16,9	16,1
50	19,7	19,9	18,3	23,2	20,7	18,8	18,4	19,1	21,3	21,0
60	23,0	23,7	22,6	27,2	24,1	23,1	22,5	22,7	25,4	25,8
70	25,8	27,1	26,7	30,1	27,3	26,2	26,0	26,1	28,8	29,2
80	27,4	29,4	29,6	32,7	30,2	28,2	28,8	28,0	31,1	31,6
90	28,8	31,5	32,0	35,0	32,5	30,2	30,6	29,2	32,5	33,1
100	30,0	33,1	34,0	37,0	34,1	32,2	32,2	30,8	34,0	34,3
110	30,9	34,3	35,5	38,9	35,3	33,5	33,7	33,6	35,6	35,9
120	31,8	35,5	36,8	40,6	36,5	34,7	35,0	35,7	36,9	37,4
130	32,4	36,7	38,2	42,1	37,6	35,5	36,2			
140	33,1	37,8	39,5	43,5	38,8	36,3	37,2			
150					39,9	37,1	38,1			

Tab. 110: Einzelbaumwerte des Standorts Denklingen 005 für die Baumart Fichte

Baumalter, a	Baumhöhe der Einzelbäume des Standorts Denklingen 005, m					
	EB1	EB2	EB3	EB4	EB5	EB6
7	0,8	0,68	0,72	2,41	0,7	1,1
12	1,23	2,89	2,64	7,00	2,83	4,06
17	2,09	5,47	5,03	10,39	6,17	6,89
22	3,45	7,39	7,39	13,07	8,49	9,73
27	5,76	9,15	9,53	16,36	10,77	13,10
32	8,02	10,83	11,58	19,14	13,79	15,84
37	10,14	13,69	14,42	21,44	15,86	17,87
42	12,65	15,56	16,80	23,76	17,59	20,26
47	15,58	17,37	18,68	25,72	19,80	22,87
52	18,19	19,50	21,22	27,08	22,64	24,94
57	20,53	22,15	23,66	28,42	24,49	26,14
62	23,45	24,23	25,58	29,75	26,37	28,22
67	25,26	25,71	26,93	30,97	28,04	29,65
72	26,69	26,67	28,42	32,09	29,63	30,47
77	27,89	27,86	29,61	33,48	30,86	31,61
82	29,30	29,02	30,60	34,51	32,09	33,10
87	30,41	30,24	31,75	35,75	33,52	34,09
92	31,57	31,09	33,02	36,59	34,66	35,53
97	33,20	32,21	34,21	37,23	35,83	36,44
102	34,03	33,16	35,03	37,75	36,74	37,29
103				37,85		
104				37,90		
105				37,98		
106				38,08		
107	35,18	33,91	36,23	38,16	37,71	37,66
108				38,22		
109				38,31		
110				38,37		
111				38,48		
112	35,89	34,71	37,05	38,58	38,53	38,06
113	36,09	34,78	37,17	38,62	38,60	38,09
114	36,33	34,89	37,25	38,68	38,73	38,13
115	36,50	34,99	37,35	38,77	38,89	38,21
116	36,62	35,08	37,49	38,86	39,06	38,26
117	36,74	35,18	37,65	38,98	39,16	38,38
118	36,77	35,26	37,78	39,08	39,26	38,61
119	36,84	35,34	37,91	39,18	39,42	38,79
120	36,99	35,46	38,05	39,24	39,54	39,00
121	37,06	35,56	38,18	39,36	39,67	39,19
122	37,13	35,65	38,32	39,46	39,74	39,37
123	37,23	35,75	38,43	39,62	39,83	39,45
124	37,32	35,86	38,52	39,71	40,02	39,51
125	37,43	35,94	38,67	39,80	40,15	39,59
126	37,53	36,03	38,72	39,94	40,31	39,80
127	37,62	36,12	38,81	40,04	40,44	39,88
128	37,65	36,20	38,88	40,08	40,54	40,04
129	37,73	36,28	38,97	40,17	40,58	40,17
130	37,79	36,37	39,04	40,25	40,69	40,35
131	37,82	36,45	39,13	40,35	40,86	40,39
132	37,89	36,53	39,21	40,44	41,07	40,52
133	38,02	36,62	39,34	40,50	41,15	40,59

134	38,15	36,72	39,46	40,60	41,30	40,77
135	38,29	36,82	39,54	40,72	41,46	41,06
136	38,38	36,93	39,69	40,80	41,66	41,17
137	38,49	37,03	39,79	40,91	41,74	41,42
138	38,59	37,11	39,83	41,00	41,84	41,60
139	38,70	37,19	39,98	41,07	41,95	41,76
140	38,82	37,29	40,09	41,15	42,14	41,82
141	38,90	37,39	40,25	41,27	42,31	41,89
142	39,00	37,47	40,42	41,32	42,40	42,02
143	39,14	37,56	40,55	41,41	42,57	42,15
144	39,27	37,65	40,71	41,48	42,76	42,29
145	39,43	37,78	40,86	41,59	42,92	42,44
146	39,59	37,89	40,96	41,70	43,04	42,57
147	39,75	38,01	41,11	41,84	43,14	42,63
148	39,95	38,13	41,23	41,93	43,22	42,74
149	40,11	38,25	41,35	42,01	43,33	42,83
150	40,22	38,37	41,44	42,15	43,45	42,96
151	40,34	38,50	41,57	42,27	43,54	43,10
152	40,47	38,66	41,71	42,40	43,58	43,26
153	40,61	38,87	41,86		43,61	43,39
154	40,78	38,97	41,92		43,80	43,58
155	40,88	39,08	42,06		43,95	43,75
156	41,03	39,27	42,18		44,11	
157	41,15	39,4	42,30		44,26	
158	41,33	39,56	42,46		44,34	
159	41,47	39,75	42,62		44,44	
160	41,60	39,93	42,83		44,59	
161		40,10	42,97		44,70	
162			43,10			

Tab. 111: Einzelbaumwerte des Standorts Denklingen 084 für die Baumart Fichte

Baum- alter, a	Baumhöhe der Einzelbäume des Standorts Denklingen 084, m					
	EB7	EB8	EB9	EB10	EB11	EB12
13	2,56	3,25	4,40	2,54	1,37	2,47
18	5,79	6,17	8,07	6,44	3,79	5,17
23	8,63	9,76	11,55	9,89	5,99	8,54
28	11,73	12,66	14,34	13,26	8,94	11,27
33	14,47	15,60	17,42	15,81	11,10	14,47
38	17,47	18,34	20,32	18,30	13,85	17,44
43	19,90	20,71	22,74	20,30	15,47	19,59
48	22,36	22,96	25,67	22,61	17,53	21,83
53	24,03	24,87	27,70	24,67	19,48	23,94
54	24,29	25,21		25,09	19,82	24,49
55	24,60	25,52		25,43	20,19	25,02
56	24,98	25,94		25,80	20,58	25,39
57	25,42	26,31		26,32	21,03	25,79
58	25,77	26,68	29,39	26,67	21,36	26,17
59	26,10	27,10	29,65	27,02	21,72	26,51
60	26,52	27,43	30,11	27,30	22,09	26,74
61	26,84	27,62	30,26	27,59	22,39	26,98
62	27,22	27,93	30,64	27,68	22,65	27,09
63	27,54	28,22	30,98	27,93	22,92	27,29
64	27,74	28,52	31,27	28,28	23,23	27,65
65	27,92	28,87	31,41	28,59	23,54	28,06

Anhang

66	28,24	29,21	31,74	28,9	23,73	28,65
67	28,60	29,63	32,03	29,15	23,92	29,08
68	28,94	29,94	32,32	29,39	24,24	29,42
69	29,27	30,31	32,52	29,67	24,58	29,69
70	29,51	30,52	32,80	29,88	24,87	29,89
71	29,80	30,81	32,98	29,99	25,15	30,30
72	30,13	31,13	33,24	30,20	25,47	30,71
73	30,44	31,35	33,63	30,56	25,81	31,09
74	30,63	31,61	33,76	30,84	26,01	31,46
75	30,92	31,81	34,02	31,09	26,31	31,68
76	31,26	31,93	34,41	31,34	26,57	31,94
77	31,46	32,01	34,63	31,46	26,73	32,28
78	31,72	32,09	34,81	31,70	26,88	32,52
79	31,96	32,22	35,01	31,90	27,10	32,75
80	32,05	32,46	35,1	32,12	27,33	33,00
81	32,12	32,64	35,20	32,40	27,60	33,28
82	32,30	32,90	35,39	32,52	27,84	33,55
83	32,51	33,14	35,67	32,82	28,09	33,82
84	32,68	33,43	35,97	33,10	28,31	33,95
85	32,83	33,58	36,10	33,34	28,57	34,13
86	33,01	33,80	36,34	33,40	28,76	34,32
87	33,18	34,08	36,61	33,59	28,96	34,60
88	33,38	34,37	36,85	33,83	29,16	34,91
89	33,47	34,67	36,97	34,04	29,38	35,25
90	33,60	34,91	37,10	34,29	29,63	35,49
91	33,72	35,24	37,20	34,47	29,82	35,72
92	33,86	35,49	37,39	34,77	30,11	35,97
93	33,97	35,60	37,57	35,11	30,47	36,22
94	34,15	35,82	37,72	35,31	30,76	36,43
95	34,37	36,00	37,89	35,58	31,02	36,61
96	34,62	36,11	38,06	35,78	31,29	36,80
97	34,81	36,22	38,23	35,84	31,53	36,98
98	34,93	36,34	38,47	36,03	31,73	37,15
99	35,08	36,50	38,63	36,28	31,94	37,39
100	35,23	36,68	38,83	36,46	32,14	37,59
101	35,35	36,75	39,02	36,69	32,36	37,76
102	35,52	36,97	39,16	36,78	32,59	37,88
103	35,67	37,17	39,25	37,01	32,77	38,02
104	35,82	37,34	39,37	37,22	32,93	38,20
105	35,90	37,43	39,48	37,48	33,14	38,39
106	35,98	37,54	39,65	37,67	33,31	38,67
107	36,12	37,64	39,82	37,83	33,53	38,87
108	36,26	37,77	40,00	37,96	33,76	39,10
109	36,38	37,90	40,16	38,23	33,96	
110	36,52		40,30	38,40	34,20	
111	36,70		40,45			
112	36,86		40,58			
113	37,00		40,70			

Tab. 112: Einzelbaumwerte des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte

Baum- alter, a	Höhe, m EB2	Baum- alter, a	Höhe, m EB9	Baum- alter, a	Höhe, m EB11	Baum- alter, a	Höhe, m EB18	Baum- alter, a	Höhe, m EB24
5	0,5	5	0,5	5	0,3	5	0,7	5	0,7
12	1,0	17	1,3	11	1,3	9	1,3	12	1,3
15	1,3	32	3,3	16	3,3	14	3,3	14	3,3
23	3,0	39	5,3	21	5,3	18	5,3	16	5,3
27	5,0	46	7,3	25	7,3	24	7,3	19	7,3
29	7,0	49	9,3	28	9,3	27	9,3	23	9,3
31	9,0	53	11,3	32	11,3	28	11,3	25	11,3
36	11,0	57	13,3	36	13,3	38	13,3	28	13,3
41	13,0	62	15,3	42	15,3	43	15,3	30	15,3
46	15,0	70	17,3	46	17,3	49	17,3	36	17,3
52	17,0	77	19,3	50	19,3	53	19,3	40	19,3
59	19,0	83	21,3	57	21,3	62	21,6	45	20,3
65	21,0	92	22,3	61	23,3	68	23,3	48	21,3
69	23,0	101	23,3	68	25,3	72	24,3	52	23,3
77	25,0	107	24,3	72	26,3	75	25,3	55	24,3
86	27,0	110	25,3	77	27,3	87	26,3	57	25,2
106	29,0	114	26,3	83	28,3	99	27,3	60	26,2
116	31,0	121	27,3	90	29,3	105	28,3	64	27,3
145	32,1	130	28,3	95	29,8	113	29,3	66	28,3
		170	30,0	100	30,3	116	29,8	72	29,5
				105	30,8	120	30,3	74	30,3
				110	31,3	126	30,8	79	31,3
				119	31,8	132	31,3	85	32,3
				133	32,3	138	31,7	88	33,3
				140	32,7			95	34,1
								100	34,8
								104	35,3
								108	35,8
								118	36,3
								123	36,8
								129	37,3
								140	37,8

Tab. 113: Einzelbaumwerte des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte

Baumalter, a	Höhe, m EB27	Baumalter, a	Höhe, m EB28	Baumalter, a	Höhe, m EB29	Baumalter, a	Höhe, m EB30	Baumalter, a	Höhe, m EB32
5	0,4	5	0,3	5	0,4	5	0,4	5	0,5
14	1,3	12	1,3	28	1,3	35	1,3	12	1,3
18	3,3	17	3,3	43	3,3	43	3,3	19	3,3
22	5,3	21	5,3	48	5,3	48	5,3	22	5,3
25	7,3	25	7,3	52	7,3	52	7,3	26	7,3
28	9,3	34	9,3	56	9,3	53	9,3	30	9,3
30	11,3	40	11,3	60	11,3	55	11,3	37	11,3
34	13,3	46	13,2	64	13,5	57	13,3	42	13,3
36	15,3	52	15,3	67	15,5	59	15,2	48	15,3
40	17,3	56	17,2	70	17,3	64	17,2	53	17,4
46	19,4	62	19,2	73	19,3	68	19,2	58	19,3
50	21,2	68	20,3	78	21,3	73	21,3	65	21,3
55	23,3	72	21,3	81	22,3	77	23,3	71	23,3
59	24,3	75	22,3	85	23,3	80	24,3	76	24,2
61	25,3	78	23,2	88	24,2	83	25,3	80	25,4
65	26,3	88	24,3	91	25,2	85	26,3	93	27,5
68	27,3	93	25,3	100	26,2	89	27,3	99	29,3
70	28,3	100	26,3	110	27,25	93	28,3	106	29,8
74	29,3	111	27,3	115	28,3	104	29,3	109	30,3
79	30,3	116	27,8	125	29,3	113	30,3	112	30,8
86	31,3	123	28,3	130	30,3	119	31,3	123	31,3
91	32,2	131	28,9	136	30,8	125	32,3	128	31,8
99	33,3	140	29,4	143	31,3	131	32,8	140	32,2
113	34,3			148	31,8	136	33,3		
121	35,3			154	32,1	148	33,8		
125	35,8					152	34,3		
140	36,4					157	34,8		
						165	35,1		

Tab. 114: Stammanalysedaten von Probeflächen der Baumart Fichte am Standort Weißwasser

Fichte Weißwasser, Baum 2			Fichte Weißwasser, Baum 11		
Alter nach Jahrringen [a]	Höhe gemessen [m]	Höhen interpoliert [m]	Alter nach Jahrringen [a]	Höhe gemessen [m]	Höhen interpoliert [m]
5	0,50		5	0,3	
10		0,86	10		1,13
12	1,00		11	1,3	
15	1,30		15		2,90
20		2,36	16	3,3	
23	3,00		20		4,90
25		4,00	21	5,3	
27	5,00		25	7,3	
29	7,00		28	9,3	
30		8,00	30		10,30
31	9,00		32	11,3	
35		10,60	35		12,80
36	11,00		36	13,3	
40		12,60	40		14,63
41	13,00		42	15,3	
45		14,60	45		16,80
46	15,00		46	17,3	
50		16,33	50	19,3	
52	17,00		55		20,73
55		17,86	57	21,3	
59	19,00		60		22,80
60		19,33	61	23,3	
65	21,00		65		24,44
69	23,00		68	25,3	
70		23,25	70		25,80
75		24,50	72	26,3	
77	25,00		75		26,90
80		25,67	77	27,3	
85		26,78	80		27,80
86	27,00		83	28,3	
90		27,40	85		28,59
95		27,90	90	29,3	
100		28,40	95	29,8	
105		28,90	100	30,3	
106	29,00		105	30,8	
110		29,80	110	31,3	
115		30,80	115		31,58
116	31,00		119	31,8	
120		31,15	120		31,84
125		31,34	125		32,01
130		31,53	130		32,19
135		31,72	133	32,3	
140		31,91	135		32,41
145	32,10		140	32,7	

Tab. 115: Einzelbaumwerte des Standorts Bärenstein für die Baumart Fichte

Baumalter, a	Höhe, m EB1	Baumalter, a	Höhe, m EB2	Baumalter, a	Höhe, m EB3	Baumalter, a	Höhe, m EB4	Baumalter, a	Höhe, m EB5
3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
10	0,8	8	0,8	6	0,8	6	0,5	7	0,8
13	1,3	11	1,3	7	1,3	7	1,3	10	1,3
14	1,8	14	1,8	9	1,8	9	1,8	11	1,8
19	2,8	18	2,8	12	2,8	11	2,8	13	2,8
21	3,8	21	3,8	15	3,8	14	3,8	15	3,8
24	4,8	25	4,8	16	4,8	17	4,8	18	4,8
26	5,8	28	5,8	18	5,8	19	5,8	20	5,8
29	6,8	30	6,8	20	6,8	21	6,8	22	6,8
30	7,8	32	7,8	21	7,8	24	7,8	25	7,8
32	8,8	34	8,8	23	8,8	25	8,8	27	8,8
33	9,8	37	9,8	26	9,8	28	9,8	29	9,8
36	10,8	39	11,6	27	10,8	30	10,8	31	10,8
37	11,1			29	11,8	31	11,8	33	11,8
				31	12,8	34	12,6	38	14,8
				34	13,7			41	15,2

Tab. 116: Einzelbaumwerte des Standorts Bärenstein für die Baumart Fichte

Baumalter, a	Höhe, m EB6	Baumalter, a	Höhe, m EB7	Baumalter, a	Höhe, m EB8	Baumalter, a	Höhe, m EB9	Baumalter, a	Höhe, m EB10
3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3	3	0,3
6	0,5	6	0,8	6	0,8	5	0,8	6	0,8
10	1,3	7	1,3	8	1,3	7	1,3	9	1,3
11	1,8	10	1,8	10	1,8	8	1,8	11	1,8
14	2,8	12	2,8	15	2,8	10	2,8	13	2,8
16	3,8	14	3,8	18	3,8	13	3,8	15	3,8
18	4,8	16	4,8	19	4,8	15	4,8	18	4,8
21	5,8	18	5,8	21	5,8	17	5,8	20	5,8
23	6,8	20	6,8	23	6,8	19	6,8	23	6,8
26	7,8	23	7,8	26	7,8	21	7,8	27	7,8
30	8,8	26	8,8	27	8,8	24	8,8	29	8,8
32	9,8	28	9,8	28	9,8	26	9,8	31	9,8
36	10,8	30	10,8	31	10,8	28	10,8	33	10,8
39	11,8	32	11,8	35	11,8	32	11,8	34	11,8
43	12,2	34	12,8	43	12,8	36	13,8	36	12,8
		37	13,8	47	13,8	40	14,3	38	13,8
		40	14,8	52	14,8			40	14,8
		44	16,7	55	15,8			42	15,8
				59	16,65			45	16,8
								47	17,8
								49	18,4

Tab. 117: Mittelwerte von Einzelbäumen der Standorte Denklingen, Weißwasser, Bärenstein und von v. GUTTENBERG für die Baumart Fichte

Guttenberg		Denklingen				Weißwasser		Bärenstein	
EB1-10		MW1-6	005	MW7-12	048	EB1-10		EB1-10	Mittelwert
Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]
10	1,44	7	1,07	13	2,77	5	0,47	5	0,57
20	5,51	12	3,44	18	5,91	10	0,98	10	1,69
30	10,66	17	6,01	23	9,06	15	2,14	15	3,48
40	15,56	22	8,25	28	12,03	20	3,76	20	5,63
50	20,04	27	10,78	33	14,81	25	5,65	25	7,62
60	24,01	32	13,20	38	17,62	30	8,01	30	9,87
70	27,33	37	15,57	43	19,79	35	9,54	35	11,71
80	29,70	42	17,77	48	22,16	40	11,28	40	13,88
90	31,54	47	20,00	53	24,12	45	12,91		
100	33,17	52	22,26	58	26,01	50	15,01		
110	34,72	57	24,23	59	26,35	55	17,33		
120	36,09	62	26,27	60	26,70	60	19,40		
		67	27,76	61	26,95	65	21,10		
		72	29,00	62	27,20	70	22,87		
		77	30,22	63	27,48	75	24,46		
		82	31,44	64	27,78	80	25,69		
		87	32,63	65	28,07	85	26,67		
		92	33,74	66	28,41	90	27,50		
		97	34,85	67	28,74	95	28,20		
		102	35,67	68	29,04	100	28,83		
		107	36,48	69	29,34	105	29,43		
		112	37,14	70	29,58	110	30,09		
		113	37,23	71	29,84	115	30,74		
		114	37,34	72	30,15	120	31,17		
		115	37,45	73	30,48	125	31,61		
		116	37,56	74	30,72	130	32,02		
		117	37,68	75	30,97	135	32,31		
		118	37,79	76	31,24				
		119	37,91	77	31,43				
		120	38,05	78	31,62				
		121	38,17	79	31,82				
		122	38,28	80	32,01				
		123	38,39	81	32,21				
		124	38,49	82	32,42				
		125	38,60	83	32,68				
		126	38,72	84	32,91				
		127	38,82	85	33,09				
		128	38,90	86	33,27				
		129	38,98	87	33,50				
		130	39,08	88	33,75				
		131	39,17	89	33,96				
		132	39,28	90	34,17				
		133	39,37	91	34,36				
		134	39,50	92	34,60				
		135	39,65	93	34,82				
		136	39,77	94	35,03				
		137	39,90	95	35,25				
		138	40,00	96	35,44				
		139	40,11	97	35,60				

140	40,22	98	35,78
141	40,34	99	35,97
142	40,44	100	36,16
143	40,56	101	36,32
144	40,69	102	36,48
145	40,84	103	36,65
146	40,96	104	36,81
147	41,08	105	36,97
148	41,20	106	37,14
149	41,31	107	37,30
150	41,43	108	37,48
151	41,55		
152	41,68		

Tab. 118: Mittelwerte von Einzelbäumen des Standorts Weißwasser für die Baumart Fichte

EB18,24,28	S-System	EB11,27,32	M-System	EB9,29,30	L-System	EB1,18,24, 28,32	M-System
Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]
5	0,57	5	0,40	5	0,43	5	0,50
10	1,28	10	1,03	10	0,66	10	1,21
15	3,53	15	2,29	15	0,89	15	3,13
20	6,19	20	4,39	20	1,18	20	5,49
25	8,86	25	7,13	25	1,52	25	8,13
30	11,80	30	10,30	30	1,92	30	11,00
35	13,10	35	12,61	35	2,56	35	12,57
40	14,90	40	14,81	40	3,68	40	14,37
45	16,38	45	16,72	45	5,07	45	16,05
50	18,23	50	18,88	50	7,47	50	18,03
55	20,28	55	20,73	55	10,80	55	19,95
60	21,94	60	22,49	60	13,80	60	21,70
65	23,33	65	24,01	65	15,97	65	23,15
70	24,57	70	25,69	70	18,21	70	24,49
75	26,17	75	26,81	75	20,38	75	25,89
80	27,01	80	27,87	80	22,19	80	26,84
85	27,61	85	28,65	85	23,71	85	27,52
90	28,26	90	29,45	90	24,83	90	28,22
95	28,89	95	30,22	95	25,58	95	28,91
100	29,52	100	31,01	100	26,11	100	29,65
105	30,34	105	31,42	105	26,70	105	30,31
110	30,91	110	31,95	110	27,51	110	30,90
115	31,38	115	32,36	115	28,46	115	31,33
120	31,63	120	32,73	120	29,14	120	31,58
125	32,05	125	33,10	125	29,78	125	31,93
130	32,44	130	33,35	130	30,44	130	32,27
135	32,73	135	33,58	135	30,81	135	32,53

Tab. 119: Einzelbaumwerte des Standorts Willingen für die Baumart Fichte

EB1		EB2		EB3	
Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]
9	1,1	7	0,61	7	0,76
14	3,47	12	3,58	12	3,59
19	6,52	17	6,36	17	6,01
24	9,52	22	9,61	22	9,49
29	13,41	27	12,37	27	11,91
34	15,19	32	14,84	32	15,50
39	16,97	37	17,46	37	17,53
44	18,52	42	19,21	42	19,71
49	20,09	47	19,21	47	21,72
54	21,47	52	21,55	52	23,55
59	22,61	57	23,06	57	25,59
64	23,75	62	24,57	62	26,61
69	24,79	67	26,31	67	27,62
74	25,83	72	28,45	72	28,47
79	26,74	77	29,46	77	29,32
84	27,65	82	30,31	82	30,17
89	28,56	87	31,16	87	30,80
94	29,19	92	32,01	92	31,43
99	29,81	97	32,93	97	32,06
104	30,43	102	33,86	102	32,46
109	31,25	107	34,24	107	32,86
114	32,07	112	34,62	112	33,26
119	32,48	117	35,00	117	33,66
124	32,90	122	35,37	122	33,98
		127	35,75	127	34,30
		132	36,10		

Tab. 120: Einzelbaumwerte des Standorts Chorin für die Baumart Kiefer

EB1		EB2		EB3		EB4		EB5		EB6		EB7		EB8	
Alter [a]	Höhe [m]														
8	1,07	6	1,07	7	1,07	7	1,07	4	1,07	4	1,07	8	1,07	9	1,07
13	4,20	13	4,30	17	4,30	16	4,30	10	4,30	10	4,30	15	4,30	15	4,30
20	8,45	22	8,45	22	7,45	22	7,45	17	8,45	17	8,45	21	8,45	20	7,45
26	12,60	29	12,60	26	10,60	30	10,60	27	12,60	27	12,60	33	12,60	25	9,60
34	16,75	39	16,75	34	13,75	38	13,75	39	16,75	39	16,75	47	16,75	35	12,75
42	19,9	53	20,90	43	16,90	49	16,90	54	20,90	54	20,90	61	20,90	51	16,90
51	23,05	60	24,05	52	20,05	62	20,05	71	24,05	71	24,05	91	24,05	70	20,05
60	26,20	85	26,55	68	22,20	72	22,20	120	30,15	122	29,50			92	24,65
87	29,20			112	29,20	76	24,35								
						110	29,35								

Tab. 121: Einzelbaumwerte des Standorts Willingen für die Baumart Buche

EB1		EB2		EB3	
Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]
10	2,35	6	0,48	8	0,77
15	4,08	11	1,71	13	1,96
20	6,33	16	4,06	18	3,73
25	8,07	21	6,13	23	5,50
30	9,57	26	8,03	28	6,85
35	11,53	31	9,96	33	8,19
40	13,50	36	11,87	38	9,98
45	14,75	41	13,73	43	11,59
50	16,01	46	15,72	48	13,48
55	17,41	51	17,81	53	14,73
60	18,17	56	18,92	58	15,97
65	18,93	61	20,03	63	17,03
70	19,69	66	20,57	68	18,08
75	20,77	71	21,12	73	19,81
80	21,84	76	21,67	78	20,62
85	23,54	81	23,06	83	21,44
90	25,46	86	24,45	88	22,26
95	26,45	91	26,04	93	23,80
100	27,43	96	27,68	98	25,79
105	27,65	101	28,56	103	26,30
110	27,86	106	29,43	108	26,82
115	28,07	111	29,71	113	27,33
120	28,29	116	29,99	118	27,85
125	28,50	121	30,26	123	28,01
		126	30,54	128	28,17
		131	30,82	133	28,34
		136	31,10	138	28,50

Tab. 122: Einzelbaumwerte des Standorts Schlitz für die Baumart Sumpflärche

EB16		EB18		EB51	
Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]	Alter [a]	Höhe [m]
2	0,48	6	0,45	6	0,64
3	0,75	7	0,67	7	1,14
4	1,03	8	0,89	8	1,64
5	1,31	9	1,11	9	2,34
6	1,59	10	1,33	10	3,04
7	2,26	11	1,55	11	3,79
8	2,93	12	2,33	12	4,63
9	3,60	13	3,11	13	5,27
10	4,34	14	3,89	14	5,91
11	5,09	15	5,95	15	6,60
12	5,83	16	7,48	16	7,01
13	6,70	17	8,14	17	7,43
14	7,57	18	8,79	18	7,84
15	8,04	19	9,45	19	8,21
16	8,51	20	10,17	20	8,59
17	8,98	21	10,88	21	9,05
18	9,45	22	11,60	22	9,51
19	9,91	23	12,55	23	10,03
20	10,36	24	13,50	24	10,56
21	10,81	25	14,18	25	11,06
22	11,26	26	14,86	26	11,56
23	11,71	27	15,54	27	12,51
24	12,25	28	16,10	28	13,00
25	12,79	29	16,67	29	13,48
26	13,33	30	17,23	30	13,85
27	13,86	31	17,80	31	14,21
28	14,19	32	18,21	32	14,58
29	14,51	33	18,63	33	14,95
30	14,84	34	19,04	34	15,32
31	15,16	35	19,46	35	15,69
32	15,49	36	19,51	36	15,89
33	16,06	37	19,57	37	16,09
34	16,64	38	19,62	38	16,29
35	17,21	39	19,67	39	16,49
36	17,79	40	19,73	40	16,96
37	18,16	41	19,78	41	17,44
38	18,54	42	19,84	42	18,15
39	18,91	43	19,89	43	18,87
40	19,26	44	19,95	44	19,58
41	19,66	45	20,00	45	20,30
42	20,10				
43	20,53				
44	20,97				
45	21,40				

Abb. 79: Übersicht zum Verhältnis $(k+I)/k$ für die Baumart Fichte

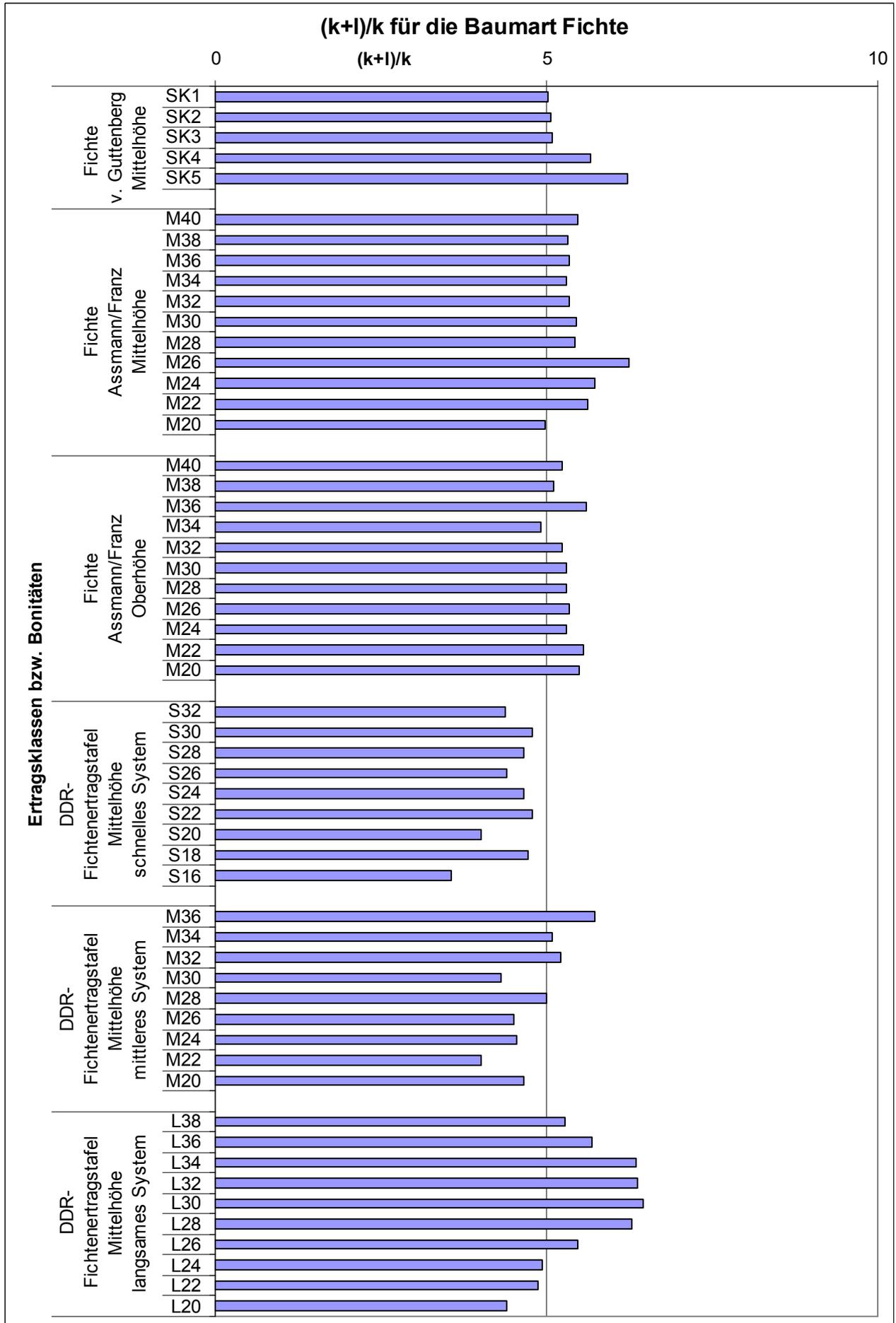


Abb. 80: Übersicht zum Verhältnis $(k+I)/k$ für verschiedene Baumarten

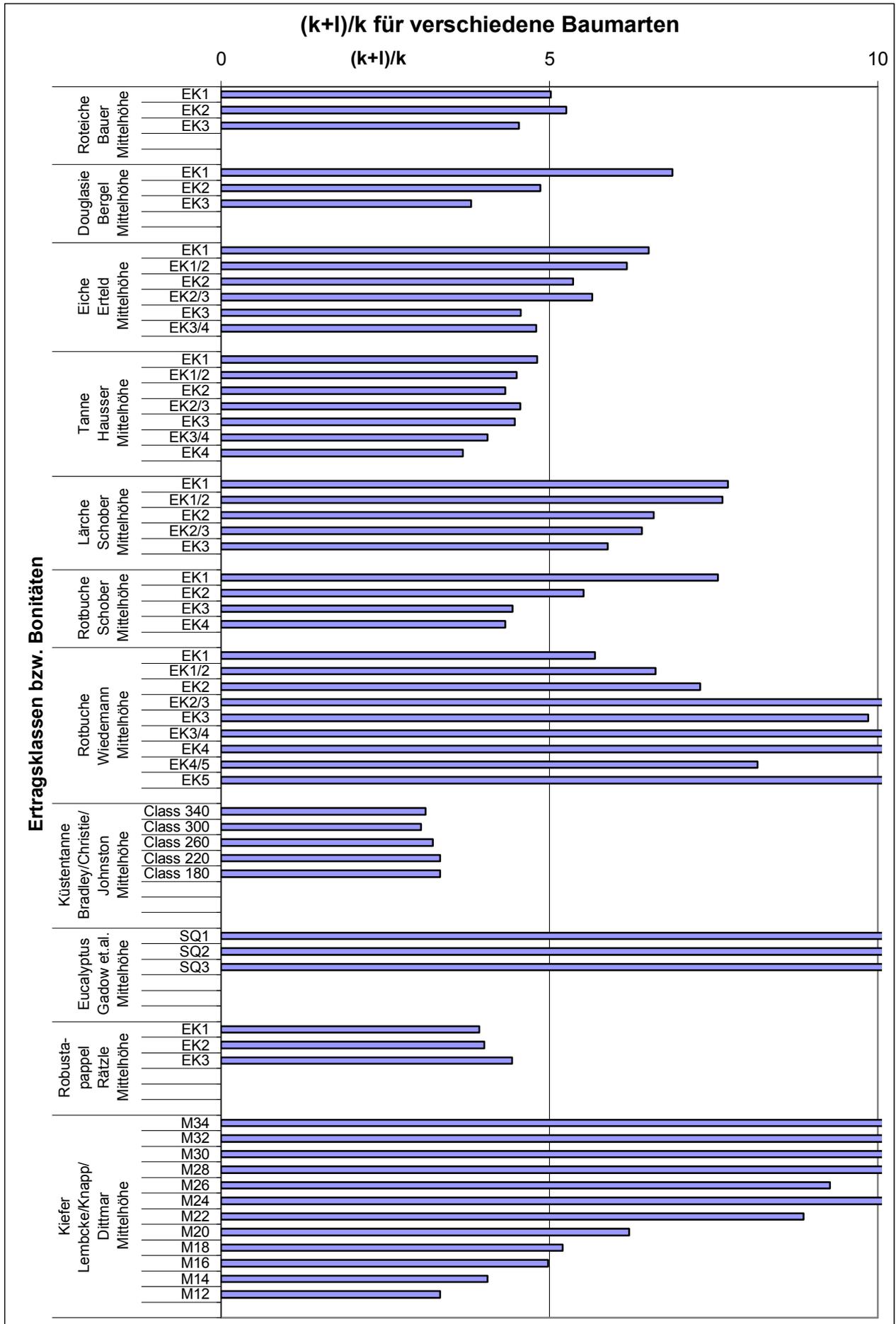
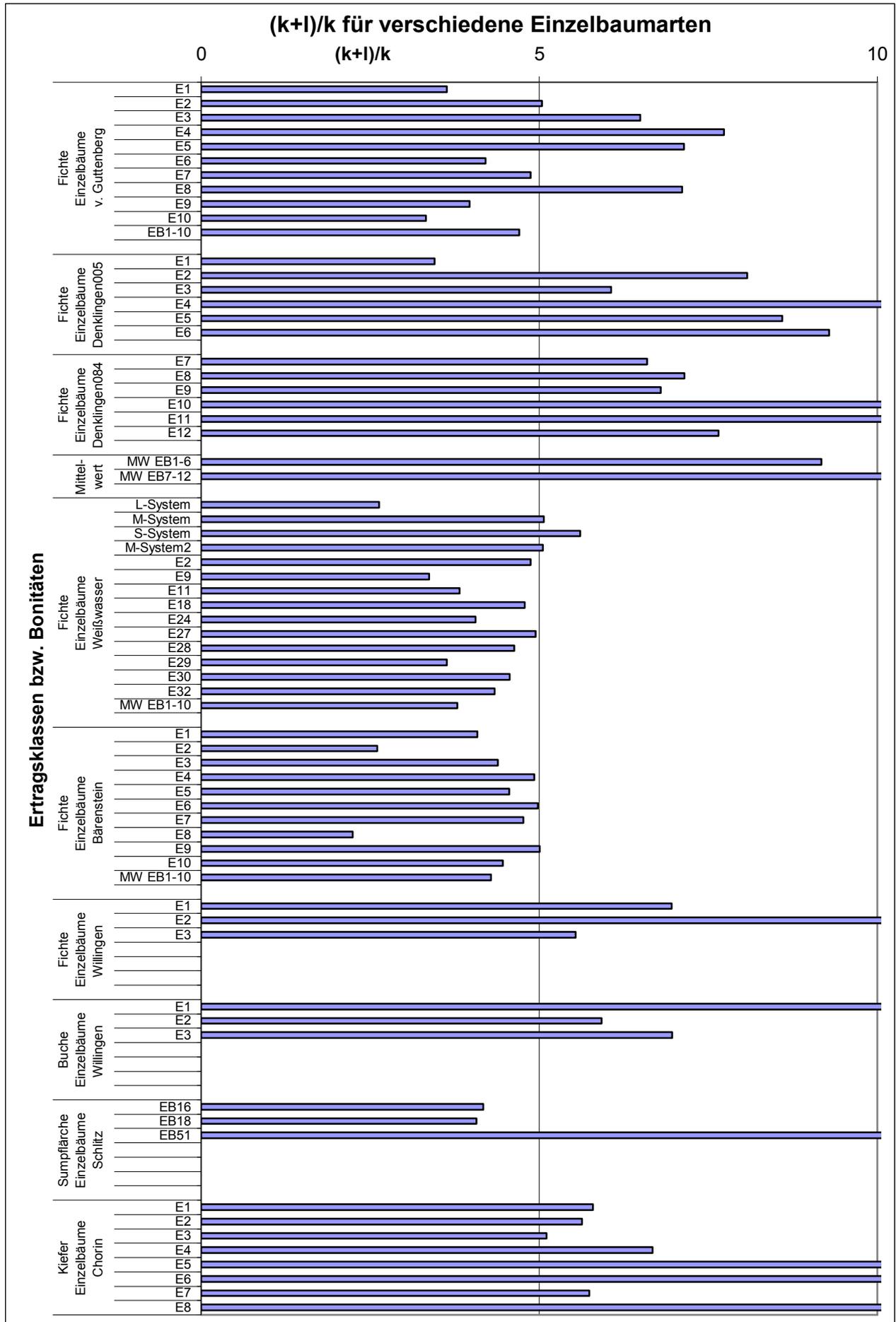


Abb. 81: Übersicht zum Verhältnis $(k+l)/k$ für verschiedene Baumarten



Tab. 123: Übersicht der Parameter des Evolonmodells für verschiedene Baumarten der Ertragsklassen- bzw. Bonitäten aus Ertragstafeln

Baumart Ertragstafel	Bonität	Anpassungsbereich Jahre (Periode)	ISDM	Abstandsfunktion F	c	k	B [m]	l	XS [m]	TS [a]	tm [a]	Xm [m]	(k+l)/k	l/k
Fichte v. Gutenberg Mittelhöhe	SK1	10-150 (10)	-1	3,551929E-05	5,23071E-04	0,402635	48,1839	1,61909	25,9609	70	29,1286	9,596	5,0212	4,0212
	SK2	10-150 (10)	-1	4,927638E-05	4,96191E-04	0,399498	44,1772	1,62346	21,4498	70	32,3645	8,7242	5,0637	4,0637
	SK3	10-150 (10)	-1	4,059796E-04	4,13632E-04	0,413109	38,5706	1,68352	17,3711	70	34,7819	7,5998	5,0752	4,0752
	SK4	10-150 (10)	-1	5,668957E-04	4,18232E-04	0,354964	36,4229	1,6563	13,1419	70	38,4878	6,4282	5,6661	4,6661
	SK5	10-150 (10)	-1	6,652329E-05	4,45276E-04	0,32437	29,3187	1,6914	9,19842	70	41,7768	4,7179	6,2144	5,2144
Fichte Assmann/ Franz Mittelhöhe	M40	20-120 (5)	-1	5,674857E-05	2,25343E-03	0,299176	48,3644	1,33808	30,6433	70	22,0712	8,8376	5,4726	4,4726
	M38	20-120 (5)	-1	7,389967E-05	7,93171E-04	0,36457	47,9294	1,57381	28,9265	70	23,7689	9,0145	5,3169	4,3169
	M36	20-120 (5)	-1	9,975825E-05	1,61484E-03	0,328545	44,0617	1,42456	27,1325	70	23,9120	8,2575	5,3360	4,3360
	M34	20-120 (5)	-1	7,363769E-05	7,18465E-05	0,385283	44,1453	1,65857	25,3035	70	25,8307	8,3218	5,3048	4,3048
	M32	20-120 (5)	-1	8,431305E-05	8,31706E-05	0,397404	42,6317	1,72449	23,4637	70	27,1534	7,9844	5,3394	4,3394
	M30	20-120 (5)	-1	1,035573E-04	1,03530E-04	0,394201	41,0668	1,75592	21,6332	70	28,4102	7,5292	5,4544	4,4544
	M28	20-120 (5)	-1	4,179531E-05	4,17941E-05	0,388456	38,6816	1,72239	19,8126	70	29,7964	7,1185	5,4339	4,4339
	M26	20-120 (5)	-1	1,485505E-04	1,46300E-04	0,333744	38,2451	1,7508	17,9816	70	29,4914	6,1232	6,2459	5,2459
	M24	20-120 (5)	-1	2,233466E-04	2,23346E-04	0,37039	35,1882	1,7488	16,2499	70	32,5344	6,1502	5,7215	4,7215
	M22	20-120 (5)	-1	2,006548E-04	2,00655E-04	0,33824	31,5868	1,5632	14,521	70	33,9022	5,6189	5,6216	4,6216
M20	20-120 (5)	-1	1,830330E-04	4,78687E-03	0,288175	25,7934	1,14511	13,738	70	35,7138	5,186	4,9737	3,9737	
Fichte Assmann/ Franz Oberhöhe	M40	20-120 (5)	-1	1,165838E-04	7,60676E-04	0,371058	52,5902	1,57029	33,4841	70	20,6969	10,0518	5,2319	4,2319
	M38	20-120 (5)	-1	3,894989E-05	1,19468E-03	0,3603	48,8541	1,4799	31,7877	70	21,2280	9,5653	5,1074	4,1074
	M36	20-120 (5)	-1	9,645761E-05	2,33695E-03	0,295051	45,755	1,35471	29,9573	70	20,2846	8,183	5,5915	4,5915
	M34	20-120 (5)	-1	3,582831E-05	2,19879E-03	0,342879	43,0905	1,34299	28,1194	70	22,7278	8,7639	4,9168	3,9168
	M32	20-120 (5)	-1	5,321542E-05	3,83836E-03	0,28998	40,3211	1,22791	26,2382	70	22,3981	7,703	5,2345	4,2345
	M30	20-120 (5)	-1	4,771138E-05	3,87197E-03	0,285196	38,5055	1,22402	24,3512	70	23,2045	7,2764	5,2919	4,2919
	M28	20-120 (5)	-1	5,274253E-05	9,26545E-04	0,360271	39,7078	1,55274	22,4723	70	25,6940	7,478	5,3099	4,3099
	M26	20-120 (5)	-1	1,377083E-04	6,32808E-04	0,378002	38,6875	1,63799	20,616	70	27,3233	7,254	5,3333	4,3333
	M24	20-120 (5)	-1	8,357150E-05	7,50750E-04	0,373057	36,2077	1,60183	18,8454	70	28,6455	6,8397	5,2938	4,2938
	M22	20-120 (5)	-1	8,906418E-05	5,68555E-04	0,365952	35,3218	1,67012	17,036	70	29,7301	6,3486	5,5638	4,5638
M20	20-120 (5)	-1	1,816767E-04	1,01764E-03	0,341319	31,8711	1,5351	15,2887	70	30,7315	5,7973	5,4975	4,4975	

Anhang

DDR-Fichtenertrags-tafel Mittelhöhe schnelles System	S32	10-120 (10)	-1	3,839295E-04	7,22867E-04	0,482157	39,2931	1,6253	25,6279	60	18,0991	8,9897	4,3709	3,3709
	S30	10-120 (10)	-1	5,239219E-04	5,50600E-04	0,441069	40,2718	1,67073	22,5815	60	22,0054	8,4111	4,7879	3,7879
	S28	10-130 (10)	-1	5,354737E-03	1,21192E-04	0,532835	43,7054	1,94565	19,3607	60	31,5692	9,396	4,6515	3,6515
	S26	10-130 (10)	-1	9,477328E-03	1,04505E-04	0,58559	40,6947	1,9847	17,688	60	34,5496	9,2715	4,3892	3,3892
	S24	10-130 (10)	-1	1,053209E-02	1,13803E-05	0,689078	41,5752	2,5209	16,1305	60	36,8453	8,9249	4,6584	3,6584
	S22	10-130 (10)	-1	6,895050E-03	1,01933E-05	0,67838	40,0554	2,5631	14,4487	60	38,6630	8,3828	4,7783	3,7783
	S20	10-140 (10)	-1	3,241126E-03	3,01609E-04	0,579297	32,5468	1,73972	14,9141	70	42,2126	8,1303	4,0032	3,0032
	S18	10-140 (10)	-1	3,245579E-03	5,13677E-04	0,429499	33,2139	1,59703	13,093	70	40,7070	7,0393	4,7184	3,7184
S16	10-140 (10)	-1	5,854910E-03	7,74078E-04	0,59276	25,7157	1,51677	11,5641	70	48,2734	7,2259	3,5588	2,5588	
DDR-Fichtenertrags-tafel Mittelhöhe mittleres System	M36	10-120 (10)	-1	1,479677E-04	4,99753E-04	0,366331	47,2285	1,73439	28,2685	60	16,1320	8,2359	5,7345	4,7345
	M34	10-120 (10)	-1	3,637660E-04	2,06268E-03	0,333903	43,0469	1,36221	25,6635	60	19,5851	8,4744	5,0797	4,0797
	M32	10-120 (10)	-1	6,480871E-04	5,10683E-04	0,391775	45,8046	1,65115	23,1774	60	23,6320	8,7840	5,2145	4,2145
	M30	10-120 (10)	-1	3,548475E-03	6,01559E-04	0,471445	42,4576	1,5669	20,8988	60	30,3693	9,8200	4,3236	3,3236
	M28	10-120 (10)	-1	9,452915E-03	1,36251E-05	0,600473	49,8202	2,40692	18,7597	60	35,2482	9,9474	5,0084	4,0084
	M26	10-130 (10)	-1	9,767907E-03	4,05962E-05	0,611624	45,623	2,14388	16,6024	60	40,7559	10,1267	4,5052	3,5052
	M24	10-130 (10)	-1	7,233713E-03	4,07663E-05	0,596235	45,8449	2,11993	14,4844	60	45,7740	10,0636	4,5555	3,5555
	M22	10-140 (10)	-1	5,503299E-03	5,19243E-04	0,493419	41,9655	1,48908	15,1592	70	57,9210	10,4447	4,0179	3,0179
M20	10-140 (10)	-1	1,069219E-02	4,30281E-04	0,407952	48,2053	1,48921	13,1878	70	58,6450	10,3657	4,6504	3,6504	
DDR-Fichtenertrags-tafel Mittelhöhe langsameres System	L38	10-120 (10)	-1	7,628527E-04	7,26209E-06	0,58414	61,9464	2,5029	27,9806	60	24,8921	11,7217	5,2848	4,2848
	L36	10-120 (10)	-1	9,725706E-04	4,72804E-07	0,65434	66,7419	3,0636	25,8002	60	28,0263	11,7463	5,6820	4,6820
	L34	10-120 (10)	-1	2,164906E-03	3,88509E-08	0,669567	71,9043	3,57864	23,6237	60	30,6245	11,3330	6,3447	5,3447
	L32	10-120 (10)	-1	3,897188E-03	1,22390E-07	0,622396	69,2463	3,3458	21,5606	60	33,2441	10,8610	6,3757	5,3757
	L30	10-130 (10)	-1	1,115383E-02	1,14501E-08	0,69988	72,0948	3,8206	19,4331	60	38,4747	11,1620	6,4589	5,4589
	L28	10-130 (10)	-1	1,260415E-02	9,97572E-09	0,724279	71,6577	3,82626	17,2203	60	44,0337	11,4053	6,2829	5,2829
	L26	10-140 (10)	-1	1,020730E-02	2,62331E-07	0,68977	67,0817	3,0842	18,1469	70	52,2540	12,2605	5,4713	4,4713
	L24	10-140 (10)	-1	1,175786E-02	4,01681E-07	0,754922	63,9845	2,96955	15,942	70	60,8522	12,9692	4,9336	3,9336
	L22	10-140 (10)	-1	7,845856E-03	9,91092E-07	0,704597	66,5352	2,72336	13,7172	70	69,8660	13,6759	4,8651	3,8651
L20	10-140 (10)	-1	8,205698E-03	7,40430E-06	0,651542	69,61	2,2083	11,5316	70	84,7431	15,8589	4,3893	3,3893	
Roteiche Bauer Mittelhöhe	EK1	5-100 (5)	-1	3,214737E-03	1,77160E-04	0,509165	40,3658	2,04623	23,8102	50	15,6569	8,0429	5,0188	4,0188
	EK2	5-100 (5)	-1	1,735863E-03	5,01093E-05	0,554021	39,1422	2,35777	20,5404	50	17,5615	7,4475	5,2557	4,2557
	EK3	5-100 (5)	-1	1,768553E-03	2,35623E-04	0,561164	32,4381	1,98444	17,4039	50	21,0751	7,1508	4,5363	3,5363

Anhang

Douglasie Bergel Mittelhöhe	EK1	20-100 (5)	-1	1,071588E-05	7,565391E-04	0,275072	58,9618	1,6156	29,53	50	16,5775	8,5783	6,8734	5,8734
	EK2	20-100 (5)	-1	4,274995E-05	4,073985E-04	0,4436	50,861	1,7135	25,5373	50	23,1763	10,4594	4,8627	3,8627
	EK3	20-100 (5)	-1	5,544962E-05	8,540655E-04	0,546136	40,7582	1,53467	21,6741	50	28,7632	10,6976	3,8100	2,8100
Eiche Erteld Mittelhöhe	EK1	20-200 (5)	-1	2,004121E-03	2,511590E-06	0,531093	49,6567	2,92876	22,3969	70	23,7447	7,6224	6,5146	5,5146
	EK1/2	25-200 (5)	-1	1,174575E-03	4,370870E-07	0,642615	48,8523	3,33016	20,5129	70	28,5275	7,9021	6,1822	5,1822
	EK2	25-200 (5)	-1	2,015535E-03	2,740980E-06	0,672413	42,3808	2,93342	18,6578	70	33,2392	7,9031	5,3625	4,3625
	EK2/3	30-200 (5)	-1	1,157891E-03	4,726960E-08	0,836803	44,6214	3,894	17,0555	70	36,8692	7,8928	5,6534	4,6534
	EK3	30-200 (5)	-1	3,895706E-03	1,078650E-07	1,03815	38,6598	3,69929	15,424	70	43,2954	8,4718	4,5633	3,5633
	EK3/4	40-160 (5)	-1	1,059052E-03	3,089760E-05	0,639055	31,8562	2,42859	13,4113	70	41,1096	6,6363	4,8003	3,8003
Tanne Hausser Mittelhöhe	EK1	25-150 (5)	-1	6,909268E-05	2,999230E-03	0,30722	45,0944	1,17215	23,7154	75	34,1555	9,3647	4,8153	3,8153
	EK1/2	30-150 (5)	-1	1,460970E-04	8,138660E-04	0,41239	45,5268	1,44259	23,115	80	39,8167	10,1213	4,4981	3,4981
	EK2	30-150 (5)	-1	1,055215E-04	4,761790E-03	0,314211	39,301	1,04584	21,0754	80	40,8081	9,0797	4,3285	3,3285
	EK2/3	30-150 (5)	-1	2,815282E-04	6,440920E-04	0,42313	42,0776	1,50371	19,2753	80	45,2467	9,2401	4,5538	3,5538
	EK3	30-150 (5)	-1	8,654597E-05	4,705610E-04	0,45403	40,3539	1,57737	17,456	80	49,0630	9,0194	4,4742	3,4742
	EK3/4	40-150 (5)	-1	2,673620E-04	3,963190E-04	0,523626	37,3365	1,60089	17,8738	90	54,2802	9,2023	4,0573	3,0573
	EK4	40-150 (5)	-1	1,774853E-04	3,800080E-04	0,597255	33,7472	1,60391	16,0421	90	59,6278	9,1568	3,6855	2,6855
Lärche Schober Mittelhöhe	EK1	5-140 (5)	-1	5,578388E-04	2,552180E-04	0,293893	46,9464	1,97505	29,3143	70	12,5070	6,0809	7,7203	6,7203
	EK1/2	5-140 (5)	-1	6,779962E-04	1,911190E-04	0,309528	44,7471	2,0547	27,3079	70	13,1604	5,8584	7,6382	6,6382
	EK2	5-140 (5)	-1	1,518422E-03	5,277600E-04	0,32504	39,2686	1,81571	25,3926	70	14,5920	5,9623	6,5861	5,5861
	EK2/3	5-140 (5)	-1	1,894965E-03	1,392810E-04	0,397468	38,5149	2,14812	23,3935	70	16,0766	6,0137	6,4045	5,4045
	EK3	5-140 (5)	-1	3,818458E-03	3,054290E-04	0,404863	33,8742	1,97916	21,459	70	17,2094	5,7526	5,8885	4,8885
Rotbuche Schober Mittelhöhe	EK1	30-150 (5)	-1	5,414749E-04	1,585630E-03	0,293683	54,6759	1,92871	27,0281	80	27,0698	7,2253	7,5673	6,5673
	EK2	30-150 (5)	-1	7,765095E-04	2,030750E-04	0,409857	45,837	1,85273	23,3119	80	34,1831	8,3032	5,5204	4,5204
	EK3	30-150 (5)	-1	1,673605E-03	6,025120E-04	0,464989	36,5723	1,59979	19,5878	80	40,9154	8,2361	4,4405	3,4405
	EK4	30-150 (5)	-1	4,064810E-03	8,998260E-05	0,633323	33,0404	2,10745	15,9068	80	48,2685	7,6348	4,3276	3,3276
Rotbuche Wiedemann Mittelhöhe	EK1	30-140 (5)	-1	2,180690E-04	1,151270E-03	0,302294	49,5244	1,41948	27,6818	80	25,7049	8,695	5,6957	4,6957
	EK1/2	30-140 (5)	-1	2,202530E-04	1,423405E-03	0,249248	47,3905	1,39938	25,7172	80	24,0632	7,1648	6,6144	5,6144
	EK2	30-140 (5)	-1	2,524543E-04	5,084440E-04	0,2608	48,4475	1,6412	23,7228	80	24,9831	6,6431	7,2929	6,2929
	EK2/3	30-140 (5)	-1	1,838055E-04	3,197875E-03	0,137053	41,8587	1,25842	21,8105	80	20,7297	4,1111	10,1820	9,1820

Anhang

	EK3	30-140 (5)	-1	2,172793E-04	6,375180E-04	0,185313	43,5125	1,64072	19,909	80	23,8469	4,4158	9,8538	8,8538
	EK3/4	30-130 (5)	-1	1,177976E-04	8,215183E-04	0,137076	41,4842	1,59275	17,9823	80	22,7266	3,2873	12,6195	11,6195
	EK4	30-130 (5)	-1	1,049407E-04	6,194897E-04	0,05	43,0499	1,66668	16,0163	80	18,9848	1,2539	34,3336	33,3336
	EK4/5	30-130 (5)	-1	1,656664E-04	9,945889E-04	0,209724	34,622	1,50358	14,0092	80	31,3408	4,238	8,1693	7,1693
	EK5	30-130 (5)	-1	1,638481E-04	4,991731E-04	0,153726	36,4262	1,66812	11,9955	80	31,0383	3,0736	11,8512	10,8512
Küstentanne Bradley/ Christie/ Johnston Mittelhöhe	Class 340	15-80 (5)	-1	8,640016E-05	6,023652E-04	0,717273	51,8909	1,5142	32,6083	40	21,4045	16,6796	3,1110	2,1110
	Class 300	15-80 (5)	-1	1,616738E-04	1,453007E-04	0,87438	50,3633	1,7887	30,248	40	22,7959	16,536	3,0457	2,0457
	Class 260	15-80 (5)	-1	5,972405E-05	1,014506E-03	0,655571	44,9794	1,45716	27,7368	40	21,3435	13,9569	3,2227	2,2227
	Class 220	15-80 (5)	-1	1,207527E-04	1,465129E-03	0,604949	41,1996	1,41395	25,0431	40	21,2541	12,3452	3,3373	2,3373
	Class 180	15-80 (5)	-1	6,650798E-05	7,004502E-03	0,465454	35,162	1,08645	22,0772	40	20,9159	10,546	3,3342	2,3342
Eucalyptus Gadow et.al. Mittelhöhe	SQ1	1- 40 (1)	-1	1,903576E-03	5,332701E-04	0,106659	63,5473	2,1112	36,6524	20	1,3936	3,056	20,7940	19,7940
	SQ2	1- 40 (1)	-1	2,211950E-03	5,051906E-05	0,15841	53,2627	2,71787	27,129	20	1,6514	2,9334	18,1572	17,1572
	SQ3	1- 40 (1)	-1	2,188735E-03	1,623097E-04	0,139092	32,9487	2,65003	16,8819	20	1,5302	1,6431	20,0523	19,0523
Robusta- pappel Rätzle Mittelhöhe	EK1	5-50 (5)	-1	5,531778E-05	8,79967E-04	0,606655	45,2517	1,77932	33,6980	25	7,4305	11,5056	3,9330	2,9330
	EK2	5-50 (5)	-1	1,172588E-04	2,00484E-03	0,538363	41,3197	1,62108	30,9463	25	7,5588	10,3013	4,0111	3,0111
	EK3	5-50 (5)	-1	1,343904E-03	8,92110E-04	0,546099	38,8501	1,87491	27,604	25	7,5429	8,7633	4,4333	3,4333
Kiefer Lembcke/ Knapp/ Dittmar Mittelhöhe	M34	5-130 (5)	-1	5,267099E-04	2,18334E-04	0,192331	53,3893	1,95858	22,9948	50	10,4814	4,7740	11,1834	10,1834
	M32	5-130 (5)	-1	5,122811E-04	5,37879E-04	0,191839	47,8363	1,75924	21,5036	50	11,0489	4,7035	10,1704	9,1704
	M30	5-130 (5)	-1	4,189611E-04	1,03987E-03	0,158977	44,1569	1,61669	19,9707	50	10,3354	3,9534	11,1693	10,1693
	M28	5-130 (5)	-1	7,091116E-04	2,76293E-04	0,205613	44,8208	1,92341	18,4875	50	12,0102	4,3286	10,3545	9,3545
	M26	5-130 (5)	-1	1,099215E-03	4,30369E-04	0,220410	40,6499	1,82266	16,9887	50	13,2388	4,3854	9,2694	8,2694
	M24	5-130 (5)	-1	8,064635E-04	6,29303E-04	0,189879	38,0451	1,73849	15,4495	50	12,8016	3,7461	10,1558	9,1558
	M22	5-130 (5)	-1	1,421172E-03	3,93077E-04	0,235590	35,881	1,85355	13,9598	50	15,2480	4,0463	8,8677	7,8677
	M20	5-140 (5)	-1	7,562189E-04	1,39404E-02	0,176813	24,3773	0,92129	12,4597	50	16,7594	3,9251	6,2105	5,2105
	M18	5-140 (5)	-1	2,531536E-03	1,02820E-02	0,234171	22,3672	0,98298	10,9482	50	20,9404	4,3033	5,1977	4,1977
	M16	10-140 (5)	-1	3,413525E-04	3,48650E-02	0,151320	18,1028	0,60212	9,38238	50	21,2570	3,6358	4,9791	3,9791
	M14	10-140 (5)	-1	3,269863E-04	3,22543E-02	0,192511	15,8815	0,5891	7,86988	50	27,3373	3,9116	4,0601	3,0601
M12	10-140 (5)	-1	2,433705E-03	9,69811E-03	0,405085	14,6475	0,94561	6,40903	50	37,1305	4,3929	3,3343	2,3343	

Tab. 124: Übersicht der Parameter des Evolonmodells für verschiedene Einzelbaumarten aus Stammanalysen

Baumart Ertragstafel	Bonität	Anpassungs- bereich Jahre (Periode)	ISDM	Abstands- funktion F	c	k	B [m]	l	XS [m]	TS [a]	tm [a]	Xm [m]	(k+l)/k	l/k
Fichte Einzelbäume v. Guttenberg	E1	10-140 (10)	-1	2,904239E-04	7,293690E-05	0,806438	38,2985	2,12641	23,0862	60	32,1448	10,53084	3,6368	2,6368
	E2	10-140 (10)	-1	6,275118E-04	6,625527E-05	0,526905	49,0513	2,1299	23,8173	60	29,2624	9,727991	5,0423	4,0423
	E3	10-140 (10)	-1	7,682421E-03	5,242809E-04	0,289466	56,4331	1,59038	22,5629	60	26,4532	8,689787	6,4942	5,4942
	E4	10-140 (10)	-1	9,008067E-04	4,194654E-04	0,257212	57,1949	1,73147	26,8227	60	20,8621	7,397471	7,7317	6,7317
	E5	10-150 (10)	-1	1,074505E-03	4,141489E-04	0,282625	51,846	1,73496	24,3524	60	20,6915	7,262611	7,1388	6,1388
	E6	10-150 (10)	-1	1,163799E-03	2,328535E-03	0,403101	40,7917	1,293	22,6516	60	30,2660	9,694706	4,2076	3,2076
	E7	10-150 (10)	-1	1,548442E-03	2,481483E-05	0,599987	50,1386	2,32335	22,7106	60	32,6543	10,29048	4,8723	3,8723
	E8	10-120 (10)	-1	3,272870E-03	2,485357E-04	0,302857	50,9765	1,85142	22,5898	60	22,7681	7,16647	7,1132	6,1132
	E9	10-120 (10)	-1	9,544663E-04	2,564572E-04	0,59449	45,1563	1,76474	25,3923	60	29,3652	11,37869	3,9685	2,9685
	E10	10-120 (10)	-1	1,282364E-03	2,606185E-04	0,732912	43,2348	1,70443	25,5864	60	34,3439	13,00073	3,3256	2,3256
EB1-10	10-130 (10)	-1	3,232564E-04	3,275050E-04	0,471382	46,6468	1,74653	23,9278	60	28,6428	9,9141	4,7051	3,7051	
Fichte Einzelbäume Denklingen 005	E1	7-160 (5/1)	-1	4,181476E-02	4,332160E-05	0,839834	47,6889	2,05847	23,0624	62	43,9353	13,8187	3,4510	2,4510
	E2	7-161 (5/1)	-1	3,580250E-02	3,223149E-03	0,177193	47,3148	1,25394	23,1353	62	18,5893	5,8582	8,0767	7,0767
	E3	7-162 (5/1)	-1	1,069295E-02	1,042156E-03	0,290606	51,8432	1,47196	24,7585	62	24,4468	8,5477	6,0651	5,0651
	E4	7-152 (5/1)	-1	8,752906E-03	1,725788E-04	0,083237	57,6638	2,10878	29,8379	62	6,7216	2,189654	26,3347	25,3347
	E5	7-161 (5/1)	-1	1,730832E-02	4,380153E-04	0,222913	59,1793	1,69199	26,161	62	19,2280	6,889048	8,5903	7,5903
	E6	7-155 (5/1)	-1	8,571522E-03	5,996450E-04	0,204187	54,6146	1,69162	27,7706	62	15,1151	5,882256	9,2846	8,2846
Fichte Einzelbäume Denklingen 084	E7	13-113 (5/1)	-1	4,012890E-03	4,876708E-04	0,313922	48,91	1,75715	27,143	62	20,8798	7,413524	6,5974	5,5974
	E8	13-109 (5/1)	-1	2,937777E-03	1,981240E-04	0,315663	54,0249	1,94041	28,025	62	19,9046	7,558984	7,1471	6,1471
	E9	13-113 (5/1)	-1	3,189063E-03	1,730417E-04	0,340131	55,4153	1,97074	30,4659	62	18,3700	8,156439	6,7941	5,7941
	E10	13-110 (5/1)	-1	2,975320E-03	2,545137E-04	0,032678	62,5089	1,96577	27,5976	62	5,2336	1,022125	61,1558	60,1558
	E11	13-110 (5/1)	-1	6,316501E-03	2,471026E-04	0,192919	57,6698	1,84398	22,5187	62	21,3976	5,462019	10,5583	9,5583
	E12	13-108 (5/1)	-1	4,257867E-03	4,819222E-04	0,255203	57,2122	1,69723	27,4746	62	21,5196	7,478241	7,6505	6,6505
Mittel- wert	MW EB1-6	7-152 (5/1)	-1	1,289946E-02	9,991902E-06	0,307275	67,0378	2,51154	32,0828	87	19,7039	7,307681	9,1736	8,1736
	MW EB7-12	13-108 (5/1)	-1	8,129200E-04	5,885416E-09	0,36637	85,5793	4,07785	27,1758	62	19,8928	7,054936	12,1304	11,1304
Fichte Einzelbäume Weißwasser	L-System	5-135 (5)	-1	6,306114E-02	3,445489E-05	1,298479	33,6285	2,11809	10,1163	55	59,6137	12,78063	2,6312	1,6312
	M-System	5-135 (5)	-1	1,516004E-02	6,890910E-07	0,794314	48,5994	3,23067	21,4207	55	29,8081	9,590893	5,0672	4,0672
	S-System	5-135 (5)	-1	8,082886E-02	1,019535E-06	0,692538	47,6445	3,18872	21,1405	55	25,1817	8,501278	5,6044	4,6044

Anhang

	M-System2	5-135 (5)	-1	5,229571E-02	6,893938E-06	0,67225	44,754	2,72737	20,7206	55	27,2209	8,849773	5,0571	4,0571	
	E2	5-145	-1	1,148657E-01	1,815820E-09	1,216535	45,9843	4,7088	21,0334	59	33,8978	9,441072	4,8707	3,8707	
	E9	5-170	-1	3,091407E-02	5,660212E-06	1,113279	36,5311	2,6419	12,5937	57	52,8339	10,8302	3,3731	2,3731	
	E11	5-140	-1	2,090989E-02	5,207148E-04	0,598126	37,0313	1,68897	23,2566	61	29,3736	9,684515	3,8238	2,8238	
	E18	5-138	-1	8,227811E-02	4,102444E-05	0,619439	39,7742	2,34334	22,039	62	25,0470	8,315734	4,7830	3,7830	
	E24	5-140	-1	3,848769E-01	8,398466E-05	0,696035	42,386	2,12808	26,4778	57	24,8662	10,44651	4,0574	3,0574	
	E27	5-140	-1	8,616471E-02	2,931808E-08	1,007541	50,7774	3,97515	25,5114	59	29,3582	10,26759	4,9454	3,9454	
	E28	5-140	-1	1,207268E-01	3,374898E-04	0,5006	36,0981	1,81588	17,5542	56	28,7274	7,800931	4,6274	3,6274	
	E29	5-154	-1	1,545672E-02	5,012840E-08	1,417205	42,9458	3,72884	9,15393	56	60,4413	11,82714	3,6311	2,6311	
	E30	5-165	-1	7,563985E-02	1,743300E-12	1,731482	51,6874	6,16731	12,6872	57	55,5437	11,33031	4,5619	3,5619	
	E32	5-140	-1	1,009632E-01	1,947353E-05	0,731611	41,5776	2,44323	20,1386	58	32,3933	9,581142	4,3395	3,3395	
	MW EB1-10	5-135 (5)	-1	4,153627E-02	2,243442E-04	0,643158	39,8517	1,79522	17,8395	55	37,2392	10,51148	3,7913	2,7913	
	E1	3-37	-1	4,639106E-02	6,469115E-06	0,938636	32,9777	2,89284	3,65427	21	30,5677	8,078883	4,0820	3,0820	
	E2	3-39	-1	9,458201E-03	2,213551E-03	0,569669	99,9982	0,91547	3,62022	21	?	38,35723	2,6070	1,6070	
	E3	3-34	-1	4,845425E-02	4,183214E-04	0,523352	38,8514	1,77275	7,36571	21	23,7474	8,855428	4,3873	3,3873	
	E4	3-41	-1	2,333396E-01	2,312156E-04	0,532524	29,9811	2,09229	6,93198	21	19,1614	6,082581	4,9290	3,9290	
	E5	3-43	-1	7,047758E-02	1,669745E-05	0,794853	29,4672	2,82567	5,8123	20	21,2685	6,469264	4,5550	3,5550	
	E6	3-43	-1	3,872723E-02	6,176636E-07	1,052219	22,0061	4,19025	6,09344	21	17,4558	4,416869	4,9823	3,9823	
	E7	3-44	-1	6,268399E-02	2,730701E-04	0,531135	31,92	1,9993	6,48209	20	20,4591	6,699951	4,7642	3,7642	
	E8	3-59	-1	1,014353E-01	3,587819E-02	0,535501	15,9118	0,66547	5,78764	21	24,0145	7,094916	2,2427	1,2427	
	E9	3-40	-1	1,819175E-02	9,297820E-04	0,447577	26,6304	1,79256	7,67415	21	15,9443	5,320726	5,0050	4,0050	
	E10	3-49	-1	7,346368E-02	3,175330E-04	0,50203	44,1825	1,73852	5,39784	20	29,8880	9,899782	4,4630	3,4630	
	MW EB1-10	5-40 (5)	-1	1,471243E-03	3,189503E-04	0,596763	29,2022	1,96122	5,53244	20	22,8855	6,812702	4,2864	3,2864	
	Fichte Einzelbäume Willingen	E1	9-124 (5)	-1	1,694437E-02	4,011551E-05	0,409616	44,2045	2,43996	21,9881	54	18,6256	6,354239	6,9567	5,9567
		E2	6-136 (5)	-1	1,546570E-02	3,962447E-04	0,147448	51,5825	1,84849	20,6725	47	12,4136	3,810613	13,5365	12,5365
		E3	7-127 (5)	-1	9,817919E-03	1,125419E-02	0,232294	35,7645	1,0536	21,6853	47	17,0477	6,460794	5,5356	4,5356
	Buche Einzelbäume Willingen	E1	10-125 (5)	-1	2,081753E-02	3,533068E-04	0,141671	49,1189	1,78527	15,9095	50	13,3283	3,6113	13,6015	12,6015
		E2	7-132 (5)	-1	4,277419E-02	6,389089E-04	0,337891	40,2984	1,66261	17,1796	51	23,2792	6,8065	5,9205	4,9205
		E3	8-138 (5)	-1	2,042968E-02	3,070813E-04	0,294871	45,3261	1,75958	14,6735	53	26,8644	6,5055	6,9673	5,9673

Anhang

Sumpflärche Einzelbäume Schlitz	EB16	2-45 (1)	-1	1,283743E-01	7,977310E-04	0,585013	27,4664	1,85755	13,9343	26	13,6301	6,5784	4,1752	3,1752
	EB18	6-45 (1)	-1	1,571921E-01	8,908970E-07	1,23283	29,0312	3,78995	15,3493	26	16,6026	7,1256	4,0742	3,0742
	EB51	6-45 (1)	-1	6,249343E-02	1,023380E-03	0,15415	37,7564	1,76282	17,6282	26	9,9562	3,0361	12,4357	11,4357
Kiefer Einzelbäume Chorin	E1	8-87	-1	2,565198E-03	1,333878E-02	0,222654	32,6924	1,06712	16,66	34	15,2799	5,6437	5,7927	4,7927
	E2	6-85	-1	7,054494E-03	5,659447E-04	0,382706	38,0875	1,77411	16,6572	39	17,8926	6,7582	5,6357	4,6357
	E3	7-112	-1	1,821545E-02	6,503108E-08	0,972572	41,4838	3,99526	14,0995	34	23,2185	8,1215	5,1079	4,1079
	E4	7-110	-1	8,780539E-03	2,713038E-04	0,333283	41,9646	1,89219	13,56	38	20,0981	6,2845	6,6774	5,6774
	E5	4-120	-1	2,214519E-03	1,555293E-04	0,18329	43,3596	2,16212	16,958	39	8,1971	3,3885	12,7962	11,7962
	E6	4-122	-1	1,919081E-03	2,306080E-04	0,225242	39,874	2,0933	17,0319	39	9,1174	3,8737	10,2936	9,2936
	E7	8-91	-1	1,568015E-02	1,452681E-03	0,35496	29,087	1,68303	17,5289	47	15,9517	5,0661	5,7415	4,7415
	E8	9-92	-1	1,008476E-02	2,087988E-04	0,107264	38,3109	2,19004	17,351	51	10,2398	1,7888	21,4173	20,4173

Abb. 82: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Standortsklasse 1-5 aus der Ertragstafel von V. GUTTENBERG (1915) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

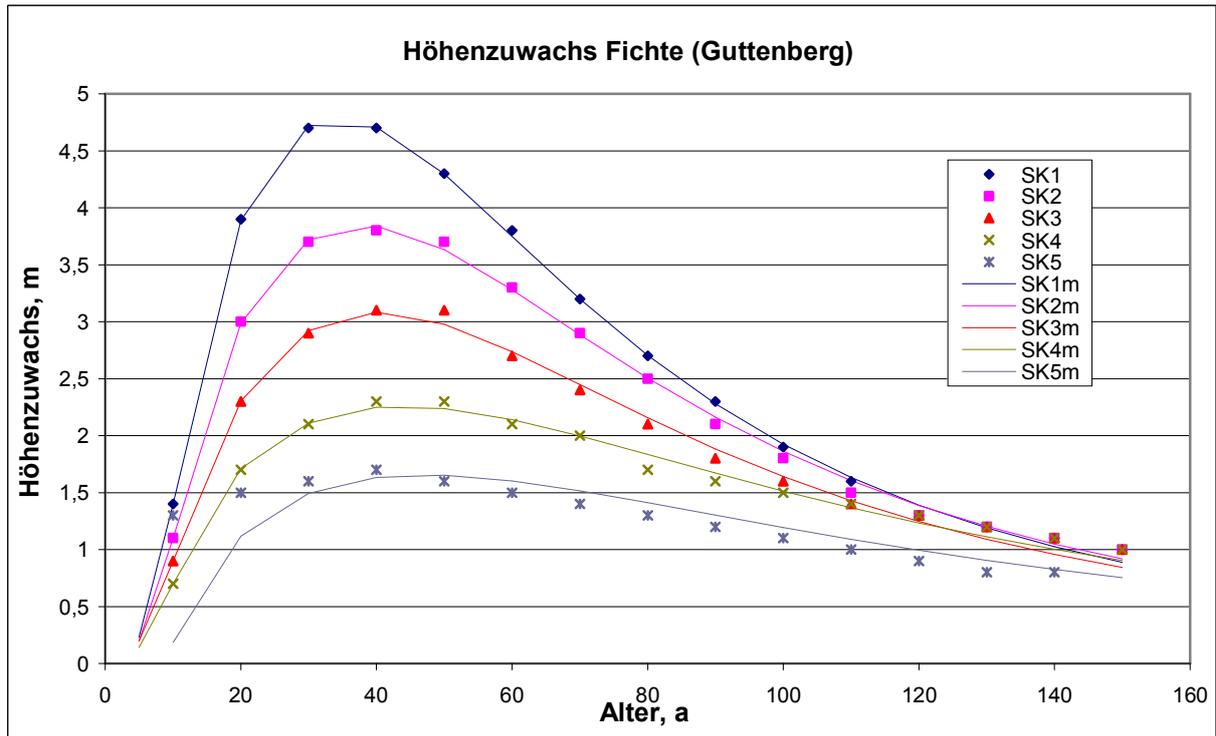


Abb. 83: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/Franz (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

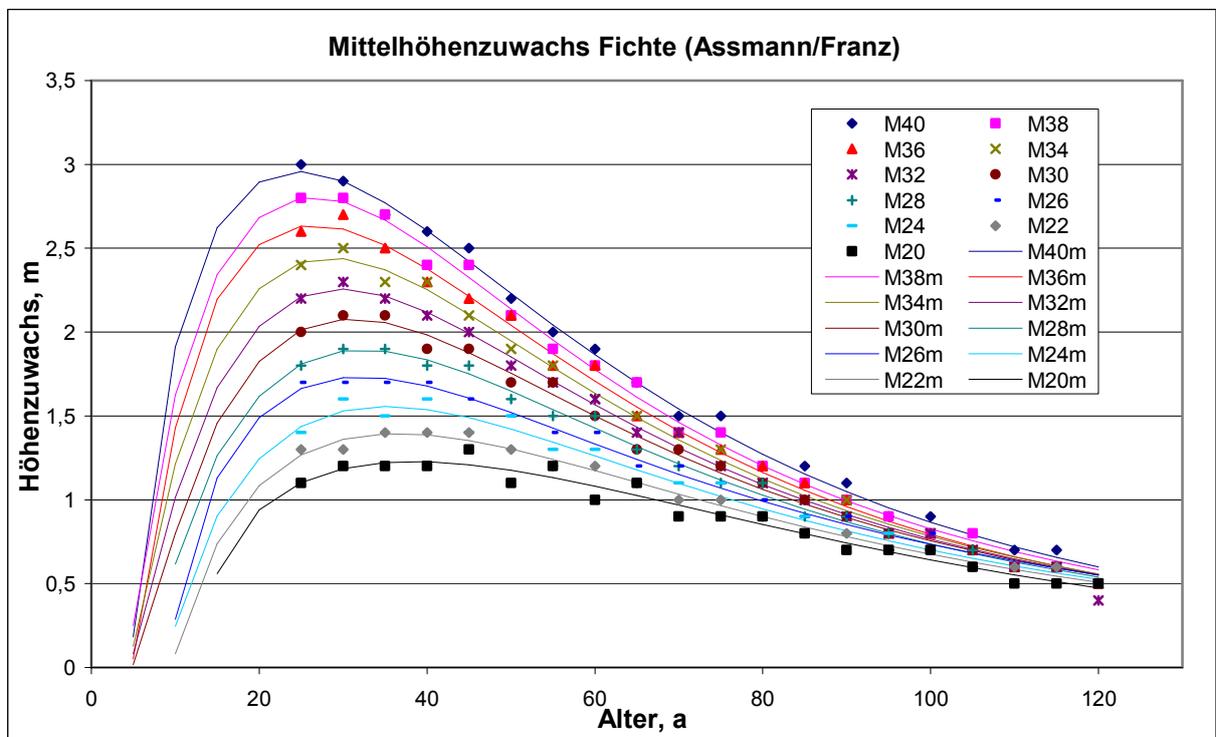


Abb. 84: Zuwachsverlauf von Bestandesoberhöhen für Fichte der Bonitäten M40-M20 aus der Ertragstafel von ASSMANN/FRANZ (1963, 1972) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

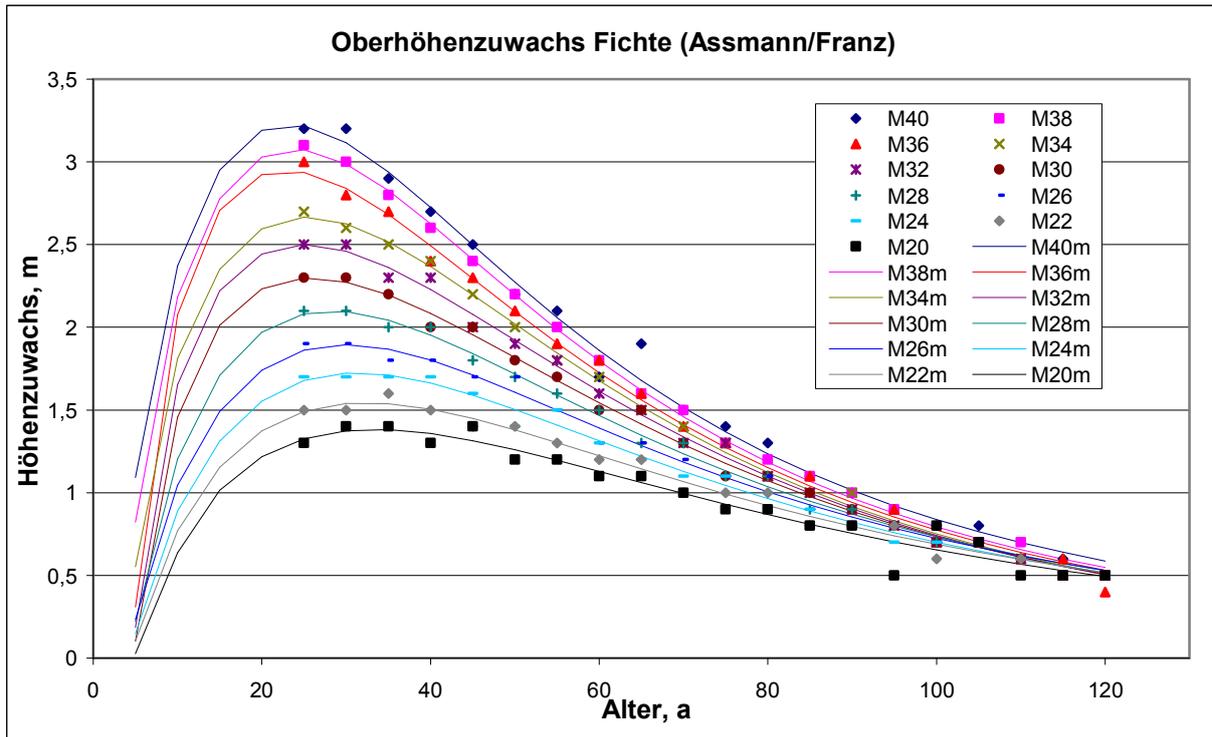


Abb. 85: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten S32-S16 des schnellen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

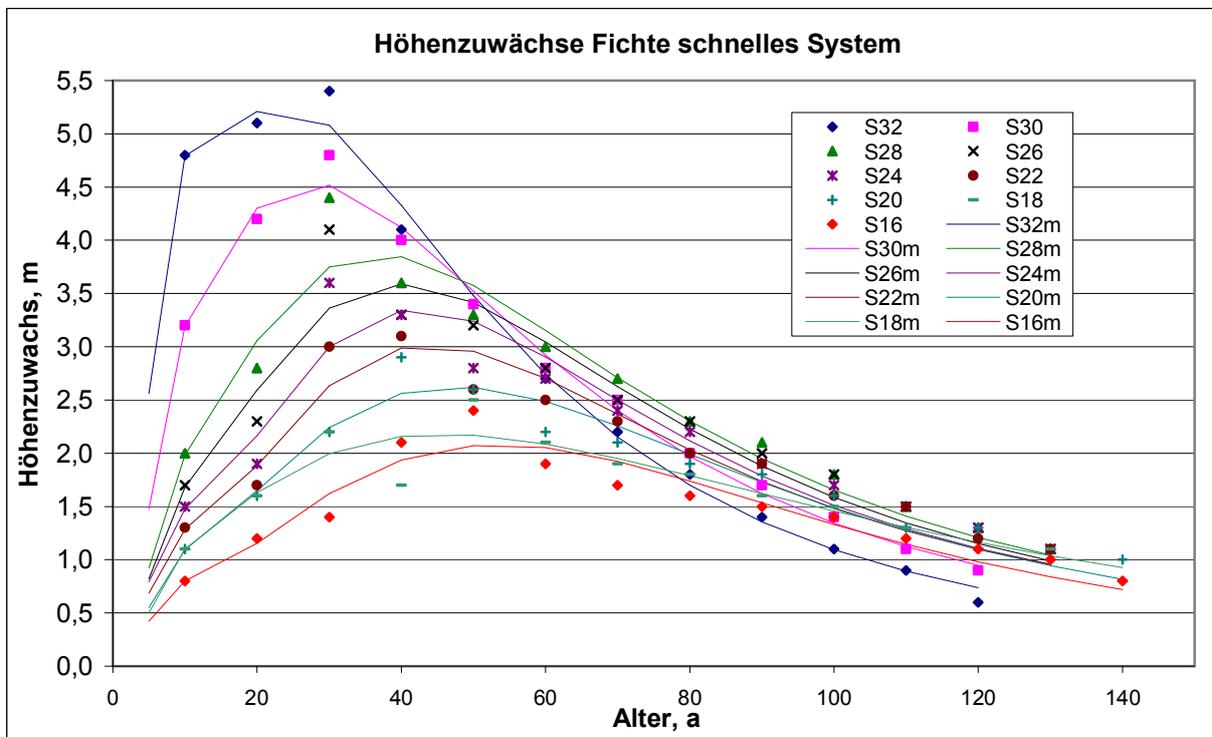


Abb. 86: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten M36-M20 des mittleren Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

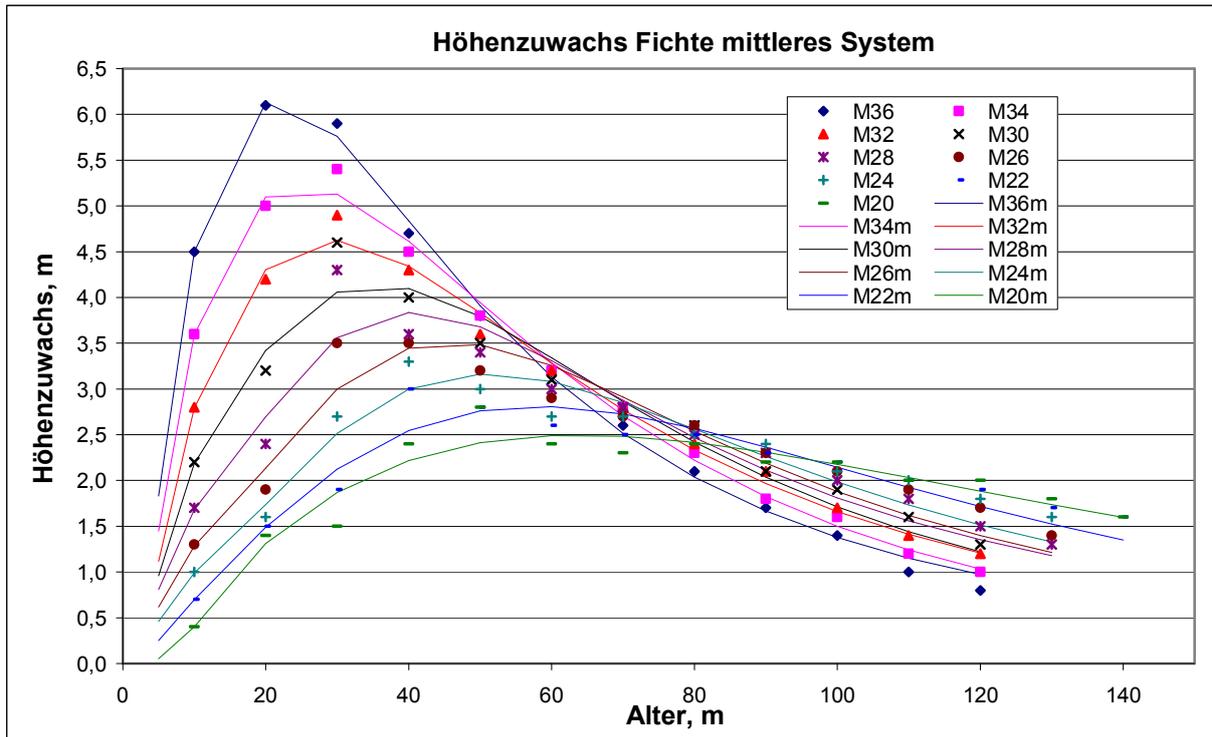


Abb. 87: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Fichte der Bonitäten L38-L20 des langsamen Systems aus der DDR-Fichtenertragstafel von WENK/RÖMISCH/GEROLD (1984) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

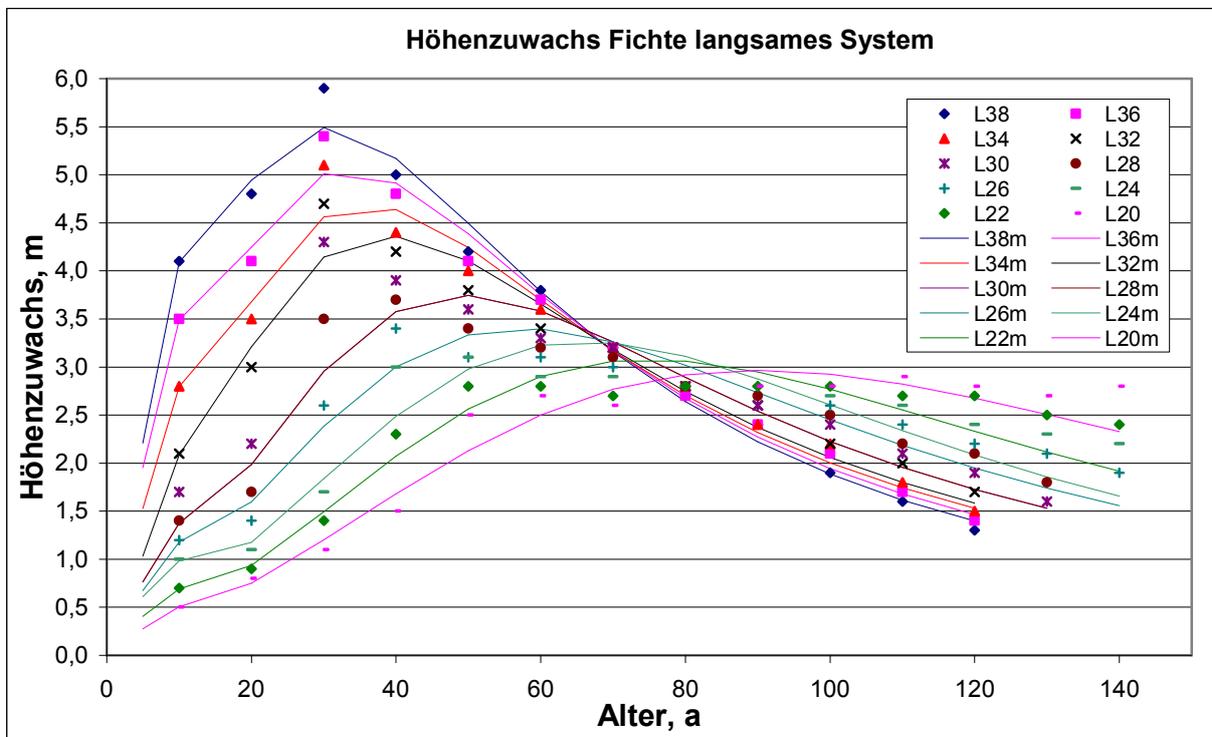


Abb. 88: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Roteiche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BAUER (1953; in SCHÖBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

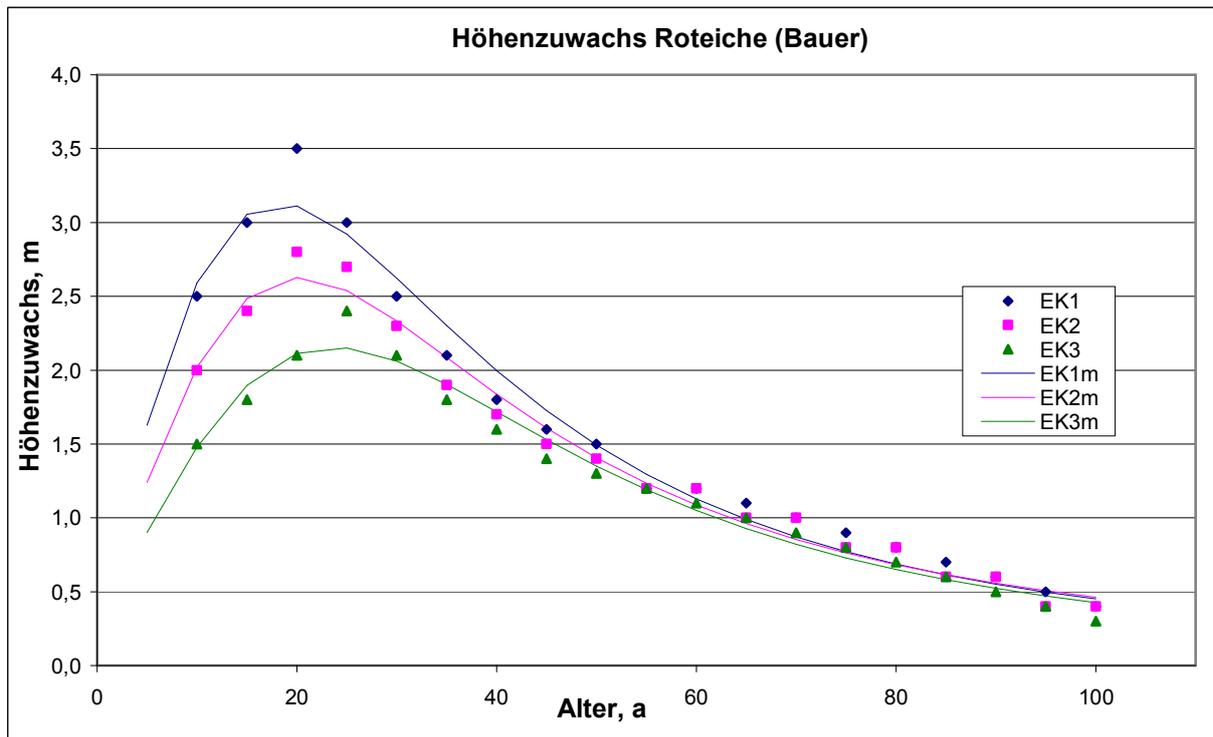


Abb. 89: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Weißtanne der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von HAUSSER (1956; in SCHÖBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

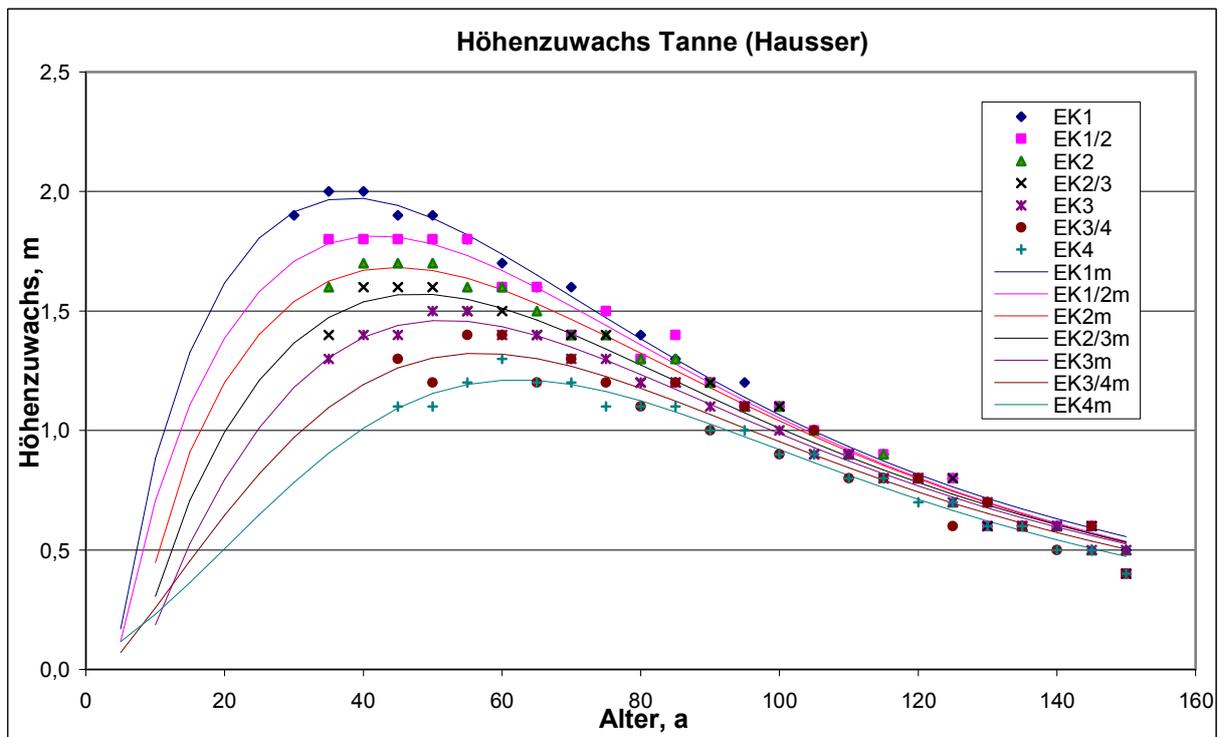


Abb. 90: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Douglasie der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von BERGEL (1985; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

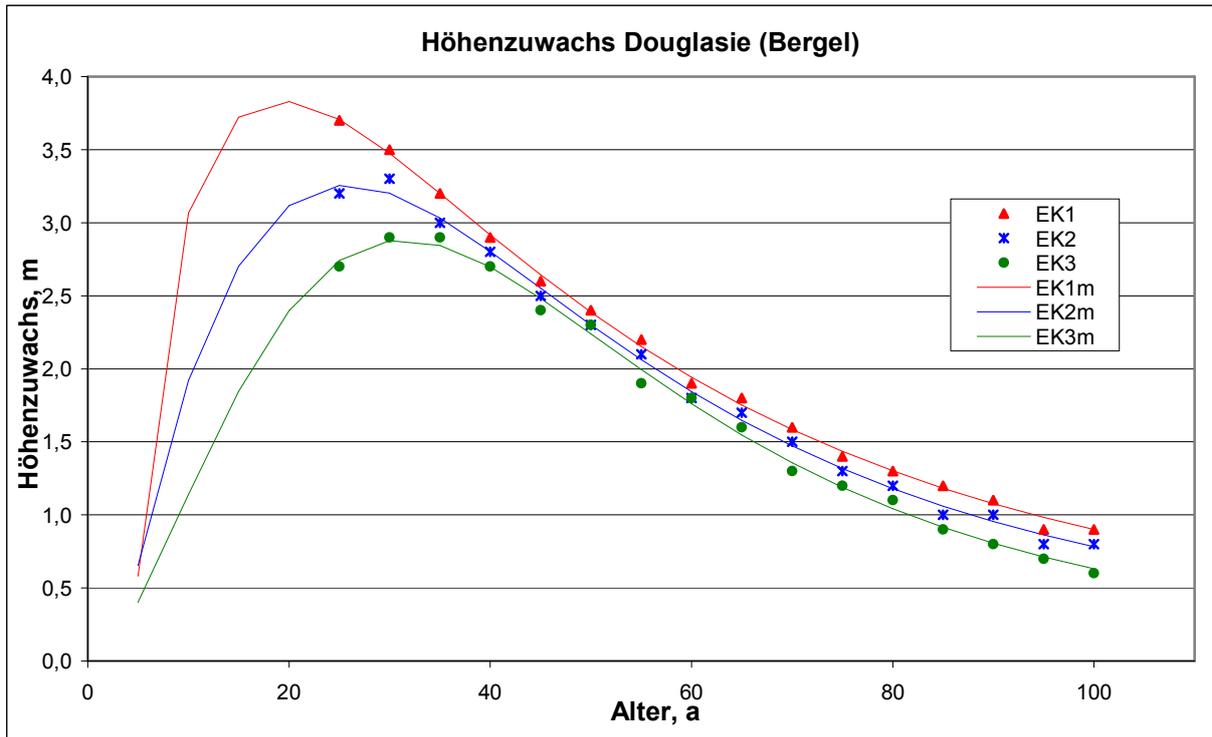


Abb. 91: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eiche der Ertragsklassen EK1-EK3/4 aus der Ertragstafel von ERTELD (1961; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

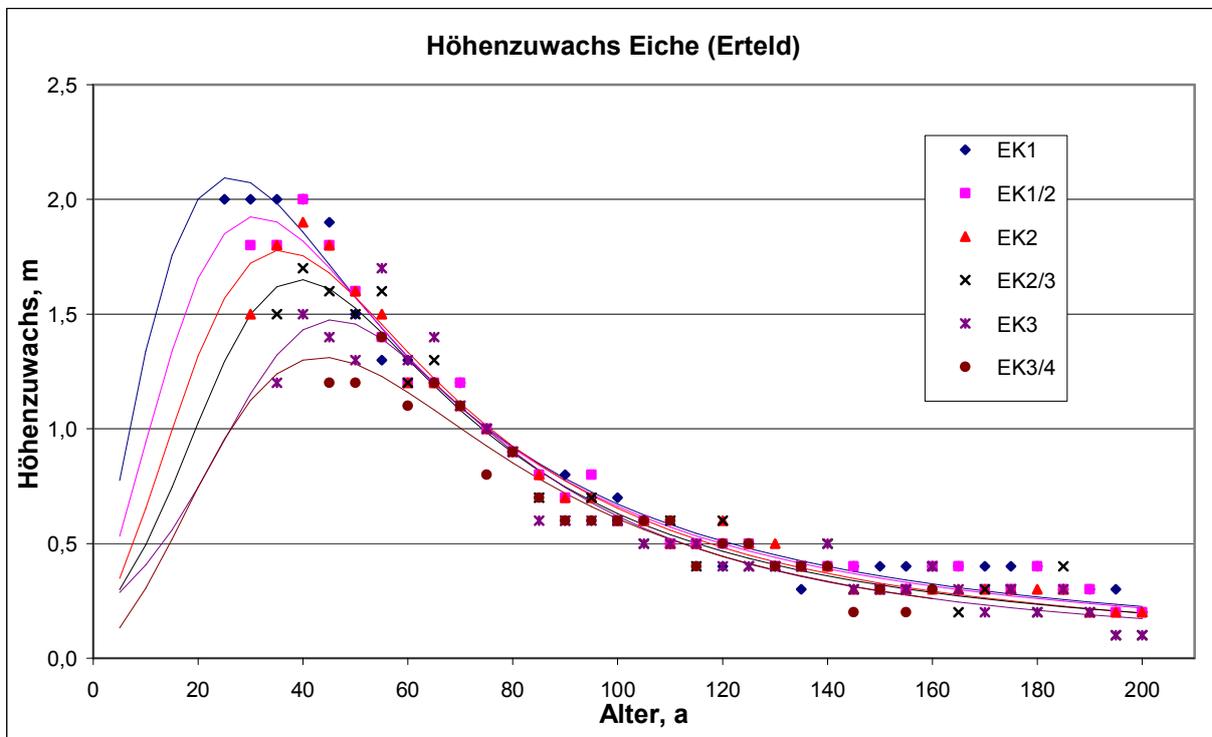


Abb. 92: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Lärche der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1946; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

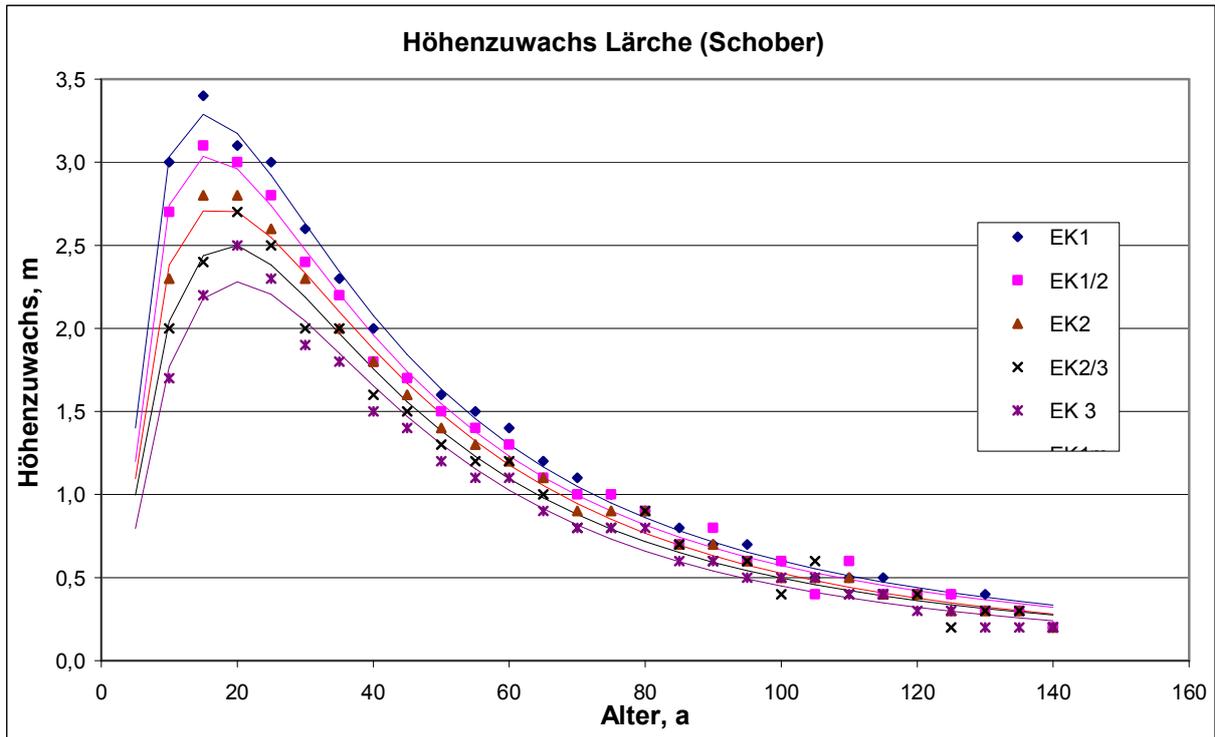


Abb. 93: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK4 aus der Ertragstafel von SCHOBER (1967; in SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

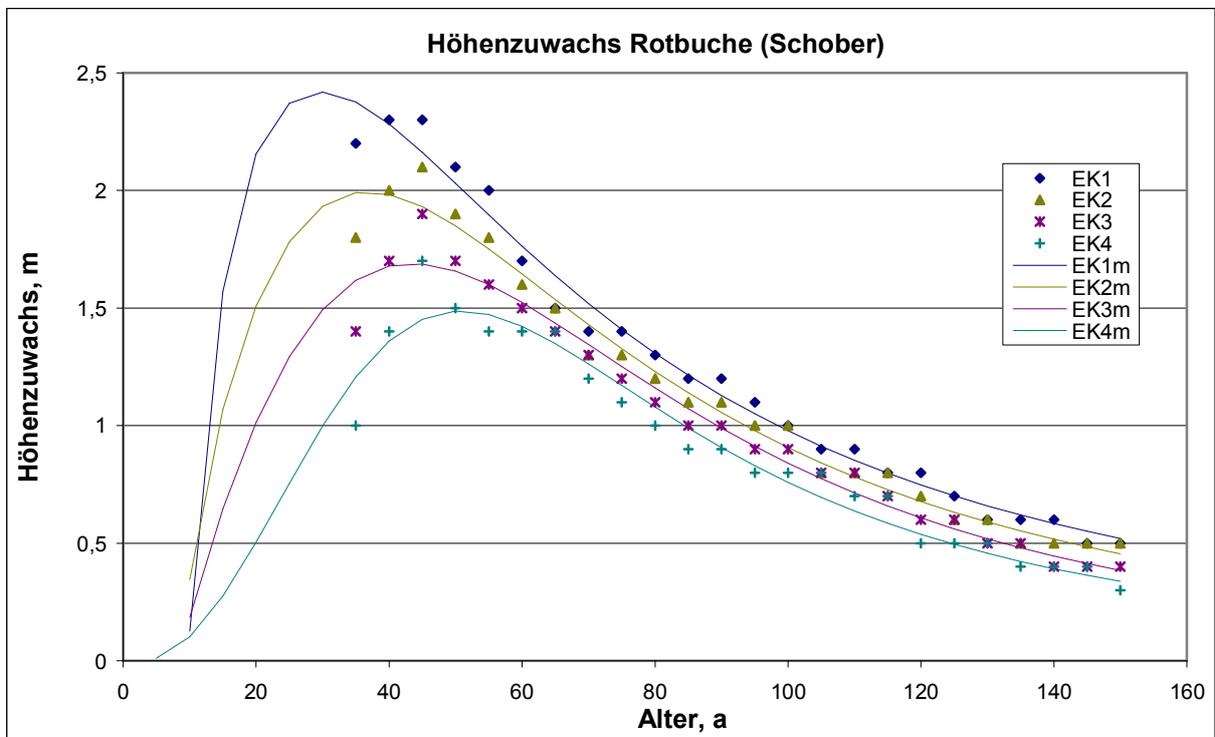


Abb. 94: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Rotbuche der Ertragsklassen EK1-EK5 aus der Ertragstafel von WIEDEMANN (1931; in ERTELD, 1962) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

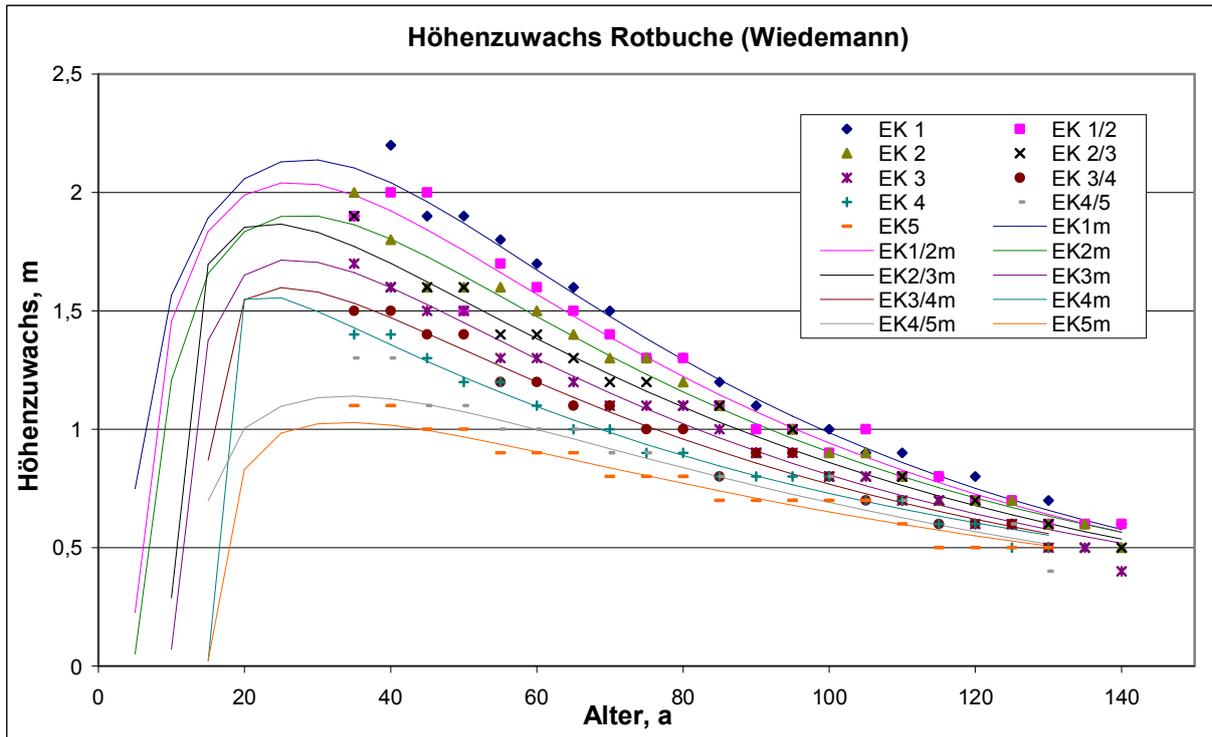


Abb. 95: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Kiefer der Bonitäten M34-M12 aus der Ertragstafel von LEMBCKE/KNAPP/DITTMAR (1975) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

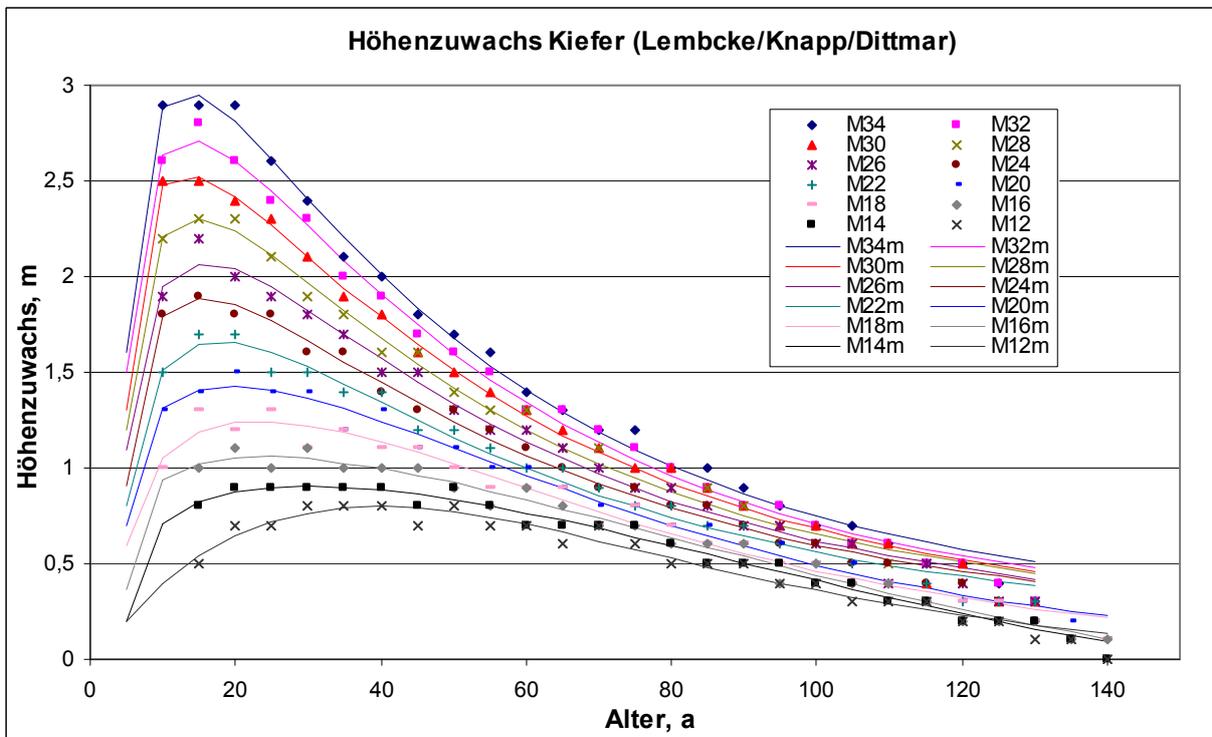


Abb. 96: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Küstentanne der Ertragsklassen 340-180 aus der Ertragstafel von BRADLEY/CHRISTIE/JOHNSTON (1966) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

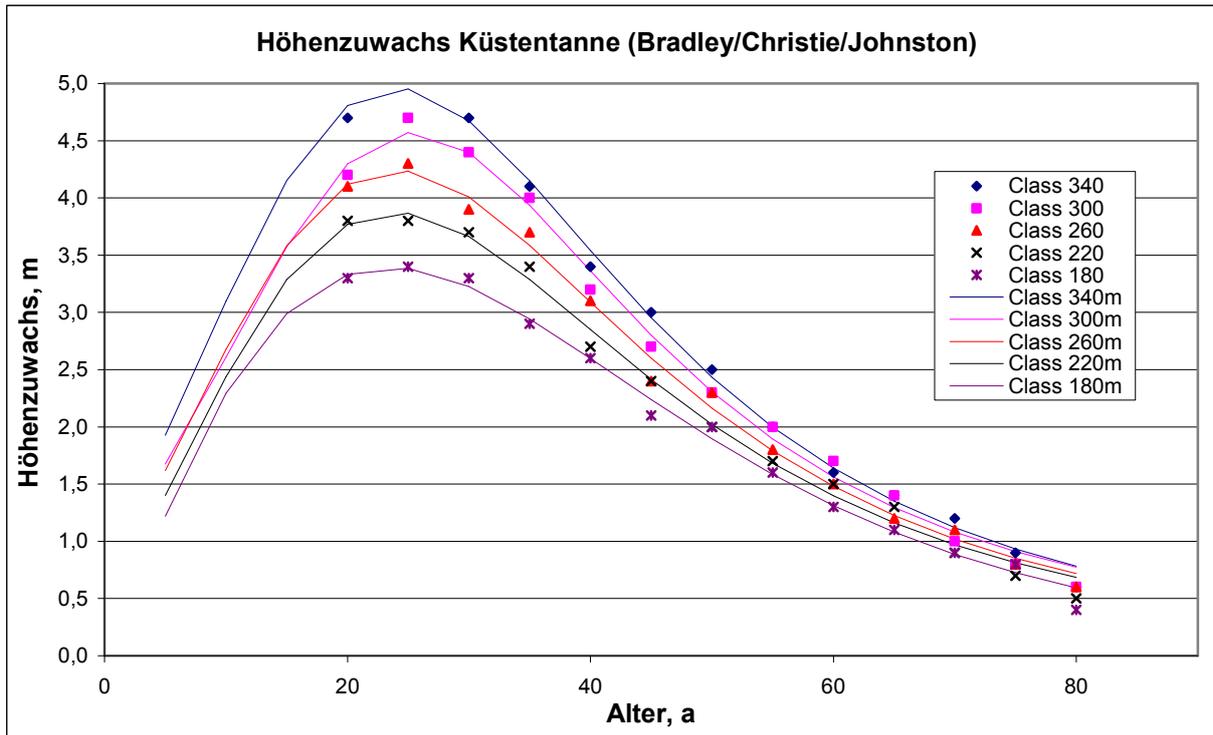


Abb. 97: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Eukalyptus der Ertragsklassen SQ1-SQ3 aus der Ertragstafel von GADOW et al. (1987) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

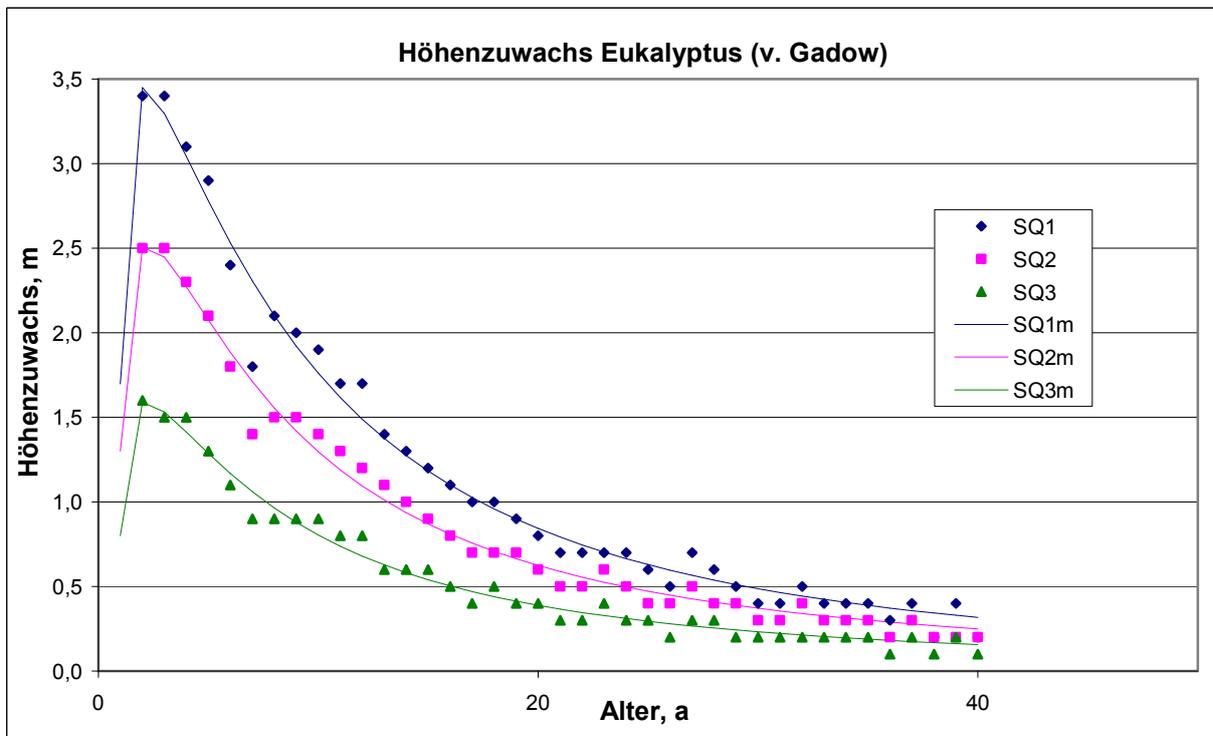


Abb. 98: Zuwachsverlauf von Bestandesmittelhöhen für Robustapappel der Ertragsklassen EK1-EK3 aus der Ertragstafel von RÄTZLE (1969; aus SCHOBER, 1995) im Vergleich zum berechneten Evolonmodellverlauf (gekennzeichnet mit m)

